

ISSN br. 0354-8651



List Saveza energetičara
Broj 3-4 / Godina XI / Mart 2009.
UDC 620.9

energija

■ ekonomija ■ ekologija



ENERGETIKA 2009

ENERGETIKA 2009.

MEĐUNARODNO SAVETOVANJE

U ORGANIZACIJI

SAVEZA ENERGETIČARA

pod pokroviteljstvom

**Ministarstva rudarstva i energetike,
Ministarstva nauke i tehnološkog razvoja
Ministarstva životne sredine
i prostornog planiranja
Ministarstva ekonomije i regionalnog
razvoja,
PKS, JP EPS, NIS a.d. Novi Sad,
JP EMS, JP Srbijagas**



ZBORNİK RADOVA
Zlatibor 24.03. - 27.03.2009

energija

■ ekonomija ■ ekologija

Energija/Ekonomija/Ekologija

Broj 3-4, mart 2009.

Osniivač i izdavač
Savez energetičara

Predsednik SE
Prof. dr Nikola Rajaković

Sekretar SE
Nada Negovanović

Glavni i odgovorni urednik
Prof. dr Nenad Đajić

Adresa redakcije
Savez energetičara
11000 Beograd
Knez Mihailova 33
tel. 011/2183-315
faks 011/2639-368
E-mail: savezenergeticara@EUnet.rs
www.savezenergeticara.org.rs

Kompiuterski prelom EKOMARK
Dragoslav Ješić

Štampa
„Akademska
izdanja“, Beograd

Godišnja pretplata
- 8.000,00 dinara
- za inostranstvo 16.000,00
dinara

Tekuci račun SE
broj 355-1006850-61

Radovi su štampani u izvornom obliku uz neophodnu tehničku obradu.

Nijedan deo ove publikacije ne može biti reprodukovana, presnimavan ili prenošen bez prethodne saglasnosti Izdavača.
IZDAVAČKI SAVET

Dr Petar Škundrić, ministar rudarstva i energetike

Mr Božidar Đelić, ministar za nauku i tehnološki razvoj

Mr Mladan Dinkić, ministar ekonomije i regionalnog razvoja

Dr Oliver Dulić, ministar životne sredine i prostornog planiranja

Dr Kiril Kravčenko, gen. direktor NIS ad

Miloš Bugarin, predsednik PKS
Dragomir Marković, gen.dir. JP EPS-a

Dr Dimitrij Mališev, predsednik UO NIS a.d.

Petar Knežević, predsednik UO EPS-a

Dušan Mrakić, državni sekretar
Prof. dr Ivica Radović, državni sekretar

Dr Slobodan Ilić, državni sekretar

Nebojša Ćirić, državni sekretar
Ljubo Mačić, direktor Agencije za energetiku Srbije

Dr Miloš Milanković, gen.dir. JP Elektromreža Srbije

Dušan Bajatović, gen.dir. JP Srbijagas

Srdan Mihajlović, gen.dir. JP Transnafta

Mr Zlatko Dragosavljević, gen.dir. JP PEU

Ranko Vojinović, izvršni dir. EP CG

Branislava Miletić, gen.dir. EP Republike Srpske

Drago Davidović, predsednik SE Republike Srpske

Dr Tomislav Simović, gen.dir. Montinvest ad

Dr Vladan Pirivatrić, gen.dir. Energoprojekt Holding

Dragan Tomić, zam.gen.dir. JP EPS-a

Zoran Predić, gen.dir. JKP Beogradske elektrane

Dr Bratislav Čeperković, predsednik UO JP Transnafta

Stevan Milićević, direktor PD EDB, doo

Dragan Popović, direktor PD TENT, d.o.o.

Goran Knežević, direktor PD HE Đerdap, doo

Sava Đurić, iz. direktor NIS Naftagas

Olivera Basta, iz. direktor NIS Petrol

Vladimir Tešić, iz. direktor NIS TNG

Desimir Bogičević, direktor PD Elektrosrbija, d.o.o.

Vladan Jovičić, direktor PD RB Kolubara, d.o.o.

Željko Bajić, direktor PD Elektrovojvodina, doo

Zoran Obradović, direktor PD Panonske TE-TO

Janko Čobrda, direktor Novosadske toplane

Aleksandar Janjić, direktor PD Jugoistok, d.o.o.

Ivan Savčić, direktor PD Centar, doo

Raša Babić, direktor Termoelektro, ad

Milorad Marković, predsednik HK Minel

Marko Pejović, potpredsednik SE

Dr Dragan Kovačević, gen.dir. El „Nikola Tesla“

Dr Vladan Batanović, gen.dir. Institut „Mihajlo Pupin“

Dr Zlatko Rakočević, gen.dir. Instituta Vinča

Prof. dr Miodrag Popović, dekan Elektrotehničkog fakulteta Beograd

Prof. dr Nenad Gvozdenac, Tehnički fakultet Novi Sad

Prof. dr Milun Babić, Mašinski fakultet u Kragujevcu

Dr Svetislav Bulatović, EFT Group

Slobodan Babić, Rudnap Group

Tomislav Papić, zam. pok. sek.

Dr Vladimir Živanović, SE
Dragojo Bažalac, SE

REDAKcioni ODBOR

Dr Aca Marković, zam.dir. Agencija za energetiku Srbije

Slobodan Petrović, sekretar Odbora za energetiku PKS

Dr Ozren Očić, Nis Petrol RNP

Prof. dr Petar Đukić, TMF

Dragan Nedeljković, novinar

Dr Vojislav Vuletić, gen.sek. Udruženje za gas

Radiša Kostić, direktor Elektroistok izgradnja

Dr Danilo Šuković, direktor Instituta za društvene nauke

Savo Mitrović, direktor Sever Subotica

Dr Branislava Lepetić, dir. JP Transnafta

Momčilo Cebalović, dir.za odnose s javnošću EPS

Dr Dušan Nestorović, NIS RNP

Dr Predrag Stefanović, Institut Vinča

Ivica Ristović, JP PEU
Dr Dušan Unković, NIS a.d.

Jelica Putniković, novinar

Miroslav Sođronić, PD TENT d.d.

Mile Danilović, dir. Termoelektro Enel

Prof. dr Vojin Čokorilo, RGF

Krstajić Sekula, novinar

Roman Mulić, SE

Dobrica Filipović, NIS Naftagas

Rade Borojević, Privredna komora Beograda

Nikola Petrović, dir. ENERGETIKA d.o.o.

Tomislav Mićović, dir.za odnose s javnošću NIS

ees **energija**

■ ekonomija ■ ekologija

ENERGETIKA 2009

ORGANIZACIONI ODBOR

Predsednik: Milun Babić

Sekretar: Nada Negovanović

Članovi: Miloš Nedeljkvić, Ivica Radović, Nebojša Ćirić, Radoslav Striković, Ljubo Mačić, Miloš Bugarin, Milan Janković, Dragomir Marković, Dušan Bajatović, Bratislav Čeperković, Vladan Pirivatrić, Miloš Milanković, Sava Đurić, Olivera Basta, Miroslav Babić, Zoran Predić, Dragan Kovačević, Vladan Batanović, Zlatko Rakočević, Vladimir Tešić, Svetislav Bulatović, Nenad Popović, Slobodan Babić, Tomislav Simović, Marko Pejović, Radiša Kostić, Milorad Marković, Nikola Petrović, Milan Radunović, Aca Ćesarević

energija

■ ekonomija ■ ekologija

Sadržaj

- [007] Jasmina Vujić
Sustainable Nuclear Power: Challenges and Opportunities
- [017] Vojin Čokorilo, Nikola Lilić, Vladimir Milisavljević, Miodrag Denić
Energetski potencijal ležišta mrkih ugljeva i uljnih škriljaca
- [021] Glišo Klasnić, Savo Bezmarević, Bojan Papić
Unapređenje upravljanja turbinom K200-130-1 i kotlom 650 t/h; 137 bara i 540/540N°C na blokovima A1 i A2 u TE "Nikola Tesla A" u Obrenovcu
- [025] Nikolaj Ostrovski
Toplotne pumpe – mogućnosti i perspektive
- [030] Miloš Banjac, Radoslav Galić, Predrag Zekonja, Ružica Todorović
Entropijska analiza rada i određivanje optimalnih dimenzija i radnih uslova suprotnosmernih predajnika toplote
- [034] Dragan P. Popović, Ivan Stanisavljević, Miloš Stojković, Saša Minić, Đorđe Tatomir, Mile Mazalica, Ilija Zec
Parametri i karakteristike agregata u TE Kolubara B i TE "Nikola Tesla" B3 u svetlu zahteva elektroenergetskog sistema Srbije
- [039] Mirko Ivković
Preventivne mere zaštite od opasne ugljene prašine u rudnicima uglja sa podzemnom eksploatacijom
- [042] Zdravko N. Milovanović
BAT tehnologije za smanjenje emisije u vazduhu iz termoelektrana
- [048] Zdravko N. Milovanović
Optimizacija izbora sistema za denitrogenizaciju dimnog gasa na TE Ugljevik
- [054] Zdravko N. Milovanović
Optimizacija izbora sistema za odsumporavanje dimnog gasa na TE Ugljevik
- [061] Milan B. Petrović
Opravdanost primene kogenerativnog postrojenja sa gasnim turbinama u toplani "Novi Beograd"
- [066] Aleksa Marković, Miladin Čepić
Analiza rada TE-TO Zrenjanin u prethodnom periodu, sprovedene modernizacije 2008, radovi za povećanje snage 2009. i planirane naredne investicione aktivnosti
- [072] Branko Grk, Borko Sorajić, Bosiljka Stojanović
Uticaj tehnologije vanjske otpreme i deponovanja elektrofilterskog pepela TE Gacko na smanjenje stakleničkih gasova odnosno CO₂
- [078] Dragoljub Laković, Mirko Lazičić
Eksploatacija i sagorevanje niskokaloričnih ugljeva izradom vodougijene emulzije

energija

■ ekonomija ■ ekologija

- [083] Bogdan Radošević, Milan Radunović, Branimir Popović, Branislav Radošević
UGALJ - Neizbezni, vazan energent budućnosti i njegova koegzistencija sa životnom sredinom
- [089] Božica Sandić, Mirko Ostojić, Olga Zdravić
Neiskorišćeni hidroenergetski potencijal reke Drine
- [094] Saša Stojković, Marko Rosić
Analiza priključenja male elektrane sa sinhronim generatorima na distributivnu mrežu softverskim alatom ATP-EMTP
- [100] Nenad Miloradović, Milan Petrović, Bojan Bogdanović
Opis idejnog rešenja solarnog postrojenja na TO "Cerak"
- [104] Mila Pucar, Marina Nenković-Riznić, Sanja Simonović, Dušan Nikolić
Mogućnost primene fotonaponskih sistema u urbanim sredinama– studija slučaja
- [110] Radinko Gligorić, Jeremija Jevtić, Djuro Borak
Biomass into Biofuels as the Chance to Reduction of Energetic Dependence and Increasing Work Jobs
- [115] Vladimir Rajs, Vladimir Milosavljević, Miloš Slankamenac, Miloš Živanov
Upravljanje i kontrola rada DC motora male snage putem radio komunikacije
- [118] E.I. Karpenko, V.E. Messerle, A.B. Ustimenko, P.M. Rakin, D.P. Rakin
Gasifikacija lignita Srbije plazma tehnologijom
- [123] Chris Higman
The Role of Gasification in Low-carbon Energy Planning
- [127] E. Karpenko, V. Messerle, A. Ustimenko, P. Rakin, D. Rakin
Plazma asistirano sagorevanje uglja za efektivno i ekološko korišćenje goriva
- [131] Daniela Marasová, Kučera Matej, Kučera Stanislav
Possibilities of Increasing of Ecological Conditions in Mining Environment by a Reconstruction of the Present Engine DH30
- [134] Mensund Turković, Željko Langović, Dragomir Bukumirović
Sirovinska baza i perspektive razvoja rudnika uglja "Štavalj"-Sjenica
- [138] E.I. Karpenko, V.E. Lujkašenko, V.E. Messerle A.B. Ustimenko, P. M.Rakin- D.P.Rakin
Plazma tehnologija za efikasno korišćenje goriva i mineralnih sirovina
- [151] Radmila Macura-Strajin, Jelena Penavin-Škundrić, Pero Dugić, Mirko Petković
Kinetika nastajanja oksidiranih produkata hidrogenizovanog baznog ulja P-160
- [156] N. Šijaković, I. Škokljev, I. Trkulja
Poređenje različitih metoda za proračun i dodelu prekograničnih prenosnih kapaciteta korišćenih u Evropi u okviru procedure upravljanja zagušenjima
- [161] Mladen Ilić
Predlog Programa ostvarivanja Strategije razvoja energetike do 2015. godine za period 2009. - 2012. - Poglavlje - Obnovljivi izvori energije (izuzev tečna biogoriva)
- [167] Dimitrije Lilić
Direktive EU o korišćenju obnovljivih izvora energije - Izračunavanje udela obnovljive energije kod toplotnih pumpi
- [171] Radoje Kremzer, Bojan Grujički
Obnovljivi izvori energije i povećanje efikasnosti - imperativ u EU
- [174] Roman Mulić
Biodizel- Putevi i stranputice
- [179] Miroljub Jevtić, Andrija Todorović, Jordan Radosavljević, Dardan Klimenta
Mogućnost povećanja energetske efikasnosti mikro hidroelektrana malih vodozahvata primenom inovirane cevne turbine
- [183] Milivoj Mehandžić, Budo Jovanović
Skladište tečnog naftnog gasa i postrojenje za proizvodnju mešanog gasa kao alternativno rešenje za rešavanje špica potošnje prirodnog gasa
- [186] Adriana Sida Maneu, Daniel Catalin Stroita
Problems Regarding the Running of Air Double Flux Turbines
- [192] Đaković Mladenko
Iskustva u korišćenju hidroakumulacije elektrane sa sedmičnim izravnavanjem
- [196] Rastislav Kragić, Inés Arañó Puig, Tomislav Peruničić, Bojan Kovačić
Studija opravdanosti izgradnje farme vetroelektrana "Popadija"

ees energija

■ ekonomija ■ ekologija

- [200] Milan Čalović, Miodrag Mesarović
Energetski potencijal vetra i stvarne mogućnosti njegovog korišćenja u Srbiji
- [207] Nikola Rajaković, Dušan Nikolić, Iva Babić
Mobilni hibridni vetar-solarni sistem za autonomno napajanje izolovanih potrošača
- [210] Zoran Rakić, Bogdan Rakić
Doprinos obnovljive energije na očuvanje zivotne sredine i energetske bilansa
- [216] Milica Leka, Slađana Milovanović
Onovljivi izvori energije-biomasa-mogućnost primene u JPRB "Kolubara"
- [219] Srećko Čurčić, Snežana Dragičević, Dragana Labović
Logistički sistemi za korišćenje biomase i otpadnog grveta kao energenta u komunalnim sistemima
- [229] Šefik M. Bajmak
Mogućnosti primene energije tvrdog komunalnog otpada u sistemu daljinskog grejanja i hlađenja
- [239] Ljubomir Gigović
Hidrogeotermalna energija i njeni resursi u Srbiji
- [243] Predrag Milanović, Vojislav Tomić
Analiza rada centralizovanog sistema grejanja u sprezi sa geotermalnim izorom
- [246] Šefik M. Bajmak
Osnovna pitanja, prilaz, početni podaci pri projektovanju spalione tvrdog komunalnog otpada i pregled različitih sistema za sagorevanje istog
- [251] V. Ivanović, D. Ivanović, B. Dragović
Kaptacija i korišćenje deponijskog gasa
- [257] Borivoje Vujičić, Ljiljana Pendo, Goran Ninković, Jelena Jokanović
Održivost i efikasnost proizvodnog sistema MH ERS
- [261] Pavle A. Hadžić, Miroslav R. Radosavljević, Dragoslava D. Stojiljković, Vladimir V. Jovanović, Nebojša G. Manić
Pilot postrojenje za konverziju otpadnog biljnog ulja u biodizel
- [265] Nikola Maričić, Djordje Novković, Ljiljana Andjelković
Prilog određivanju lokacija za gradnju mikro hidroelektrana na vodotocima na severu Kosova i Metohije
- [271] Jordan Radosavljević, Miroljub Jevtić, Dardan Klimenta, Andreja Todorović
Analiza distributivne mreže sa postojećim i budućim MHE u slivnom području Trgoviškog Timoka
- [280] Sanja Ocokoljić
Projekat poboljšanja energetske opskrbe u kompleksu Klinički centar Srbije - Beogra
- [292] Miladin Brkić, Todor Janić
Evropski standardi za peletirana i briketirana biogoriva
- [296] Petrović Predrag, Petrović Nemanja, Kesic Miodrag, Mladenović Milan, Borđoški Vladimir
Razvoj postrojenja za proizvodnju biogasa u malim poljoprivrednim seoskim farmama
- [302] Nebojša Lukić, Novak Nikolić
Uticaj snižavanja temperature vode u sekundarnom toku na smanjenje potrošnje energije u sistemu centralnog grejanja – analiza eksperimentalnih rezultata dobijenih u mernoj zgradi
- [307] Radosavljević Damijan, Panić Stjepan
Solarne elektrane – energetska budućnost
- [311] Mladen Furtula, Gradimir Danon, Vojislav Bajić
Supstitucija fosilnih goriva drvnom biomasom u planinskim turističkim centrima – primer Goč (Dobre Vode)
- [316] Slaviša Đukanović
Energija pod Kosmajem - Primena obnovljivih izvora energije u Mladenovcu

Sustainable Nuclear Power: Challenges and Opportunities

Introduction

Accelerated deployment of new energy infrastructure, including nuclear, has been observed worldwide, mostly as a consequence of growth in developing countries. This expansion is creating substantial stresses on resource supplies, carbon emissions, and environmental impacts, but will also create opportunities to develop improved technologies. Recent large increases in oil prices have highlighted global security vulnerabilities associated with energy supplies. Nuclear power, which accounts for about 16 percent of the world's electricity supply, is currently the only technology with a secure base-load electricity supply and no greenhouse gas emissions that has the potential to expand at a large scale and effectively replace fossil fuel.

In addition, serious concerns about energy independence, sustainability, competitiveness and security, led to the recent revival of the nuclear energy option in the U.S. and around the world.

The United States, with 104 currently operating nuclear power plants (NPP) in 31 states (the total installed capacity of about 110,000 MWe, and the capacity factor of 92%) that produce about 20% of the total electricity production in the U.S., is the country with the largest number of operating NPPs. There are no NPPs under construction in the U.S. at this moment, and the last order for NPP was in 1979. France is the second with 58 NPPs (the total installed capacity of about 63,000 MWe, and the capacity factor of 88%), which represent close to 80% of the total electricity production. There is one NPP under construction in France, and 2 more are planned in the near future. On the other hand, China – the most populous country in the

Abstract

Nuclear power offers the potential for creating reliable, carbon-free, affordable, and domestically produced base-load electricity capable of meeting considerable energy and environmental challenges. It is becoming clear to many that nuclear energy must play a significant and increasing role in the world's energy mix. A dramatic nuclear energy expansion is already underway in the most populous countries in the world. Both developed and developing countries, concerned about energy security and energy independence, are ready to embrace nuclear power. In order for it to happen, several obstacles must be overcome, including safe disposal of spent fuel and proliferation prevention. The degree to which nuclear energy can sustainably meet long-term energy needs will depend on the supported development of advanced technologies, together with sound domestic and international policy implementations. This paper gives a brief overview of the current situation in the World, compares approach to nuclear power in the USA and France, and gives an analysis of challenges and opportunities that could lead to a sustainable nuclear energy future.

Key words: Sustainable Nuclear Energy, Spent Fuel, Closed Fuel Cycle, Non-Proliferation.

world – has 9 NPPs, which represent less than 2% of its total electricity production. Currently, there are 12 NPPs under construction in China, and the construction of additional 16 NPPs is planned within 1 to 3 years. [1]

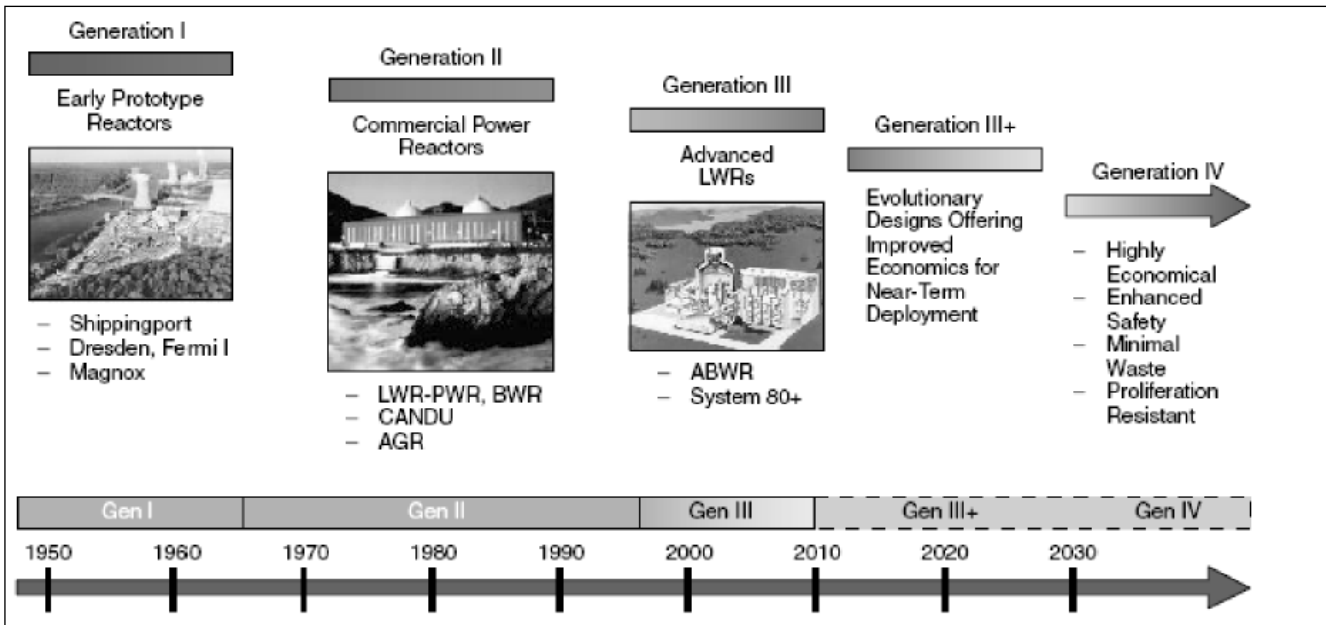
Russia with its robust economic growth will require a very large expansion in energy production for the next 25 years. In June 2007, Russia's president Putin announced that the share of nuclear power in electricity generation will increase from the current level of 16% to 25% by. In order to achieve this goal, during 2007 and 2008 nuclear power capabilities in Russia were transformed and concentrated into the Nuclear State Concern ROSATOM. Russian nuclear industry will construct 26 new nuclear power units over the next 12 years in Russia and 12 units in other countries. [25]

In addition to China, the other Asian countries with large populations are

moving ahead aggressively with the expansion of nuclear power capabilities in order to meet growing energy demands while minimizing carbon output. Japan (55 current reactors, 3 under construction), South Korea (20 current reactors, 6 under construction), and India (17 current reactors, 6 under construction, with at least 8 more planned in the near future) have already engaged the expansion of their nuclear energy enterprise and view nuclear energy as a critical component of their economic growth. These Pacific Rim nations described nuclear power expansion in terms like "to foster economic growth", "enhance environmental quality", "a strategic energy source" and "the backbone of economic growth". [1]

Most experts agree that there are five major challenges for broader expansion of nuclear power: (a) capital cost, (b) operational risks, (c) radioactive waste

Figure 1 Nuclear Reactor Generations



disposal, (d) proliferation/terrorism, and (e) public perception. [32]

In addition to analyzing the current situation in several countries, this paper discusses the challenges that must be overcome, and opportunities that could lead to the rapid expansion of nuclear energy and sustainable energy future.

Challenges and Opportunities for Sustainable Nuclear Energy

Since the beginning in the early 1950s, nuclear power technology has evolved through the following generations of system designs (Fig. 1): Generation I – mostly early prototypes and first-of-a-kind reactors built between 1950s and 1970s; Generation II – reactors built from 1970s to 1990s, most of which are still in operation today (such as PWR, BWR, CANDU); and Generation III – evolutionary advanced reactors with active safety systems built by the turn of the 20th century (such as General Electric’s Advanced BWR and Framatom’s EPR).

The newest Westinghouse AP1000 and GE’s ESBWR designs that feature passive safety systems belong to the Generation III+. These reactors are yet to be built – the first two AP1000 are under construction in China (the Haiyang site), and the construction of two additional units is planned for 2009 (the Sanmen site) [1]. Generation IV is the next generation of advanced nuclear reactor systems currently under the development, with the goal to improve the performance of current reactors and fuel cycles, in terms of better economical efficiency, enhanced safety, minimization of waste and resistance to proliferation [17-19].

After expansion in the 1970s and 80s, growth of nuclear power slowed in most countries in the 1980s and 1990s. While most of other countries continued to build NPPs, the last NPP ordered in the US was in 1979 (Figure 1). Currently, there is worldwide interest in building new nuclear power plants, not only in the United States, Russia, the United Kingdom, France, and Canada—but also in developing countries with large population, such as China and India. Some call it a nuclear renaissance, because many countries that never had NPPs are now considering building one: Algeria, Belarus, Egypt, Indonesia, the Islamic Republic of Iran, Jordan, the Libyan Arab Jamahiriya, Nigeria, Thailand, Turkey, Vietnam and Yemen.

It has been determined that the key drivers for this expansion include the rising demand for energy in

general, requirements for reduction in carbon emissions, demonstrated safe and secure operation of existing nuclear facilities, a successful record of managing proliferation, the small quantities of commodities needed to construct nuclear plants, favorable economic performance, demonstrated ability to manage waste, and the inability to deploy competing energy technologies on a sufficiently large scale. Demand for nuclear energy is also amplified in part by its application to a broader range of energy services beyond electricity generation (e.g. desalination, process heat, hydrogen production, transportation fuels). [26] Many countries in Europe, that traditionally opposed nuclear power, have also signaled a renewed interest in nuclear energy as concerns grow over energy security and climate change, and

Figure 2 United States vs. Global Nuclear Capacity Additions 1996-2008

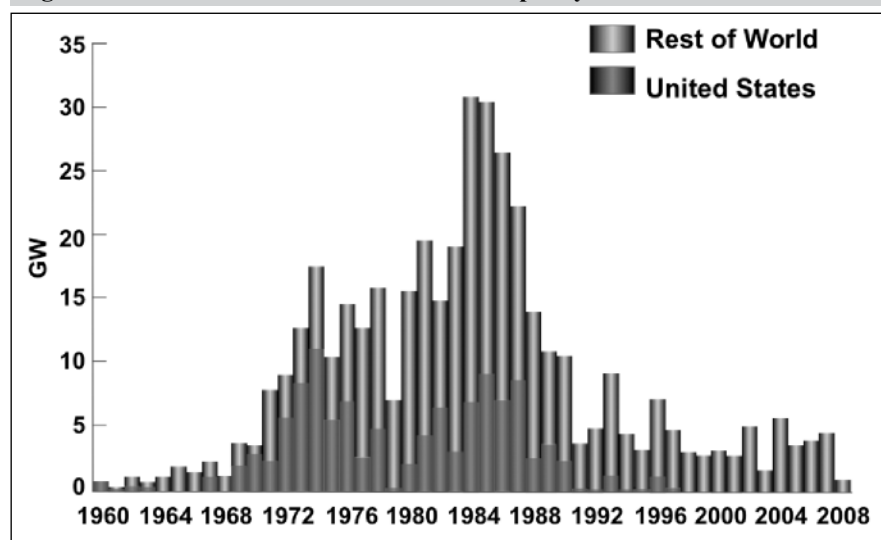


Figure 3 Energy Demand Forecast

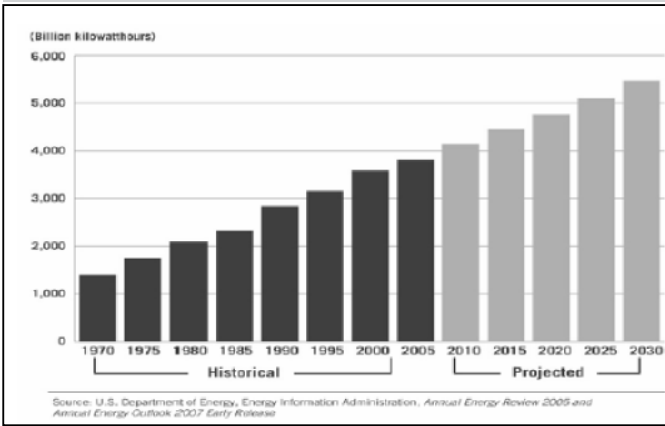
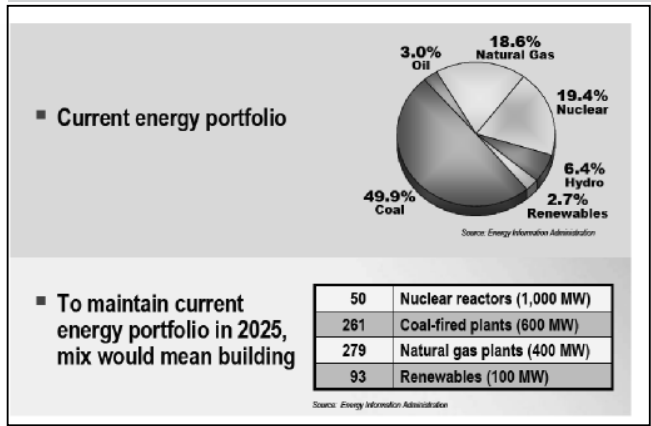


Figure 4 How to maintain the current energy portfolio



as worries about safety risks diminish. The Swedish government on recently proposed refreshing its nuclear reactors, making the nation the latest to consider letting the technology play a major role in its energy plans. Swedes voted nearly three decades ago to phase out nuclear power. Under the Swedish plan, which still needs approval from Parliament, replacement reactors would gradually be built at the 10 sites where reactors are still operating. Other parts of Europe, including Italy and Germany, have also signaled change in many restrictions on nuclear power that were imposed after accidents at Three Mile Island in 1979 and at Chernobyl, in the Soviet Union, in 1986. Italy, which similarly to Germany, had huge opposition to NPPs, made a wrong decision to shutdown and decommission all of its

NPPs. It contributed to the growing energy problems in Italy, which recently rejected its opposition to NE and signed agreement with France to start the construction of new NPPs.

The U.S. Department of Energy, Energy Information Administration report from 2007, predicts linear energy increase, with the growth of 40-50% by 2030, while the global demand is expected to nearly double during that period of time (Figure 3). The same report gives the percentages of the current energy portfolio in the U.S. (49.9% coal, 19.4% nuclear, 18.6% natural gas, 6.4% large hydro, 3% oil and 2.7% renewables) (Figure 4), and specifies that the U.S. would need to built 50 NPPs, 261 coal-fired plants, 279 natural gas plants and 93 renewables, in order to maintain the current energy portfolio in 2025.

A major advantage of nuclear energy over the energy generated from fossil fuels that contributed to its renaissance, is its large “energy density”: 8.2×10^{13} J/kg as compared to 2.9×10^7 J/kg for fossil fuels. Thus, there is a huge difference in the amount of fuel needed per day to feed a 1000 MWe plant, as well as the huge difference in waste generated per day (Figure 5).

It should be also emphasized that an installed kW of wind or solar power is not the same as in installed kW of base-load coal and nuclear, which continuously produces electricity regardless of weather. Thus, the cost per kW must be adjusted for average capacity factor (i.e., adjusted for downtime): while coal and nuclear have capacity factors over 80% and 90%, respectively, wind and solar average

Figure 5 Comparison of various energy sources

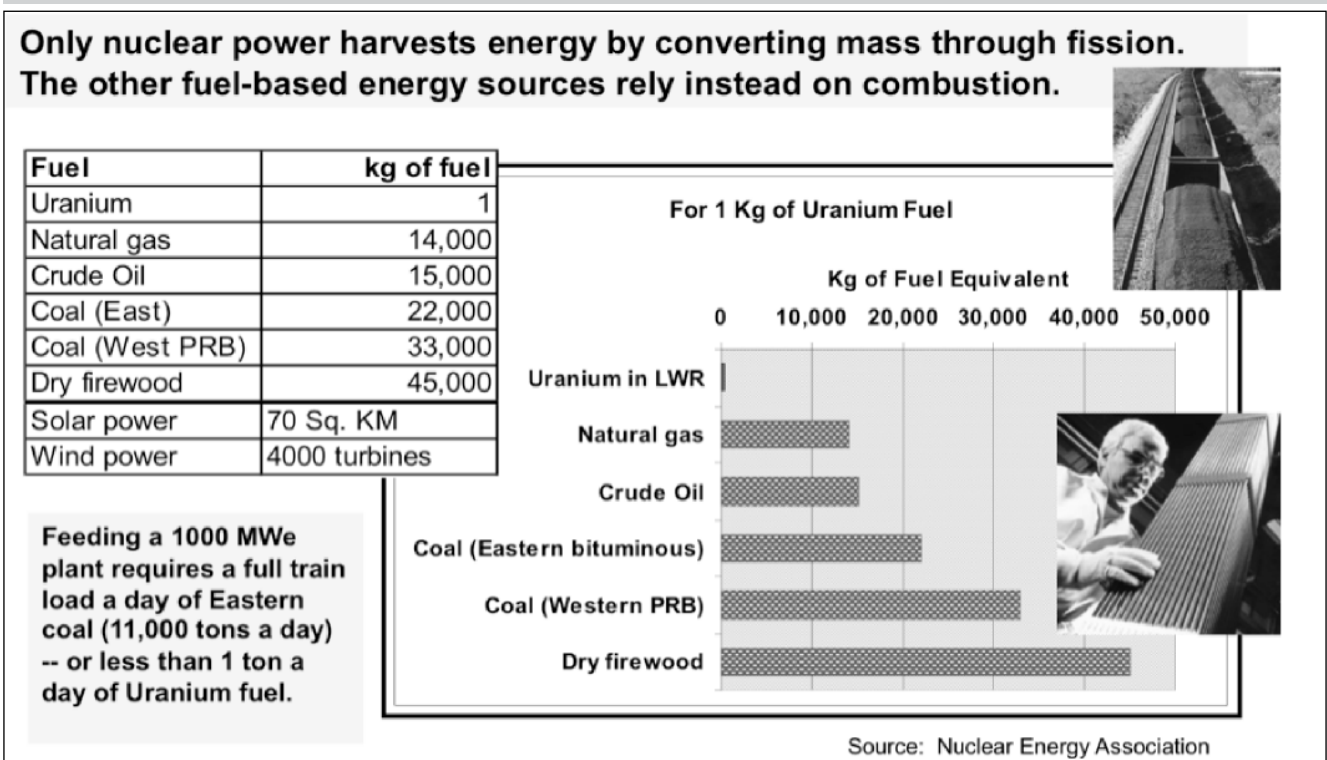
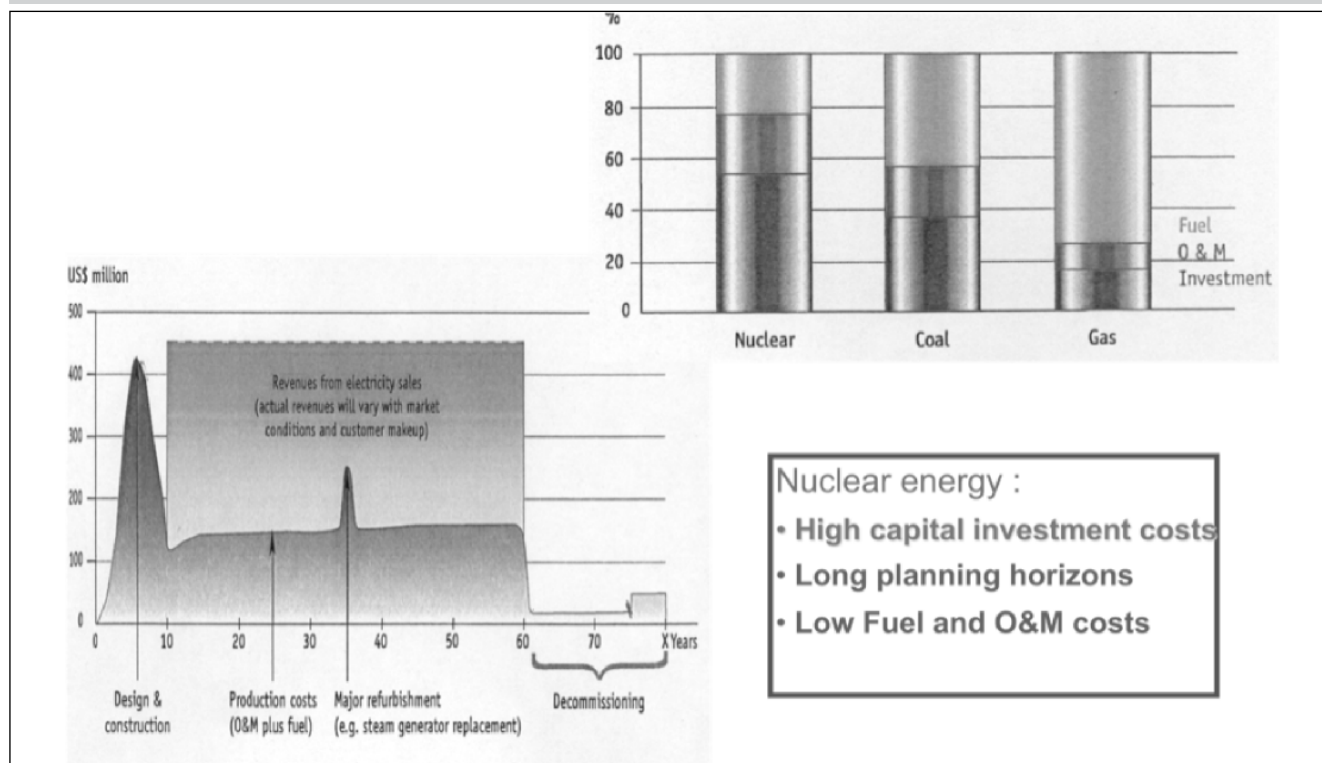


Figure 6 Structure and comparison of capital, O&M and fuel costs [27]



only about 25%, which considerably increases their “real cost”.

Perhaps the most important characteristic that will control the future expansion of nuclear energy will be the cost and time required to construct new reactors. To determine the cost of commercial nuclear options, the following four components must be factored in: (1) the capital cost component; (2) the production or non-fuel operations and maintenance (O&M) component; (3) the fuel cost component; and (4) the decommissioning component. *Figure 6* shows the peak in initial capital investment cost for NPPs, while the production cost (O&M)

and cost of fuel is considerably lower for nuclear power. [27] Based on the U.S. Federal Energy Regulatory Commission/EUCG data for 2003, the average production cost for 104 NPPs in the U.S is 1.7 cents/kWh, while the average production cost for coal is 1.8 cent/kWh, for oil is 5.5 cent/kWh and for natural gas is 5.8 cent/kWh. [7, 8]

Recent studies of comparative generation costs estimates for NPPs and their principal competitors [20, 21] were done on more than 130 plants including coal-fired, gas-fired, nuclear, hydro, solar and wind from 20 countries. Out of 22 comparative cases analyzed, nuclear power generation was cheaper

that coal-fired in 19 cases for 5% discount rate, and in 15 cases for 10% discount rate. Out of 14 comparative cases analyzed, nuclear power generation was cheaper than gas-fired in all 14 cases for 5% discount rate, and in 12 cases for 10% discount rate.

Table 1 gives comparison of nuclear, wind coal and natural gas (combined cycle) energy sources with respect to the capacity factors, the amount of steel and concrete required (in average) per MW, and the average life of the plant. It basically shows that the average capital cost per MW for wind power is the largest, the capacity factor is the smallest and the life is the shortest.

Although the average capital cost per MW for natural gas is the smallest, the cost for fuel is the largest (*Figure 6*). The capital cost per MW for nuclear is cheaper than both wind and coal, the life is the longest, and the cost for fuel is the smallest.

Modular construction technology is likely to have a major long-term impact on the evolution

Table 1 Comparison of nuclear, wind, coal, and natural gas energy sources

	Nuclear ¹ (1979's vintage PWR)	Wind ² (1990's vintage, 6.4 m/s average wind speed)	Coal ²	Natural Gas Combined Cycle ³
Capacity factor	90%	25%	78%	75%
Life (years)	60	15	30	30
Steel (MT/MW average)	40	460	98	3.3
Concrete (m3/MW average)	90	870	160	28

1. R.H. Bryan and I.T. Dudley, “Estimated Quantities of Materials Contained in a 1000-MW(e) PWR Power Plant,” Oak Ridge National Laboratory, TM-4515, June (1974)
 2. S. Pacca and A. Horvath, *Environ. Sci. Technol.*, **36**, 3194-3200 (2002).
 3. P.J. Meier, “Life-Cycle Assessment of Electricity Generation Systems and Applications for Climate Change Policy Analysis,” U. WisconsinReport UWFDM-1181, August, 2002.

of nuclear reactor and fuel cycle technologies, as well as standardization of units, removal of punitive financial practices and regulatory delays.

The most important security issues associated with nuclear energy arise from the nuclear fuel cycle, both the front-end (enrichment) and the back-end (reprocessing). The projected expansion of nuclear energy around the World has created concerns within the arms control and nonproliferation communities in the U.S. and other countries, particularly considering the projected expansion needed for front and back end fuel cycle facilities – thus, it is necessary to limit potential risks while at the same time securing the benefits [2]. However, because the energy needs are so urgent within the developing world, concerns in the developed countries (particularly U.S.) about the security of new nuclear infrastructure can be interpreted in the developing countries as efforts to block legitimate access to peaceful uses of nuclear energy [2]. These concerns could be overcome with the development of the advanced fuel cycles and proliferation resistant advanced reactor designs.

One of the important questions is related to the spent fuel and radioactive waste. If we continue with a once-through thermal fuel cycle, there are enough uranium resources to last until the end of century, and switching to the thorium cycle could expand the fuel resources even further. Although capabilities to recycle and reprocess spent fuel already exists, the fast reactors are needed for effective closing of the fuel cycle. Generation IV reactors will be more capable of operating economically with recycled fuel and “closing” the fuel cycle. In this case, the spent fuel inventories from thermal reactors will decrease and the waste stream destined for geological disposal will consist of fission products with residual actinides, which will effectively decay out in few hundred years. In this case, existing global repository capacity is sufficient for several centuries of expanded nuclear energy production. Many consider that the spent fuel and radioactive waste problem is more political than technical. Two examples in dealing with spent fuel, the U.S. and France example, will be presented in the next sections.

Public acceptance will also influence expansion of nuclear power, and public perception can be addressed by increased efforts to educate the general public, policy makers and the media.

Example to Avoid – US; Example to Follow - France

In the USA, the nuclear field has been sorely neglected for more than 30 years, both in terms of new nuclear power plants (NPP) construction, as well as support for basic and applied research and support required to train the next generation of engineers and scientists in critical areas [3-5]. The decision in the late 1970s (during the Carter Administration) to have a once-through fuel cycle with disposal rather than reprocessing of the spent fuel, generated a lot of difficulties for the U.S. waste management policy and practices, as well as for the further construction of new NPPs. Currently, there are 120 locations of spent nuclear fuel (SNF) and high-level radioactive waste (HLW) destined for geologic disposal in 39 U.S. states.

Based on the Nuclear Waste Policy Act of 1982 and its 1987 Amendments, 63,000 metric tons of spent fuel from U.S. commercial NPPs (7796 waste packages), along with 2,333 metric tons of DOE and Naval high-level waste (417 naval waste packages) and 4,667 metric tons (3,416 waste packages) from past military and commercial reprocessing, were to be disposed of in the Yucca Mountain geologic repository (Figure 7) by 1998 (total of 70,000 metric tons of heavy metal). [6, 31]

However, many milestones were missed allowing the political opposition to build up. The absence of nuclear waste disposal system that is scientifically, technically and managerially sound; environmentally and publicly safe; and politically and socially acceptable, has been hurting the nuclear industry from the very beginning, and has up to now damaged efforts to revive the nuclear program in the U.S. Since the accident at Three Mile Island in 1979, the US nuclear industry recorded unparalleled improvements in safety and reliability. However, it has not considerably improved the negative opinion of the general public about the safety of NPPs. The 1986 Chernobyl accident has demonstrated that a nuclear accident anywhere in the world can have a negative impact on the entire nuclear industry.

With the change in the U.S. administration in 2000, work on a reliable, affordable, and environmentally sound energy policy, including nuclear option, received priority. [9] In July 2002, the U.S. Congress passed legislation giving the U.S. Department of Energy (DOE) the authority to work on establishment of the Yucca Mountain

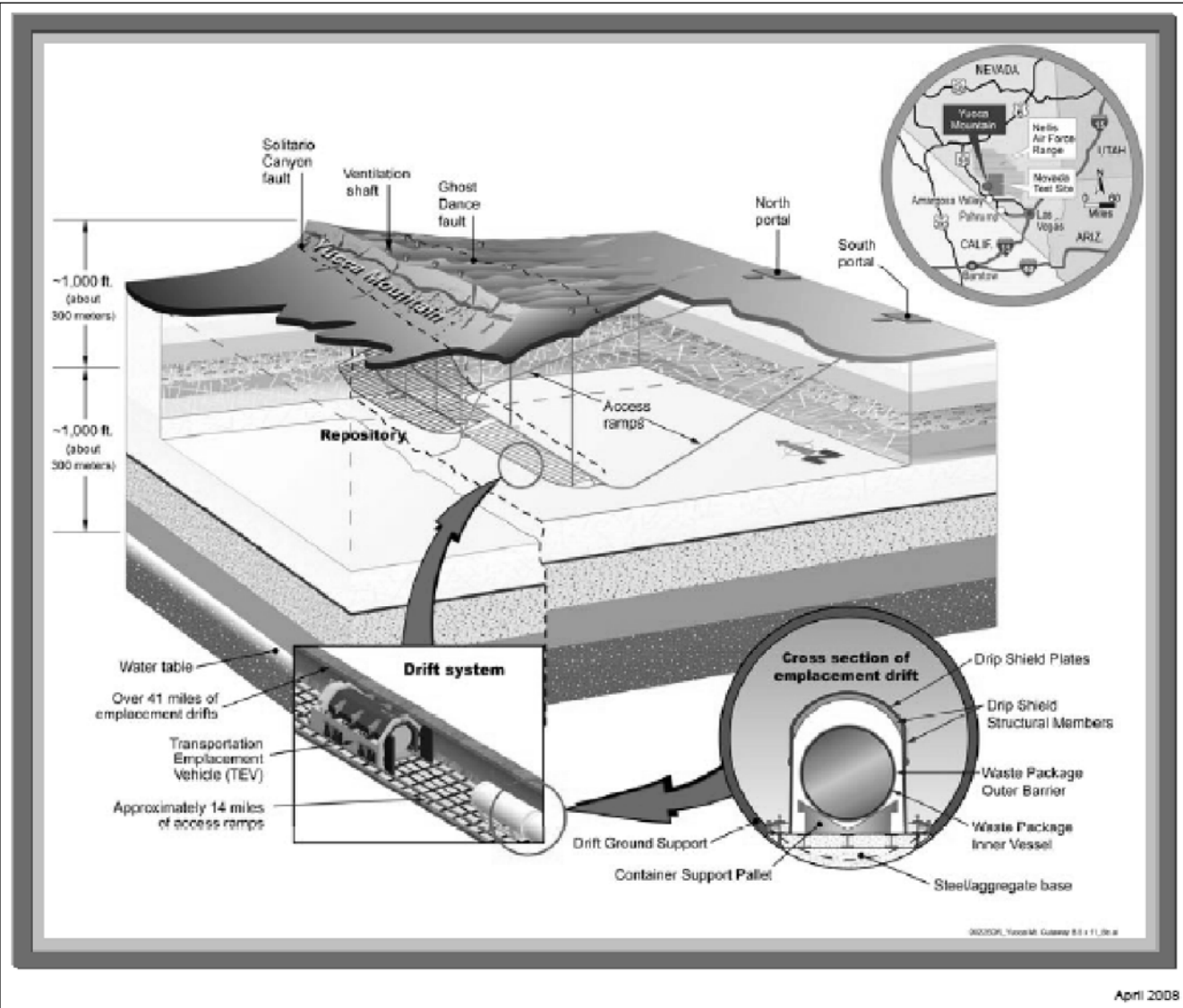
site as the geological repository for long-term disposal of nuclear spent fuel and high-level radioactive waste. In 2003 several companies in collaboration with DOE (a cost-sharing project) submitted applications for Early Site Permit (ESP) to NRC, including Exelon, Entergy and Dominion. On March 8, 2007, NRC approved its first-ever ESP for Exelon’s Clinton nuclear plant site in central Illinois, and only few weeks later on March 27, NRC approved ESP for Entergy’s Grand Gulf nuclear plant site in Mississippi. [12,13] Samuel Bodman, the U.S. Secretary of Energy at that time emphasized that “NRC approval of the Clinton early site permit represents a major accomplishment in this administration’s effort to address the barriers and stimulate development of new nuclear power plants in the United States.” [12]

In August 2005, the U.S. Congress passed the Energy Policy Act of 2005, providing substantial financial incentives for building new NPPs, and for a major expansion of nuclear energy research and development for advanced technologies that will address nuclear waste management and nuclear non-proliferation issues. [14] The federal financial incentives include: production tax credit of \$18/MWh for the first 6,000 MW of new NPPs (the same as windmills have had since 1992); 80% loan guaranties, and risk insurance (100% for delays of first two plants up to \$500 million each and 50% for delays for the next four plants up to \$250 million).

Within a year and half since the passage of the Energy Policy Act of 2005, NRC have received declaration of intent for 19 combined construction and operating licenses (COL) applications, covering at least 27 new reactors. [15] On the list for new reactor construction are the designs that have been already certified, such as Westinghouse’s AP1000 pressurized water reactor (PWR) and General Electric’s advanced boiling water reactor (ABWR), as well as two that are in the process to receive design certification from NRC – General Electric’s ESBWR and Areva’s U.S. EPR PWR. Figure 8 shows the license applications to NRC and the possible locations of new NPPs in the U.S.

On June 3, 2008, the DOE submitted a license application to the NRC seeking authorization for the construction and operation of the Yucca Mountain repository. It would take 3 to 4 years for NRC to review this application. However, it was realized that one spent fuel repository would not be enough for a planned expansion of nuclear

Figure 7 Natural and Engineered Barrier System in the Yucca Mountain Repository [31]



April 2008

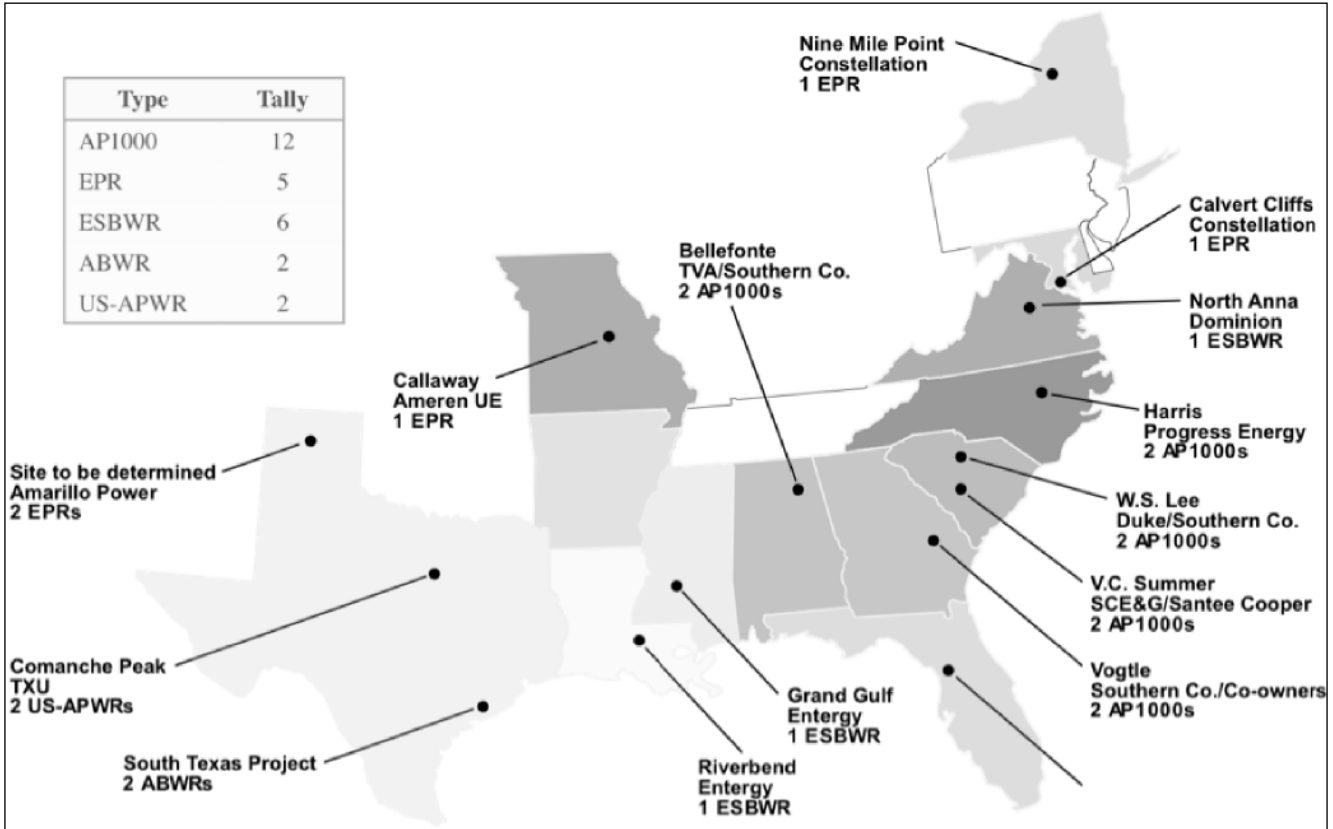
power, without the change of the old once-through policy for fuel cycle. To achieve major expansion of nuclear energy research and development for future advanced technologies, the U.S. Department of Energy (DOE) under the Bush Administration adopted a new strategy, the Global Nuclear Energy Partnership (GNEP) [16], which integrated earlier programs: the Generation IV Nuclear Energy Systems Initiative (Generation IV) [17,18] and the Advanced Fuel Cycle Initiative (AFCI) [19] with proliferation-resistant spent fuel reprocessing to minimize nuclear waste.

Generation IV furthers this vision beyond previous energy systems, such as Generation III+, through incremental improvements in economic competitiveness, sustainability, development of passively safe systems, and breakthrough methods to reduce the routes of nuclear proliferation. This new strategy envisioned that nuclear

fuel supplier nations (that have nuclear technology) would enable developing nations (that do not have nuclear technology) to affordably use nuclear energy without increasing the risk of nuclear proliferation. This initiative was to promote expansion of nuclear energy in the U.S. and in the World, through: minimizing nuclear waste through the closed fuel cycles including proliferation resistant recycling of spent fuel and use of advanced fast reactors as actinide burners. In order to provide affordable energy to developing countries, GNEP envisioned the nations with secure, advanced nuclear capabilities providing "nuclear fuel services" to other countries. These services might include: providing to developing countries small-scale nuclear reactors that are cost-effective, secure, and proliferation resistant, providing fresh fuel and recovery of spent fuel. Problem of highly radioactive spent fuel was to be resolved by closed cycle, transmutation of transuranics, and

recycling of fissile fuel. One possible closed cycle has spent fuel from light water reactors (LWRs) separated by UREX+ process, transmutation fuel fabricated in Advanced Fuel Cycle Facility (AFCF) and long-lived transuranics burned in Advanced Burner Test Reactor (ABTR). A sodium-cooled fast reactor has been proposed as ABTR. However, the GNEP initiative and some of its aspects have been criticized by the broader nuclear community, and the initiative is currently under the review and possible major revision. The new Obama Administration in the U.S. has already signaled the change in the energy policy (with emphasis on conservation and renewables), and possible reversal on Yucca Mountain and reprocessing of spent fuel. If it happens, it will be the repetition of the same pattern: each new U.S. administration usually reverses the policies of the previous administration, and the U.S. continues to follow a short

Figure 8 Generation III and III+ license applications to NRC in 2008



sighted and incoherent energy policy.

Figure 9 shows that after the large boost of research and development (R&D) expenditures in all energies during the Carter Administration, the Regan and Bush (father) Administrations reduced both nuclear and renewables but supported coal, the Clinton Administration boosted renewables, while reducing nuclear and coal, and the Bush (son) Administration boosted the coal and nuclear. As shown on Figure 10, the cumulative U.S. Federal R&D expenditures over the period from 1997 to 2006 were largest for coals and smallest for nuclear. Figure 9 also shows that there was large reduction in the annual U.S. Federal R&D

expenditures for any type of energy. It also confirms that, over the last several decades, there was no long-term U.S. energy policy, and particularly there was no long-term nuclear energy policy.

The Obama Administration in its 2009 United States Federal Budget proposal eliminated all funding for the Yucca Mountain repository except that needed for the Nuclear Regulatory Commission to continue reviewing the Yucca Mountain repository license application, while the Administration devises a new strategy toward nuclear waste disposal. [29] This latest reversal of radioactive waste policy comes after about \$7.7 billion has been spent on the Yucca Mountain project since its inception.

France, on the opposite, took the oil crisis in the 1970s very seriously. In order to overcome the lack of natural resources, reduce environmental pollution, and satisfied desire for energy security and energy independence, France decided to aggressively develop their nuclear power program (Figure 11). France decided to reduce use of fossil fuels, entirely phase out coal, and invest heavily into nuclear. Since then, France has been working steadily on a long-term nuclear energy policy, nuclear spent fuel and radioactive waste policy. France also reprocesses spent fuel for other countries, but the nuclear waste is returned to the country of origin.

The French nuclear program is based on the U.S. technology - Pressurized Water

Figure 9 Annual US Federal R&D Expenditures, 1976-2006

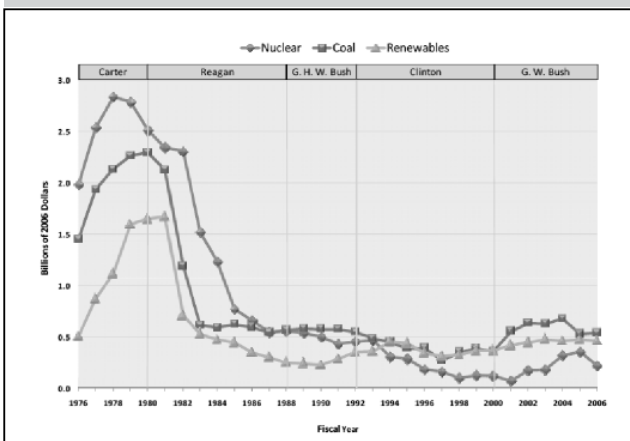


Figure 10 Cumulative US Federal R&D Expenditures, 1997-2006

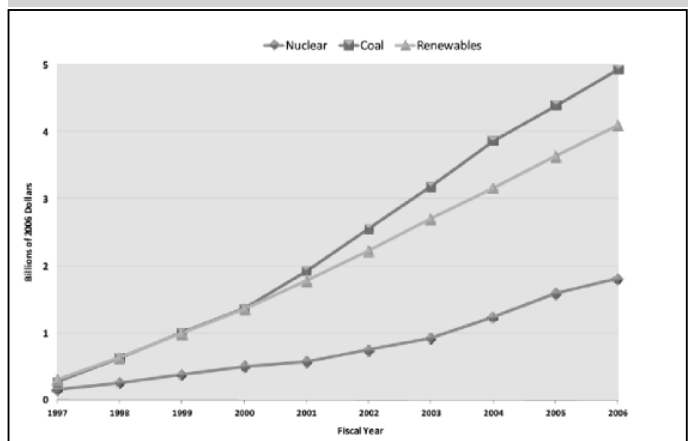
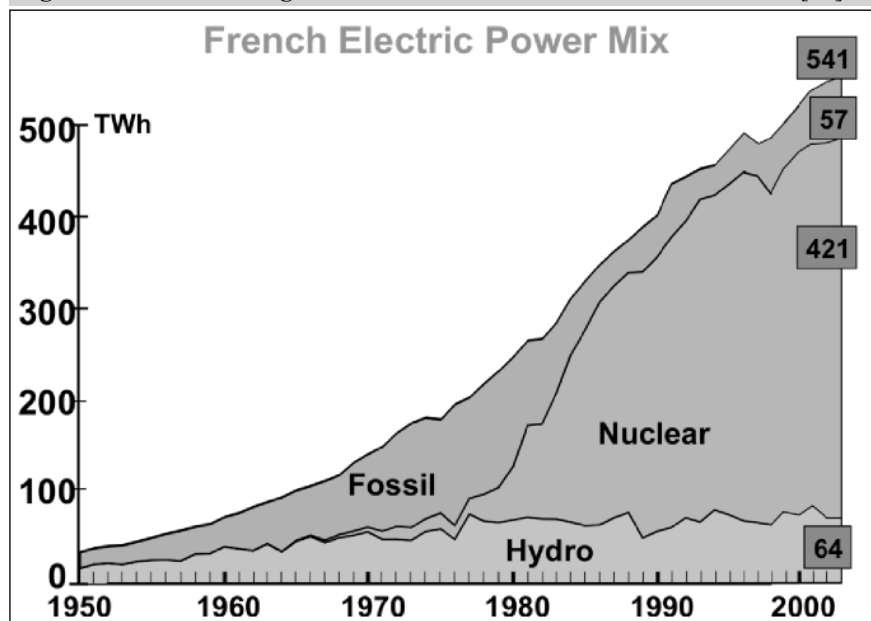


Figure 11 Drastic changes in French Electric Power Mix in mid 1970s [27]



Reactors designed by Westinghouse. The success of French nuclear program could be attributed to several factors. France decided to pursue just one standardized design, making the 56 plants much cheaper to build than in the U.S. The management of its NPPs was simplified, and handling of safety issues was much easier - the lessons and experiences from any incident at one plant were quickly passed to the other 55 plants. This approach was much more efficient than the U.S. approach, with many different designs managed by many different utilities.

The other large difference is that many high-ranking civil servants and government officials in France are trained as scientists and engineers (rather than lawyers, as in the U.S.) and are considered to be the country's elite, well respected and trusted by the general population. [30]

In addition, the French authorities have worked hard to educate general public about the benefits of nuclear energy as well as the risks, reinforcing the link between nuclear power and the electricity that makes modern life possible. As a consequence, many polls find that about two-thirds of the French population are strongly in favor of nuclear power. [30]

During the early years of the Cold War, both the U.S. and France had invested billions of dollars in the spent fuel reprocessing facilities. After building significant military arsenal, the U.S. decided to decommission its reprocessing facilities, and introduce the once-through spent fuel policy believing that the risk of proliferation outweighed

any possible commercial benefits. On the contrary, France decided to convert part of its weapons-building infrastructure into a civilian use for reprocessing and fabricating new reactor fuel from the uranium and plutonium present in spent fuel. In order to decide what to do with the radioactive waste from reprocessing domestic spent fuel, France passed the legislation in 1991 that established a 15-year period for conducting radioactive waste management research. In addition, the storage of foreign waste in France has been prohibited by the Bataille Law of 1991. The foreign spent fuel could be reprocessed but the waste must be shipped back to their country of origin. In 2006, right on schedule, the French Parliament had passed the radioactive waste management legislation that establishes deep geological disposal as the "reference solution" for high-level and long-lived radioactive waste and sets the goal of authorizing construction of a repository by 2015: [28]

1. In order to reduce the quantity of radioactive waste, spent nuclear fuel will be reprocessed for recycling in NPPs; the waste which cannot be recycled will be packaged and then temporarily stored on the surface (interim storage); after interim storage, waste which cannot be finally disposed of in a surface facility, will be placed in a deep geological reversible repository.
2. In order to monitor each step in this plan, strengthens requirement for independent assessment of research and continuing information of the public. Construction of the repository is planned for 2015, and

a specified site is to be authorized by the Prime Minister decree, after recommendation by the nuclear safety authority, following the public debate and approval of the local authorities.

3. The 2006 Act specifies that the future research will be financed by additional taxes on the operators of nuclear installations. The nuclear industry, in particular EDF, will be required to start allocating funds for decommissioning of NPPs and building of the repository

With this new legislation, France has implemented its National Plan for managing nuclear materials and radioactive waste, and guaranteed the long-term funding for the radioactive waste management. France also decided to continue working on Gen IV reactors and build the first Gen IV reactor by 2020.

Possible long-term U.S. Strategy

Security in radioactive waste disposal is crucial before investors can accept the financial risk of commissioning new power plants, and the regulatory bodies can license them. Thus, in the U.S. it is important that the licensing process of Yucca Mountain Repository continues, but keeping in mind that its design and operation may change given an imminent nuclear energy expansion. By "closing" the fuel cycle, full utilization of the energy content of "once-through" spent fuel as well as waste minimization can be achieved; however, it is important to recognize that a geologic repository is necessary even with recycling.

Several new factors must be implemented in the evaluation of a recycling scenario: the efficiency increase in the use of fissile resources, alteration of waste forms, reduction of the overall waste burden, anticipated need for actinides for fast reactor fuel, and nonproliferation objectives. To strengthen the current nonproliferation regime, some key ideas must be further developed: improved safeguards technology and transparency, designing safeguards technologies into new facilities, and assuring a fuel cycle service system with incentives to renounce enrichment and reprocessing capabilities. Broad research and development efforts are urgently necessary to make informed decisions on how to proceed.

Realizing the seriousness of the energy situation, directors of all ten national laboratories in the U.S. in August

2008 put together a position paper on “A Sustainable Energy Future: The Essential Role of Nuclear Energy,” [23] in August 2008 for the U.S. policy makers, in which they state their joint position regarding specific near-term actions as well as a coherent long term strategy.

In the short term, the United States needs to urgently extend the life of its existing nuclear plants (up to 60-80 years), build new plants, and implement further cost improvements. An integrated approach must be employed to manage nuclear fuel and high-level waste, including interim storage, licensing of the Yucca Mountain Repository, and exploring optimal future waste management options. In the medium- and long-term, recycling of spent fuel and development of advanced fuel cycles must be aggressively pursued, together with the development of advanced Generation IV reactors. Partnering with other countries and international collaboration is highly recommended, in order to assure uninterrupted worldwide fuel supply and effective waste management, thus discouraging the spread of enrichment and reprocessing capabilities. Research and development in advanced safeguards must be emphasized. Expert and expertise must be rebuilt across industry, national laboratories and academia.

Possible solution for deep geological repository for both recycled or once-through spent fuel could be the Waste Isolation Pilot Plant (WIPP), currently licensed to permanently dispose of transuranic radioactive waste for 10000 years [32]. It is located approximately

26 miles east of Carlsbad, New Mexico, and has been operating for almost ten years, since 1999. So far, about 60,000 m³ of waste in over 100,000 containers, equivalent to about 300,000 fifty-five gallon drums of defense transuranic waste has been deposited in WIPP (Figure 12).

Waste is placed in rooms 2,150 feet underground that have been excavated within a 3,000 foot thick salt formation (Salado and Castile Formations) where salt tectonics has been stable for more than 250 million years.

Conclusion

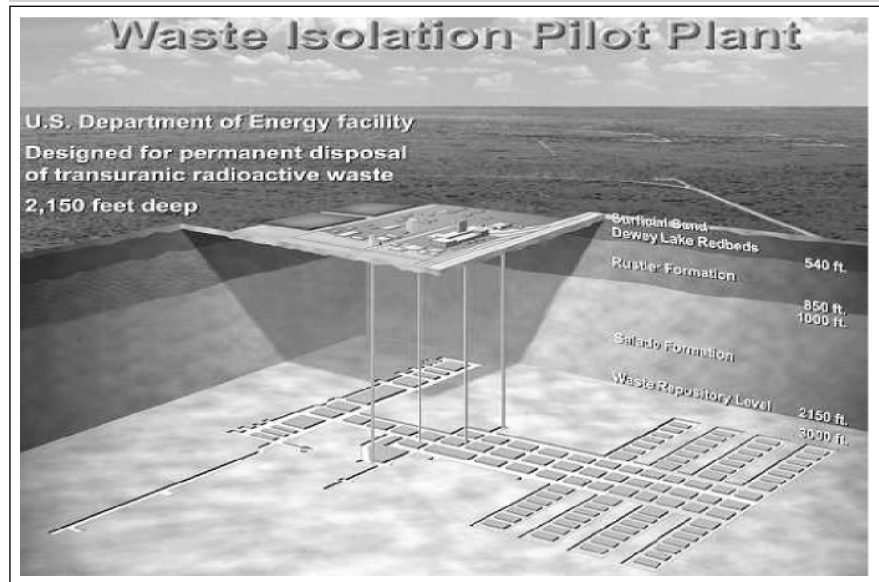
Nuclear power has demonstrated long-term stability in production costs, compared to natural gas derived electricity. Nuclear power must play an expanding role in meeting increased energy demand in a safe and proliferation resistant manner, and with minimal waste production through recycling. In order to achieve this goal, extensive research and technology development is required in areas such as advanced fast-neutron burner reactors, advanced recycling and chemical separations processes, and a comprehensive understanding of nuclear fuel cycles and the global environment. The technical challenges require a long-term strategy in building research capabilities and teaming among international and national laboratories, universities and industry to fully achieve the global energy security benefits. This includes granting lifetime extensions of current nuclear power plants as well as aggressively pursuing research in advanced fuel cycles, in areas of advanced reactors, reprocessing, waste

management, and fuel fabrication.

Nuclear Energy has been used for electricity production, but a new generation of novel, inherently safer reactors can supply high-temperature steam for number of petroleum, coal and chemical industry applicants: recovery of oil from unconventional petroleum sources such as oil sands and heavy oil, coal-to-liquids conversion, and production of hydrogen for refineries, chemical industries and possibly future transportation fuel. Use of nuclear-generated steam to displace steam generated using fossil fuels can significantly reduce CO2 emissions in current heavy oil recovery operations, and in hydrogen production. This approach can contribute to the significant conservation of resources such as natural gas for more appropriate uses, for example fertilizer production, space heating, cooking, power plants, etc.

However, longer-term challenges remain in the areas of spent fuel disposition, proliferation of nuclear technologies and materials, fuel resource management and fuel cycle economics. The degree to which nuclear energy can sustainably meet long-term energy needs will depend on the supported development of advanced technologies, together with sound domestic and international policy implementations. Because nuclear energy can substitute for natural gas currently used in these applications, the economics of applying nuclear energy appear increasingly attractive. It has become apparent that nuclear power must increasingly become a central source of energy for sustainable development as global energy demand continues to grow.

Figure 12 Waste Isolation Pilot Program in New Mexico
(<http://www.wipp.energy.gov>)



References

[1] “The University of California Office of the President Asia-Pacific Forum on Integration of Sustainability, Safety and Security of Nuclear Technology, June 12-13, 2008, University of California, Berkeley,” Executive Summary and Report, July 2008.

[2] “Nuclear Power and Proliferation Resistance: Securing Benefits, Limiting Risk,” A Report by the Nuclear Energy Study Group of the American Physical Society Panel on Public Affairs, May 2005, http://www.aps.org/public_affairs/proliferation-resistance/

- [3] "Readiness of the U.S. Nuclear Workforce for 21st Century Challenges," A Report from the APS Panel on Public Affairs Committee on Energy and Environment, June 2008
- [4] "Nuclear's Human Element," Special Committee on Federal Investment in Nuclear Education, American Nuclear Society, Dec. 2006, <http://www.ans.org/pi/fine/docs/finereport.pdf>.
- [5] "Education in Nuclear Science: A status Report and Recommendation for the Beginning of the 21st Century," The DOE/NSF Nuclear Science Advisory Committee Subcommittee on Education, J. Cerny (Chair), U.S. Department of Energy-Office of Science-Office of Nuclear Physics; National Science Foundation-Division of Physics-Nuclear Physics Program, November 2004, http://www.sc.doe.gov/np/nsac/docs/NSAC_CR_education_report_final.pdf
- [6] "Nuclear Energy: 2000 and Beyond, A Strategic Direction for Nuclear Energy in the 21st Century," Nuclear Energy Institute, Washington, DC (1998).
- [7] J. H. Kotek, "The Nuclear Energy Future," Presentation at University of California at Berkeley, October 2005.
- [8] A. D. Paterson, "Back to Base-load: the Investment Challenge – Outlook on Energy Projects after the Energy Policy Act 2005 – Nuclear, Coal Gasification and New Technologies," Bank of America Fixed Income Investor Seminar: Perspective on the Next Generation Energy Projects, December 2005.
- [9] National Energy Policy – Reliable, Affordable, and Environmentally Sound Energy for America's Future, Report of the National Energy Policy Development Group, May 2001 <http://nuclear.gov/pdfFiles/nationalEnergyPolicy.pdf>
- [10] A Roadmap to Deploy New Nuclear Power Plants in the United States by 2010, October 31, 2001 <http://nuclear.gov/np2010/reports/>
- [11] U.S. Nuclear Power 2010, February 14, 2002 <http://nuclear.gov/np2010/neNP2010a.html>
- [12] Nuclear Energy Overview, Nuclear Energy Institute, March 12, 2007.
- [13] Nuclear Energy Overview, Nuclear Energy Institute, April 2, 2007.
- [14] U.S. Energy Policy Act of 2005, <http://nuclear.gov/energyPolicyAct2005/neEPACT2a.html>
- [15] "Renaissance Watch – An update on the development that may lead to new power reactor orders and construction," *Nuclear News*, October 2006.
- [16] U.S. Department of Energy Global Nuclear Energy Partnership (GNEP), 2006. <http://www.gnep.energy.gov/>
- [17] Generation IV Nuclear Energy Systems (GEN IV) <http://nuclear.gov/genIV/neGenIV1.html>
- [18] A Technology Roadmap for Generation IV Nuclear Energy Systems, GIF002-00, Issued by the U.S. DOE Nuclear Energy Research Advisory Committee and Generation IV International Forum (GIF), December 2002 http://nuclear.gov/genIV/documents/gen_iv_roadmap.pdf
- [19] Advanced Fuel Cycle Initiative (AFCI) Program Plan, U.S. Department of Energy, May 1, 2005. <http://www.ne.doe.gov/AFCI/neAFCI.html>
- [20] "Projected Costs of Generating Electricity: 2005 Update," Nuclear Energy Agency and International Energy Agency, OECD/IEA, Paris, 2005 http://www.iea.org/Textbase/publications/free_new_Desc.asp?PUBS_ID=1472
- [21] IAEA Nuclear Technology Review – Update 2005, GC(49)/INF/3, 11 July 2005.
- [22] The Path to Sustainable Nuclear Energy – Basic and Applied Research Opportunities for Advanced Fuel Cycles, DOE Workshop, September 12-14, 2005.
- [23] "A Sustainable Energy Future: The Essential Role of Nuclear Energy," Position Paper on Nuclear Energy by Directors of Ten U.S. National Laboratories (LANL, PNNL, BNL, ORNL, LBNL, LLNL, INL, ANL, SNL, and SRNL), August 2008.
- [24] A. Badruzzaman, J. Hedgins, T. Demayo, H. Sigworth, "Nuclear Energy for Unconventional Fossil-fuel Resources Recovery," Proc. of the 2008 Society of Petroleum Engineers Annual Technical Conference and Exhibition, Denver, Colorado, USA, 21-24 September 2008.
- [25] J. Vujic and D. Antic, "New Sustainable Energy Trends in the USA," *Elektroptivreda* (in Serbian), v.61 (4), s. 39-48, 2008.
- [26] E. Blanford, L. Kim, M. Laufer, and P. Peterson, Pathways: Scenarios for Nuclear Energy and Nuclear Weapons in 2030 and Implications for United States Policy – Scenario I A Global Nuclear Energy Expansion Scenario: The World in 2030, Internal report, UC Berkeley, Sep 2008.
- [27] J. Bouchard, "Can Nuclear Energy be a Sustainable Contribution to Address Climate Change Concerns: The French Experience," Lecture at the University of California, Berkeley, CA, USA, Feb. 26, 2009.
- [28] C. Birraux, "The French 2006 Programme Act on the Sustainable Management of Radioactive Materials and Wastes and its Possible Contribution to GNEP," Lecture at the University of California, Berkeley, CA, USA, January 2007.
- [29] Hebert, H. Josef. 2009. "Nuclear waste won't be going to Nevada's Yucca Mountain, Obama official says." *Chicago Tribune*. March 6, 2009,
- [30] J. Parfremam, "Why the French like Nuclear Energy?" PBS Frontline's "Nuclear Reaction", <http://www.pbs.org/wgbh/pages/frontline/shows/reaction/readings/french.html>
- [31] P. Swift, "Long-Term Performance Estimates for the Proposed Yucca Mountain Repository: Current Status," Presentation at the Department of Nuclear Engineering, University of California, Berkeley, April 14 2008.
- [32] J.L. Conca and J. Wright, "A Single Global Small-User Nuclear Repository – 9088," *Waste Management 2009 Symposium, March 1-5, 2009, Phoenix, AZ*

Energetski potencijal ležišta mrkih ugljeva i uljnih škriljaca

Uvod

U periodu do kraja 2008. godine proizvodnja uglja iz aktivnih rudnika JP PEU predviđena Strategijom razvoja energetike republike Srbije do 2015. godine nije ostvarena. Razloga za to ima više, a jedan od osnovnih je nedostatak sredstava za unapređenje i modernizaciju procesa proizvodnje. Za period do kraja 2010. godine, odnosno do kraja 2012. godine predviđeno je povećanje proizvodnje iz JP PEU na nivo od 1.055.000 tona, što je blizu nivoa predviđenog Strategijom (1.350.000 t). Da bi se ovaj nivo dostigao, a i značajno prevazišao, potrebno je, pored modernizacije postojećih kapaciteta, pripremiti i aktivirati nove. Ovim kapacitetima biće posvećene posebna pažnja.

Energetski potencijal ležišta uglja

Geološke rezerve uglja u ležištima Srbije u kojima se može organizovati samo podzemna eksploatacija su su izuzetno velike i prevazilaze milijardu tona. Rezerve koje su bilansirane procenjuju se na oko 860 miliona tona i prikazane su u tabeli 1.

Kao što se iz tabele 1 može videti, najveće rezerve su u Sjeničkom basenu mrkog uglja. U tabeli 2 prikazane su rezerve u ovom basenu po otkopnim poljima.

Zapadno polje **Sjeničkog basena** sa bilansnim rezervama od 147 miliona tona predstavlja veliki potencijal ovog ležišta i predmet je detaljnog interesovanja i razmatranja mogućnosti korišćenja.

Rudarsko-geološki faktori favorizuju mehanizovano otkopavanje u ovom ležištu i ne predstavljaju limitirajuće

Rezime

Rezerve ležišta mrkih ugljeva i uljnih škriljaca u Srbiji su veoma velike. To potvrđuju geološka istraživanja i overeni elaborati. Ovom energetsom potencijalu, do sada, nije pridavan adekvatan značaj. Naš stav je da ovaj pristup treba promeniti. U ovom radu su navedene ukupne rezerve mrkih ugljeva i lignita, čija se eksploatacija može organizovati metodama podzemne eksploatacije, kao i rezerve uljnih škriljaca, čije se najveće količine takođe mogu otkopati samo metodama podzemne eksploatacije. Posebna pažnja je posvećena veoma perspektivnim ležištima uglja (Sjenički ugljeni baseni i ležišta rudnika Soko i Ćirikovac) i aleksinačkom ležištu uljnih škriljaca.

uslove za ostvarivanje visoke proizvodnje. U svakom slučaju, obim proizvodnje uglja iz rudnika Štavalj bi se mogao proceniti na 1.000.000 t/god (za blokove snage do 200 MW) do 2.500.000 t/god (za blokove snage oko 400 MW).

Za rudnik Štavalj postoji dokument (prifizibiliti studija) o mogućnosti njegovog razvoja, koji je uradila renomirana nemačka konsultantska firma DMT GmbH u saradnji sa Rudarsko-geološkim fakultetom iz Beograda i slovačkom firmom S.E.S. (2007.), a kojom se predviđa izgradnja termoelektrane snage 320 MW i za njene potrebe otvaranje visoko produktivnog rudnika sa podzemnom eksploatacijom.

Za potrebe elektrane snage 2 h 160 MW potrebno je 210 t/h uglja DTS 13800 kJ/kg. Za raspoloživost od 8000 časova godišnje potrebno je 1,68 miliona tona čistog uglja. Za ovu potrebu termoelektrane neophodno je otkopati 2,24 miliona tona rovnog uglja godišnje. Predviđeno je mehanizovano širokočelno odstupno otkopavanje sa godišnjom proizvodnjom od 2,3 miliona tona rovnog uglja (2,24 mil. tona za potrebe termoelektrane i oko 60.000 tona za potrebe tradicionalnih kupaca).

Ukupna dužina svih prostorija koje je potrebno izraditi da bi se otpočelo sa proizvodnjom iznosi 13.000 m, a procenjuje se da proizvodnja može početi za tri godine (36 meseci).

Ukupan vek eksploatacije uglja samo iz

Tabela 1 Pezerve uglja u Srbiji za pozemnu eksploataciju

Ležište	Bilansne rezerve uglja (t)
Aktivni rudnici	95.000.000
Štavalj (bez centralnog polja)	180.000.000
Ćirikovac (preostale rezerve)	120.000.000
Poljana	60.000.000
Melnica	40.000.000
Ukupno bilansne rezerve	495.000.000
Mala ležišta (tabela 6.)	365.000.000
Ukupno	860.000.000

Tabela 2 Rezerve uglja u ležištu Štavalj

Kategorija	Rezerve (t)			Rezerve prema "JORC" standardu (t)	
	Bilansne	Vanbilansne	Ukupno	Measured (A+B)	Indicated (C)
Istočno polje					
A	11.598.230	-	11.598.230	29.767.680	-
B	18.169.450	-	18.169.450		
A+B	29.767.680	-	29.767.680		
Centralno polje					
A	345.562	988.753	1.334.315	10.276.169	-
B	9.930.607	4.948.297	14.878.903		
C ₁	-	107.926	107.926		
A+B+C ₁	10.276.169	6.044.976	16.321.145		
Zapadno polje					
B	84.569.760	801.790	85.371.550	84.596.760	62.546.720
C ₁	62.546.720	862.780	63.409.500		
B+C ₁	147.116.480	1.664.570	148.781.050		
Ukupno	187.187.329	7.709.546	194.869.875	124.640.609	62.546.720
Južno polje	-	-	>50.000.000	-	-

Zapadnog polja bio bi oko 64 godine. Ako se uzme u obzir da se eksploatacija može kasnije organizovati u Istočnom, Centralnom, pa i Južnom polju, koje je nedovoljno istraženo i gde su rezerve preko 50 miliona tona, izvesno je da se vek eksploatacije može utvrditi na oko 100 godina. Ovaj podatak svakako predstavlja respektabilnu polaznu osnovu za razmatranje mogućnosti izgradnje savremenih rudarskih i energetskih kapaciteta na području Sjeničkog ugljenog basena.

Rezerve uglja u ležištu Soko, sa stanjem na dan 31.12.2004. godine prikazane su u tabeli 3. U međuvremenu je otkopano 302.288. tona uglja. Imajući

u vidu navedene rezerve uglja može se konstatovati da rudnik Soko ima potencijal za održivi rad, za šta je neophodno mehanizovati proces otkopavanja i proizvodnju dovesti na nivo od 300.000 t/god.

Izgradnja zamenskog kapaciteta u rudniku Soko je praktično već u toku, s tim da treba naglasiti da se radi o izgradnji novog rudnika u istočnom krilu Centralnog polja. Izgradnja ovog kapaciteta bi dugoročno rešila pitanje proizvodnje u rudniku Soko. Do sada su realizovane aktivnosti prve faze odnosno izrađene su prostorije u dužini od oko 2500 m. U okviru druge faze potrebno je izraditi prostorije otvaranja

prikazane su u tabeli 4.

Značajne količine preostalih rezervi uglja u ležištu Čirikovac i vrlo povoljni geološki uslovi favorizuju podzemnu eksploataciju u ovom delu Kostolačkog basena. Drugim rečima, slojne prilike i uslovi radne sredine su takvi da omogućuju primenu novih tehnologija i savremene opreme za podzemnu eksploataciju uglja, čime bi se obezbedili visoki učinci, i sigurnost i bezbednost zaposlenih. Rezultati proračuna mase uglja u ograničenom eksploatacionom polju II i III ugljenog sloja u ležištu Čirikovac dati su u tabeli 5. Za eksploataciju bi se mogla primeniti metoda odstupnog širokog čela sa mehanizovanim procesom otkopavanja, uz obaranjem krovinskog dela ugljenog sloja. Na ovaj način bi se mogao ostvariti godišnji kapacitet od oko 1.970.000 t rovnog uglja.

Ukupna dužina svih prostorija koje je potrebno izraditi da bi se otpočelo sa proizvodnjom iznosi 14.970 m, a procenjuje se da proizvodnja može početi za tri godine (36 meseci).

Ukupan vek eksploatacije lignita iz I i II banka bi bio oko 46 godina. Ako se uzme u obzir da se eksploatacija lignita može kasnije organizovati i u III banku izvesno je da se vek eksploatacije samo iz III sloja u ležištu Čirikovac, može utvrditi na oko 60 godina. Znači oko 119 miliona tona lignita i oko 60 godina podzemne eksploatacije predstavljaju realnu polaznu osnovu za izgradnju savremenih industrijskih i energetskih kapaciteta na području Kostolačkog ugljenog basena.

Deficit Republike Srbije u kvalitetnijim ugljevima može ovim projektom biti smanjen, ako se ima u vidu da široka potrošnja koristi i relativno niži kvalitet uglja, naročito u ruralnim područjima.

Tabela 3 Rezerve uglja u ležištu Soko (t)

Klasa	Kategorija			
	A	B	C ₁	A+B+C ₁
Bilansne	443.136	16.025.063	41.887.592	58.355.79
Vanbilansne	2.062.203	669.381	-	2.731.58
UKUPNO	2.505.339	16.694.444	41.887.592	61.087.37

Tabela 4 Rezerve uglja u polju Čirikovac (t)

Klasa	Kategorija			
	A	B	C ₁	A+B+C ₁
Bilansne	-	85.458.000	33.537.000	118.995.00
Vanbilansne	-	44.319.000	42.842.000	87.161.00
UKUPNO	-	129.777.000	76.379.000	206.156.00

Tabela 5 Mase uglja u ležištu Čirikovac

K O T E		M A S E (t)
Od	Do	
MASE (t) II UGLJENOG SLOJA		
0.0	80.0	24,194.950
MASE (t) I BANKA III UGLJENOG SLOJA		
-100.0	50.0	39,016.352
MASE (t) II BANKA III UGLJENOG SLOJA		
-110.0	40.0	49,804.184
MASE (t) III BANKA III UGLJENOG SLOJA		
-120.0	30.0	23,518.702

I horizonta u dužini od 2480 m, čime bi se završilo otvaranje ležišta i stvorili uslovi za njegovu razradu odnosno početak eksploatacije.

Period potreban za realizaciju druge faze, odnosno izradu prostorija, se procenjuje na 2,5 do 3 godine.

Tabela 6 Ukupne rezerve malih ležišta uglja Srbije (10⁶ t)

Vrsta uglja	Rezerve			
	Bilansne	Vanbilansne	Potencijalne	Geološke
Antracit	1.51	-	-	1.51
Kameni	16.19	1.26	27.75	17.45
Mrki	119.21	20.91	6.4	140.12
Mrko-lignitski	228.55	62.49	29.92	291.04
Ukupno ugalj	365.46	84.66	64.07	450.12

Tabela 7 Tržište kvalitetnih ugljeva u Srbiji (10⁶ t)

	JP EPS	JP PEU	Rudnik Kovin	Uvoz	Ukupno
2006.	1,79	0,34	0,17	0,51	2,81
2007.	1,54	0,38	0,25	0,53	2,70
2008.	1,72	0,34	0,25	0,375	2,685

Tabela 8 Ukupne rezerve uljnih škriljaca u ležištu Aleksinac

KATEGORIJA	REZERVE (t)		
	NEPOREMEĆENE	POREMEĆENE	GEOLOŠKE
POLJE DUBRAVA			
A	10 486 570	54 912 260	65 398 830
B	119 533 010	16 541 880	163 074 890
C1	134 051 380	43 354 250	177 405 630
C2	30 000 000	-	30 000 000
A+B+C1+C2	294 070 960	-	408 879 350
POLJE MORAVA I LOGORIŠTE			
A	11 613 190	-	11 613 190
B	100 929 880	-	100 929 880
C1	179 613 370	125 563 100	305 176 470
C2	665 808 190	450 415 730	1 116 223 930
A+B+C1+C2	957 964 630	578 978 830	1 533 943 470
UKUPNO			
A	22 099 760	54 912 260	77 120 020
B	220 462 890	16 514 880	237 004 770
C1	313 664 750	168 917 350	482 582 100
C2	695 808 190	450 415 730	1 146 223 920
A+B+C1+C2	1 252 035 590	690 787 220	1 942 822 810

Studijom koja je 2006. godine urađena za potrebe EPS-a potvrđene su ranije pretpostavke da preostale rezerve ležišta Ćirikovac mogu biti realno bilansirane na srednji i dugi rok u energetske strategiji zemlje.

Rudnik lignita **Lubnica** je takođe interesantan sa energetske aspekta, imajući u vidu planove za izgradnju toplane-elektrane u Zaječaru, kao i zainteresovanost investitora. U ovom rudniku su investicione aktivnosti na otvaranju nove jame – Osojno Jug u toku. Sa obezbeđenjem tržišta (toplana-elektrana) i sa nabavkom jednog mehanizovanog širokočelnog kompleksa, mogla bi se ostvariti proizvodnja uglja od 2350.000 t/ god, koja bi u potpunosti obezbedila snabdevanje toplane-elektrane i postojećih kupaca, a time i održivi rad rudnika.

Pored navedenih rudnika uglja, u Srbiji je u manjoj ili većoj meri istraženo preko 25 lokaliteta, koji mogu biti predmet kompleksne tehničko-ekonomske analize sa realnim očekivanjem da veći broj može dati pozitivne efekte u proizvodnji uglja. Činjenica da postoje tehnologije sagorevanja koje omogućavaju ekonomično i ekološki prihvatljivo korišćenje ugljeva sa visokim procentom pepela (do 60%), vlage (do 60%), sumpora, otvara šire mogućnosti za izbor metoda i tehnologija podzemne eksploatacije koje omogućavaju znatno niže troškove proizvodnje.

U tabeli 6 prikazani su potencijali malih ležišta (Jerma, Rtanj, Despotovački basen, Dragačevski basen, Zapadno-moravski basen i dr.) od kojih je veći deo pogodan za podzemnu eksploataciju.

Analiza tržišta kvalitetnih ugljeva u Srbiji (tabela 7) pokazuje da se potrebe za ovim ugljem nadomešćuju uglavnom lignitom iz rudnika „Kolubare“ i „Kostolca“ (1,72 mil. tona u 2008. godini), kao i iz uvoza i rudnika „Kovin“. Ovo govori da postoji veliki prostor za značajno povećanje proizvodnje i plasman uglja iz postojećih i novih rudnika sa podzemnom eksploatacijom koji se procenjuje na dva miliona tona godišnje.

Energetski potencijal uljnih škriljaca

Najznačajnija baseni uljnih škriljaca Srbije su: Aleksinački, Vranjski, Senenonski tektonski rov, Valjevsko-mionički, Zapadno-moravski, Kruševački, Babušnički, Kosanički, Niški i Levački.

Visok stepen istraženosti postignut je jedino u aleksinačkom ležištu uljnih škriljaca. Proračunate rezerve kategorija A, B i C₁ svrstane su u vanbilansne s obzirom da nije definisana tehnologija njihove prerade zaviso od sastava i tehnno-ekonomskih uslova eksploatacije. Uljni škriljci aleksinačkog ležišta zauzimaju površinu od oko 20 km². Povlatni paket uljnih škriljaca (I) ovog ležišta debljine oko 75,5 m daje prosečan prinos ulja od 10 mas.%, a podinski (II) debljine oko 26 m daje 12,5 mas.% ulja. Uljni škriljci zaležu prema zapadu pod uglom 30-50°, do dubine od 700 m u centralnom delu basena, da bi se prema zapadnom obodu pad promenio u suprotnom smeru. Potencijalne rezerve uljnih škriljaca u aleksinačkom ležištu cene se na oko dve milijarde tona, pri čemu samo u polju Dubrava rezerve kategorija A+B+C₁, sa srednjim sadržajem organske supstance od 16,6 zap.% i prinosom ulja od 8,95 mas.%, iznose 378.879.690 t. Prema dominantnom tipu kerogena i stepenu konverzije rezerve ulja se cene na oko 200 miliona tona.

Iz ležišta uljnih škriljaca u Aleksinačkom basenu moguće je organizovati eksploataciju, bez većih poteškoća. Strateško opredeljenje treba da bude da li ovaj energent treba koristiti u termoelektranama, za proizvodnju električne energije, ili poznatim tehnološkim postupcima (“Kiviter” i “Galoter”) za proizvodnju sintetičke nafte. Ovde ćemo istaći da iskustva jedine tri zemlje koje koriste uljne škriljce u komercijalne svrhe (Kina, Estonija i Brazil) govore da je proizvodnja sintetičke nafte ekonomski isplativija.

U tabeli 8 prikazane su rezerve uljnih škriljaca u poljima Dubrava, Morava

energija

i Logorište, kao i ukupne rezerve u Aleksinačkom basenu.

Zaključna razmatranja

Posmatrajući ležišta uglja odnosno čvrstih fosilnih goriva (ugalj i uljni škriljci) koja se mogu otkopavati nekom od metoda podzemne eksploatacije, može se konstatovati da ovaj resurs, dugoročno, predstavlja veoma respektabilan energetska potencijal, imajući u vidu bilansirane rezerve.

Kao što se ugalj iz ležišta Štavalj, Čirikovac ili Lubnica može koristiti za proizvodnju električne ili toplotne energije u novoizgrađenim ili već postojećim termoenergetskim postrojenjima, tako se i ugalj iz drugih navedenih ležišta (Soko, Melnica, Poljana, Jerma) može koristiti za istu ili sličnu namenu, dok se uljni škriljci prvenstveno mogu koristiti za proizvodnju sintetičke nafte.

Ako se ima u vidu usvojena Strategija razvoja energetike Republike Srbije do 2015. godine koja je definisala rast energetska potreba i proizvodnje električne energije uz povećano učešće domaćih energetska izvora, i ako se ima u vidu činjenica da dostizanje projektovanih kapaciteta, posebno na kopovima „Kolubare“ može da kasni, ne bi trebalo potpuno eliminisati činjenicu da dva ležišta, Štavalj i Čirikovac, mogu obezbediti proizvodnju od oko 2-4 miliona tona uglja godišnje. Na lokalitetu Štavalj trebalo bi izgraditi novi rudnik i termoelekttranu, snage između 300 i 400 MW. U Čirikovcu bi u relativno kratkom roku mogla započeti podzemna eksploatacija, ukoliko se na vreme preduzmu aktivnosti na izradi potrebne dokumentacije.

Ugljem rudnika Lubnica mogla bi se u potpunosti snabdevati nova toplana-elekttranu u Zaječaru, što bi u velikoj meri doprinelo unapređenju energetska sektora u tom kraju, uštedi električne energije i značajnom smanjenju zagađenja i degradacije životne sredine.

Podizanjem proizvodnje uglja iz rudnika Soko na oko 300.000 tona godišnje otvorila bi se mogućnost snabdevanja novog lokalnog termoenergetska objekta i značajno bi se popravilo i olakšalo snabdevanje ovim energentom tradicionalno pouzdanih industrijska potrošača u Nišu, Knjaževcu i drugim okolnim mestima, i obezbedilo bi se pouzdano snabdevanje velikog broja domaćinstava ovim kvalitetnim ugljem.

Potencijal uljnih škriljaca u Aleksinačkom basenu je takav da se može dugoročno organizovati proizvodnja sintetičke nafte na godišnjem nivou od 100.000 do

500.000 tona, u zavisnosti od procene investitora. Ovde treba napomenuti da bi se u prvih nekoliko godina eksploatacija uljnih škriljaca u Aleksinačkom basenu mogla organizovati i površinskom eksploatacijom, dok bi u narednoj fazi i dugoročno jedino podzemna eksploatacija bila primenljiva.

Sve navedeno ide u prilog konstataciji da resursi koji se odnose na energetska potencijal koji predstavljaju fosilna goriva čija se eksploatacija može organizovati podzemnim otkopavanjem, ne treba za budu zapostavljeni, već detaljnije analizirani i što pre aktivirani. Ovoj konstataciji ide u prilog i činjenica da promene zakona o energetici u status povlašćenih proizvođača električne energije (do 10 Mw_e) svrstavaju proizvođače i investitore koji kao izvor toplote koriste domaća fosilna goriva u postrojenjima ko-generacije.

Na kraju, treba napomenuti i činjenicu da je nedavna zimska kriza snabdevanja gasom evropska zemalja, vratila u prvi plan nekoliko bitnih principa svake energetska politike: sigurnost snabdevanja energijom, važnost pravilnog izbora optimalne kombinacije goriva i energenata, više snabdevača energijom i energentima, maksimalno korišćenje lokalnih goriva i odgovornost lokalne samouprave u obezbeđivanju energije za stanovništvo i industriju, što je uslov za energetska bezbednost države.

Literatura

1. *Strategija razvoja energetike Republike Srbije do 2015. godine*, Ministarstvo rudarstva i energetike Republike Srbije, 2004.
2. Simeon Oka, Miodrag Mesarović, Dušan Gagić: *Korišćenje uglja iz malih rudnika za proizvodnju energije, Poglavlje u monografiji: Izabrani razvojni programi - Strategija privrednog razvoja Srbije do 2010., Knjiga II, str. 505-520*, Izdanje MNTR Vlade Republike Srbije, Beograd, decembar 2002 godine, ISBN 86-7282-054-1
3. *Restrukturierung und Modernisierung der untertägigen Kohleindustrie in Serbien (Restrukturisanje i modernizacija podzemne eksploatacije uglja u Srbiji)*, DMT-Montan Consulting, Essen, Nemačka, 2004.
4. *Underground Coal Mining: Sustainability, Mine Closures and Social Mitigation Measures*

(*Podzemna eksploatacija uglja: održivost, zatvaranje rudnika i mere socijalnog zbrinjavanja*), DMT-Montan Consulting, Essen Nemačka, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd, Factis d.o.o. Beograd, 2006.

5. *Pre-Feasibility Study for the Štavalj Coal mine and Thermal Power Plant (Studija prethodne opravdanost za otvaranje novog rudnika i izgradnju termoelektreane Štavalj)*, Evonic Encotec, Nemačka, DMT-Montan Consulting, Essen Nemačka, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd, S.E.S. Tlmače, Slovačka 2007.
6. *Program ostvarivanja strategije energetska razvoja Srbije do 2010. godine, Modul: Rudnici sa podzemnom eksploatacijom uglja*, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd, 2006.
7. *Analiza opravdanosti eksploatacije preostalih rezervi uglja u ležištu »Čirikovac«; sveska 2 – Varijanta podzemne eksploatacije*, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd, 2005.
8. *Sagledavanje stanja i mogućnosti restrukturiranja rudnika za podzemnu eksploataciju uglja u JP Elektroprivreda Srbije*, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd, 2002.

Unapređenje upravljanja turbinom K200-130-1 i kotlom 650 t/h; 137 bara i 540/540°C na blokovima A1 i A2 u TE "Nikola Tesla A" u Obrenovcu

Uvod

Blok A1 u TE „Nikola Tesla A„ snage 210 MW pušten je u rad 07.03.1970. god., a blok A2 iste snage pušten je u rad 29.09.1970. god.

Rekonstrukcijom sistema upravljanja na ova dva 210 MW-na bloka (2005. god. je rekonstruisan blok A2, a 2006. god. je rekonstruisan blok A1) kompletan postojeći sistem upravljanja koji je radio od prvih puštanja blokova u eksploataciju, zamenjen je novim, proizvođača „Institut M.Pupin VIEW T POWER 6000,,.

Upravljanje turbinom-blokom

Zbog nedostatka finansijskih sredstava za nabavku novog turbinskog regulatora, zadržana je originalna hidraulička regulacija turbinom. Na postojećem sistemu je izvršena samo manja rekonstrukcija koja se sastojala u zameni jednosmernog motora koji je pokretao „mehanizam za upravljanje turbinom,, trofaznim motorom sa frekventnim regulatorom. Ova rekonstrukcija je omogućila da se pomoću novih softverskih rešenja, upravljanje turbine podigne na nivo koji imaju i mnogo savremeniji blokovi.

Stari sistem regulacije pritiska iza kotla bio je moguć isključivo loženjem i mogao se aktivirati samo kada se dostigne nominalni ili približno nominalni pritisak tj. zadata vrednost pritiska iza kotla se mogla menjati u veoma uskom opsegu. Upravljanje turbinom se svodilo na promenu otvorenosti regulacionih ventila ručnim delovanjem rukovaoca bloka na mehanizam za upravljanje preko elektro motora jednosmerne struje.

Rezime

Ovim radom su prikazana unapređenja na sistemu upravljanja turbinom K200-130-1 i kotlom od 650 t/h pare pomoću sistema upravljanja VIEW T POWER 6000 instituta „M.Pupin,,. Unapređenja se odnose na automatsko podizanje broja obrtaja prilikom kretanja turbine, a u radu bloka omogućena je promena snage željenim gradijentom, iako je zadržan originalni hidraulični sistem regulacije turbinom. Pored toga, implementiranjem logike rasterećenja kotla pri ispadu generatora ili turbine, omogućeno je da se u ovim slučajevima zadrži vatra u kotlu što omogućava brže vraćanje bloka na mrežu.

Važno je istaći da su sva gore pomenuta unapređenja urađena bez ugradnje novog turbinskog regulatora, zadržavanjem originalne hidraulične regulacije sa minimalnim materijalnim ulaganjima. Unapređenja su osmislili i kreirali inženjeri TENT,,A,, uz podršku stručnjaka Instituta „M.Pupin,,.

Ključne reči: turbinski regulator, odbacivanje opterećenja

Abstract

This study shows improvements of the control system on turbine K200-130-1 and boiler 650 t/h steam by means of control system VIEW T POWER 6000 of the Institute „M. Pupin”. Improvements are made with regard to automatic increase of speed during turbine start-up and enabling of power change during unit operation by means of desired gradient, although the original hydraulic turbine control system has been maintained.

In addition, implementation of the boiler unloading logic during generator trip or turbine trip has enabled to maintain the fire in the boiler in these conditions which enables quicker synchronization of unit.

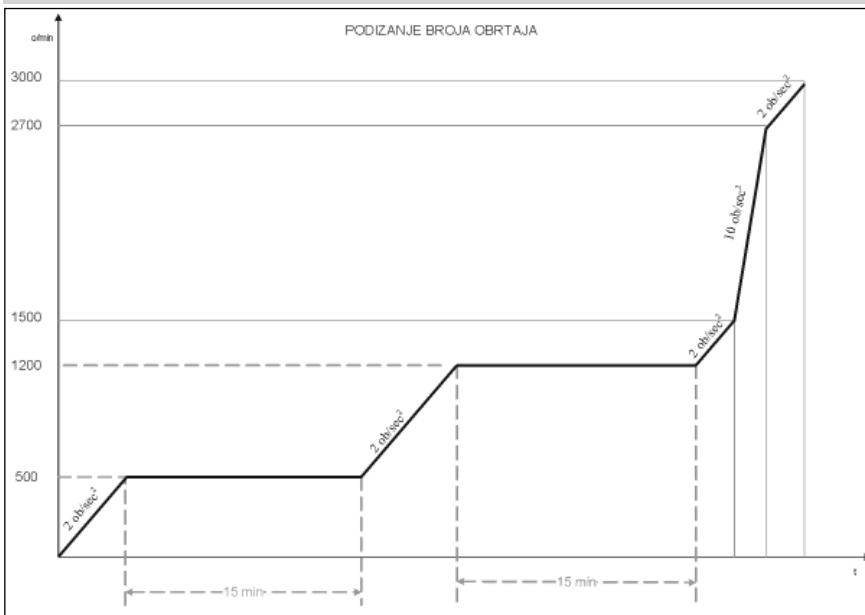
It is important to outline that the above mentioned improvements have been performed without installation of new turbine governor and by maintaining the original hydraulic control with minimum investments. Improvements are created by the engineers from TENT A with support of experts from the Institute „M. Pupin”.

Key words: turbine governor, load rejection

Elektromotor je imao dve brzine, a veća brzina se koristila prilikom prolaska preko kritičnih obrtaja za vreme izvođenja turbine na prazan hod. Prema iskustvu koje smo stekli predhodnim rekonstrukcijama na blokovima A3 i A5, zajedno sa specijalistima „Instituta „M. Pupin,, implementirali smo novi sistem upravljanja kotlom i turbinom,

tako da je turbina u svakom trenutku u kontrolisanom automatskom režimu rada. Softverski su implementirani nadređeni regulatori koji upravljaju „mehanizmom za upravljanje turbine,, od podizanja broja obrtaja do nominalnog opterećenja. Automatski režimi u kojima turbina sada radi su sledeći:

Slika 1 Dijagram podizanja broja obrtaja



- Prilikom podizanja broja obrtaja, isti se automatski podiže do 3000 ob/min gradijentom 2 ob/sec², osim pri prolasku kroz kritične brojeve obrtaja (od 1500 ob/min do 2700 ob/min), kada je zadati gradijent 10 ob/sec². Pored toga turbina se automatski zaustavlja zbog progrevanja na 500 ob/min i 1200 ob/min po 15 minuta.
- Posle sinhronizacije, automatski se uključuje „regulator snage,“. Tada je moguće zadavati željenu snagu izabranim gradijentom dok pritisak iza kotla održava RSH II stanica. Ovaj regulator je aktivan sve do zatvaranja

linije za bajpasiranje turbine visokog pritiska (RSH II stanice).

- Kada se zatvori RSH II stanica, automatski se uključuje režim održavanja pritiska iza kotla pomoću regulacionih ventila turbine (turbina prati kotao), tj. loženje je u ručnom režimu .
- Kada se dostigne 70 bara na izlazu is kotla i 100MW, moguće je preći u koordinisani režim rada bloka. To znači da je regulacija loženja u kotlu u automatskom režimu rada, tj da je moguće menjati pritisak iza kotla u opsegu od 70 bara do nominalnog

pritiska željenim gradijentom, kao i da je regulacija turbine takođe u automatskom režimu rada i da je moguće menjati snagu na generatoru željenim gradijentom, u opsegu od 100 MW do 210 MW. Pored toga, regulacija turbine (u slučaju da dođe do poremećaja u loženju i do veće promene pritiska iza kotla), delimično koriguje zadatu snagu, kako bi se smanjio poremećaj pritiska.

Rasterećenje kotla / bloka na 30% od nominalnog opterećenja

Blokovi A1 i A2 su opremljeni takozvanim RSH stanicama (reducir rashladne stanice) koje omogućavaju kretanje bloka sa suvim pregrejačima bez ispuštanja pare preko anfar ventila. Pomenute RSH stanice su preteča savremenih bajpasa VP i NP.

RSH II stanica kapaciteta 200 t/h, 140/3 bara predviđena je da prilikom kretanja bloka do postizanja parametara pare za pokretanje turbine ili prilikom naglih poremećaja snage, bajpasira turbinu tako da svežu paru ili deo sveže pare iz kotla odvodi u kondenzator.

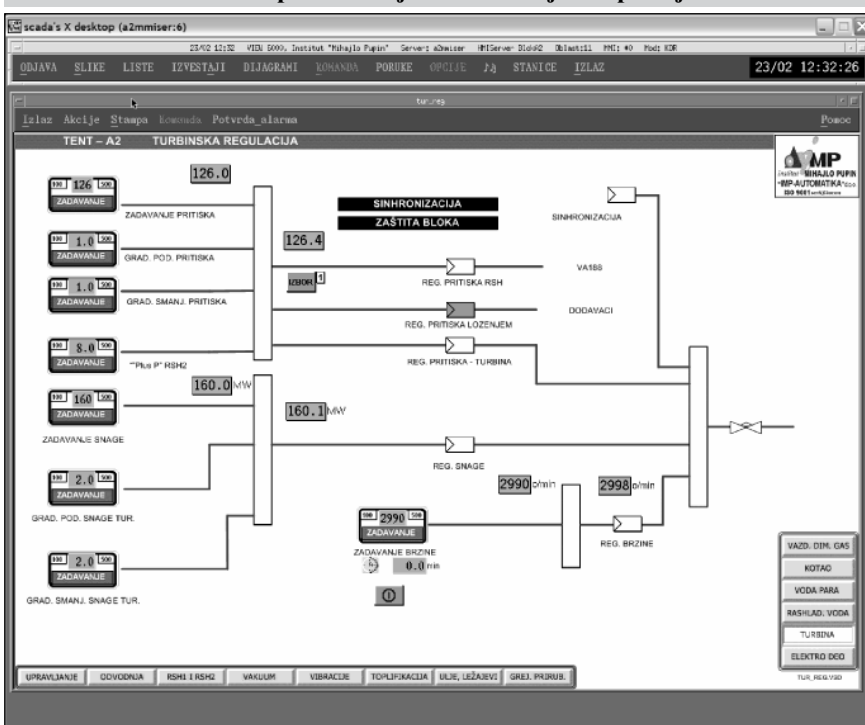
RSH I stanica kapaciteta 80 t/h, 140/6 bara predviđena je da prilikom kretanja bloka hladi međupregrejač i bajpasira turbinu srednjeg pritiska odvođeći deo sveže pare u hladnu liniju međupregrejanja, a zatim pošto ohladi međupregrejač para se odvodi u kondenzator.

Prilikom ispada turbine ili generatora, po prvobitnoj koncepciji upravljanja blokom dolazilo je do gašenja vatre. Razlog je pre svega mali kapacitet RSH stanica koje nisu u mogućnosti da trenutno prihvate celu produkciju kotla (650 t/h) kada dođe do ispada turbine i nemogućnosti održavanja nivoa u napojnom rezervoaru i kondenzatoru nakon otvaranja ventila sigurnosti na parovodima.

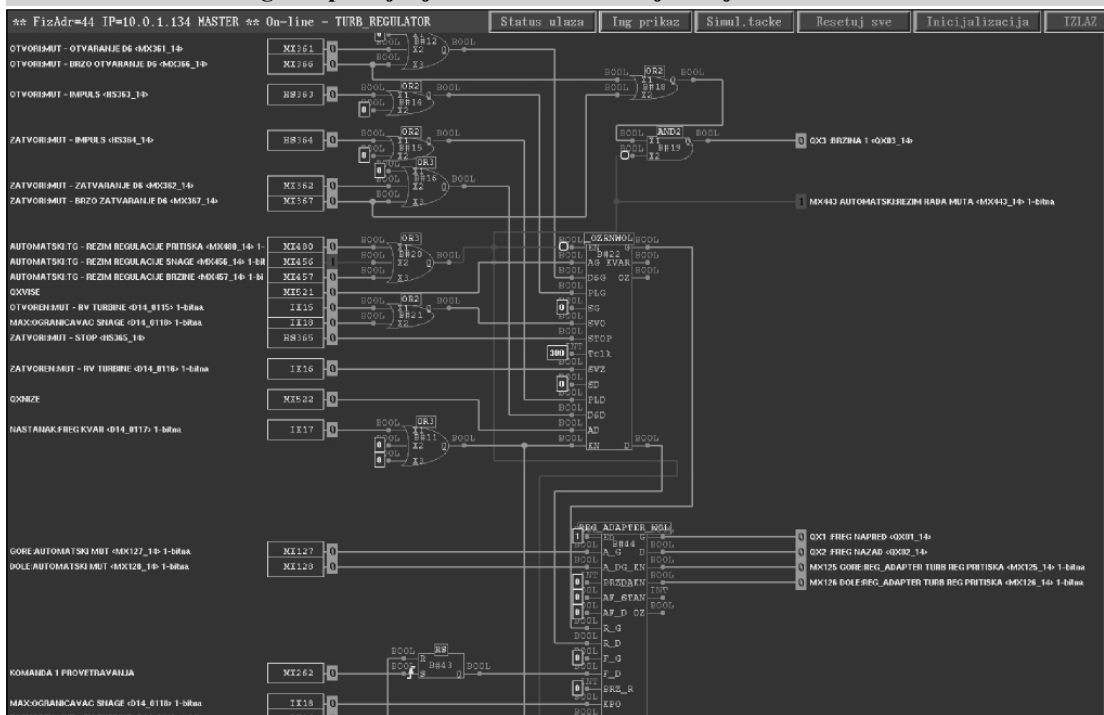
Gašenje vatre pri svakom ispadu turbine ili generatora i nakon toga potpala i priprema parametara (koji su bliski nominalnim kod kratkotrajnog ispada) znači veliko povećanje troškova zbog veće potrošnje tečnog goriva i neproizvedene električne energije.

Nakon uvođenja novog sistema upravljanja blokom počeli smo da radimo na unapređenju logike upravljanja kako bi zadržali vatru u kotlu pri gore navedenim slučajevima sa postojećim RSH stanicama. Bili smo svesni da RSH stanice ne mogu da pruže sve ono što mogu savremeni bajpas VP i

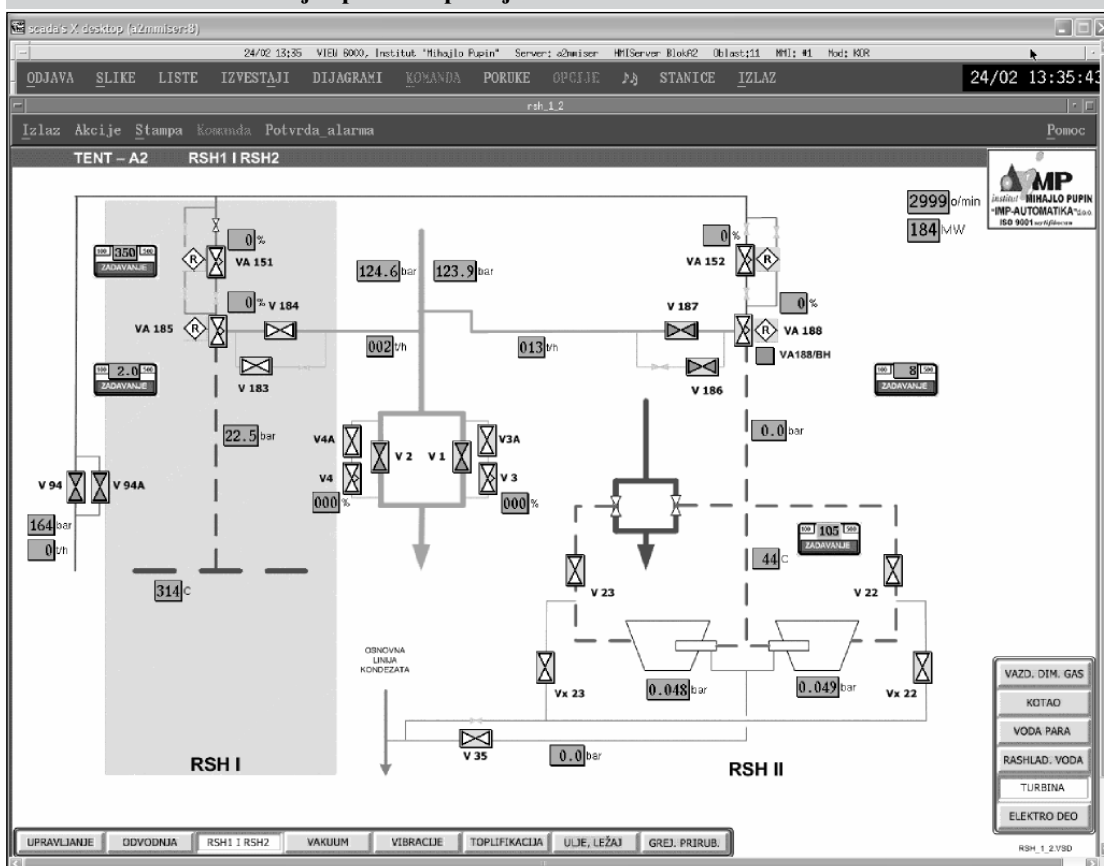
Slika 2 Prikaz slike na operatorskoj stanici sa koje se upravlja turbinom



Slika 3 Prikaz dela logike upravljanja turbinom na inženjerskoj stanici



Slika 4 Prikaz slike sa koje operater upravlja RSH stanicama



- Izvedeno je direktno punjenje kondenzatora sa potisa pumpi u HPV-u preko cevovoda NO 150 i posebnog ventila

- Automatska prorada RSH II stanice na brzi hod u slučaju pada stop ventila turbine i pritiska pred turbinom većim od 120 bara ili kod otvorenih stop ventila pri pritisku većem od 134 bara.

Uvođenjem gore pomenutih unapređenja omogućeno je da kotao ostane u radu čak i kod ispada turbine sa nominalnog opterećenja. Usled malog kapaciteta RSH II stanice, kao i nemogućnosti trenutnog opterećenja kotla, dolazi do prorade ventila sigurnosti na parovodima sveže pare. Međutim, direktnim punjenjem kondenzatora se nadoknađuje gubitak demineralizovane vode, tako da ne dolazi do većeg poremećaja nivoa u napojnom rezervoaru i kondenzatoru. RSH II stanica u ovakvim situacijama

NP, ali nam je bio cilj zadržavanje vatre u kotlu kod ispada turbine/generatora.

Implementirana su sledeća unapređenja:

- Kod ispada turbine ili generatora i kod prelaska bloka na ostrvski rad, automatski dolazi do rasterećenja kotla do 30% nominalnog kapaciteta.

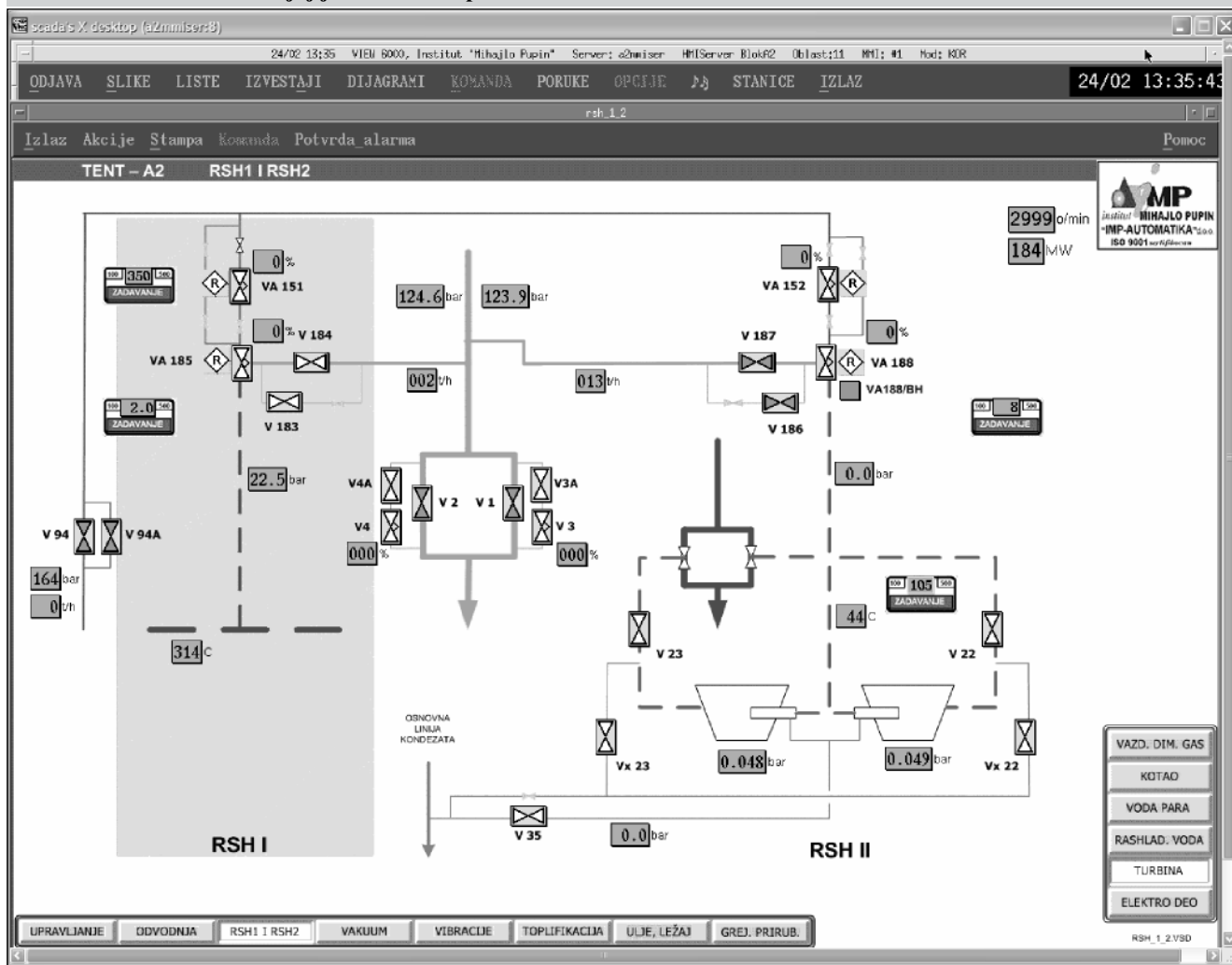
- Automatski ispadaju 4 mlina (ako je 6 bilo u radu), tako da ostaju samo 2 mlina u radu

- Automatski upada druga mazutna pumpa, kako bi rukovaoc bio u mogućnosti da odmah uključi gorionike mazuta ukoliko dođe do nestabilnog rada kotla.

[023]

prihvata višak pare i znatno smanjuje gubitak iste preko ventila sigurnosti, ali ne može u potpunosti da prihvati svu količinu pare zbog malog kapaciteta kao što to čine bajpas VP i NP na savremenim blokovima.

Slika 4 Prikaz slike na kojoj je direktna dopuna kondenzatora



Zaključak

Svi navedeni režimi rada koji veoma dobro funkcionišu nakon implementacije na našim 210 MW blokovima, slični su kao kod savremenih blokova koji su u eksploataciji. Implementacijom gore navedenih unapređenja omogućen je mnogo pouzdaniji i efikasniji rad blokova kao i mnogo komforniji rad operatera. Svesni smo da je ovo prelazno rešenje i da je neophodna nabavka i ugradnja novog turbinskog regulatora i pripadajućih hidrauličnih komponenata pošto je postojeći hidraulični sistem regulacije u eksploataciji već 39 godina i kao takav je izgubio na pouzdanosti.

Toplotne pumpe – mogućnosti i perspektive

Uvod

Poznato je da je toplotna pumpa (TP) – „suprotna frižideru“. U frižideru mi oduzimamo toplotu od namirnica u „frizu“ i predajemo je vazduhu u kuhinji. Ako želimo da iskoristimo frižider za grejanje kuhinske prostorije, treba da „friz“ izmestimo vani i stalno menjamo u njemu namirnice. Ulogu namirnica može da ispunjava okolina (voda, vazduh pa čak i zemljište), samo treba da one cirkulišu kroz „friz“. Ovo je, naravno, uprošćena slika.

Drugim rečima, toplotne pumpe omogućavaju pretvaranje niskopotencijalne toplote (sa niskom temperaturom) u visokopotencijalnu toplotu (sa većom temperaturom). Na primer, dodatnim hlađenjem hladne vode može dodatno da se ugreje topla voda.

Naučnim podlogama za toplotne pumpe služe dva poznata fizička fenomena. Prvi: kad se jedinjenje isparava – ono se hladi, kad se kondenzuje – ono se zagreva. Drugi: temperatura isparavanja i kondenzacije jedinjenja se menjaju sa promenom pritiska. Što je veći pritisak to je veća temperatura i obrnuto.

Shematski, toplotna pumpa se sastoji od tri zatvorena kola:

1. Spoljašnje kolo za izvor toplote. U njemu cirkuliše fluid od kojega se uzima toplota (spoljašnji vazduh, otpadna voda, podzemna voda i sl.).
2. Unutrašnje kolo za prenos toplote. U njemu cirkuliše radni fluid koji se isparava pri niskoj temperaturi i kondenzuje se pri većoj temperaturi i pritisku (freoni, amonijak i sl.).
3. Korisničko kolo za primaoca toplote. U njemu cirkuliše fluid koji uzima toplotu (voda za grejanje, topli vazduh i sl.).

Rezime

Cilj ovog saopštenja je – skrenuti pažnju na neophodnost ozbiljnog programa posvećenog promovisanju i primeni toplotnih pumpi u privredi i urbanoj infrastrukturi. Kratko je analiziran značaj toplotnih pumpi u rešavanju savremenih energetske i ekoloških problema. Prikazani su principi delovanja osnovnih tipova toplotnih pumpi. Navedeni su primeri primene toplotnih pumpi u domaćinstvu, energetici i procesnoj industriji.

Primena toplotnih pumpi se širi u svetu neverovatnom brzinom: od 100 000 komada 1972. godine do 40 miliona komada 1988. godine [1]. U Švedskoj već sada više od 60% toplote za komunalno grejanje se proizvodi pomoću toplotnih pumpi. Sve veća potrošnja energenata sa jedne strane i globalno zagrevanje sa druge strane zahtevaju da se ovim problemom bavi ne samo društvo energetičara, nego čitavo društvo.

Međutim, čak ni društvo energetičara u Srbiji se ne bavi ovom problematikom. Na skupovima društva poslednje tri godine nije bilo nijednog saopštenja posvećenog toplotnim pumpama. Smatrajući da je ovakva „toplotna tišina“ neprihvatljiva, pokušavam ovim saopštenjem da skrenem pažnju na neophodnost široke primene, pa čak i proizvodnje toplotnih pumpi u Srbiji.

Tipovi toplotnih pumpi

Postoje tri osnovna tipa toplotnih pumpi, koje se razlikuju principom delovanja i načinom ostvarenja cirkulacije radnog fluida.

Kompresione toplotne pumpe – KTP, kod kojih se koristi fenomen povećanja temperature pare radnog fluida prilikom sabijanja u kompresoru i smanjenje temperature pri širenju pare u ekspanderu. Rad KTP je zasnovan na principu uzastopnog mehaničkog

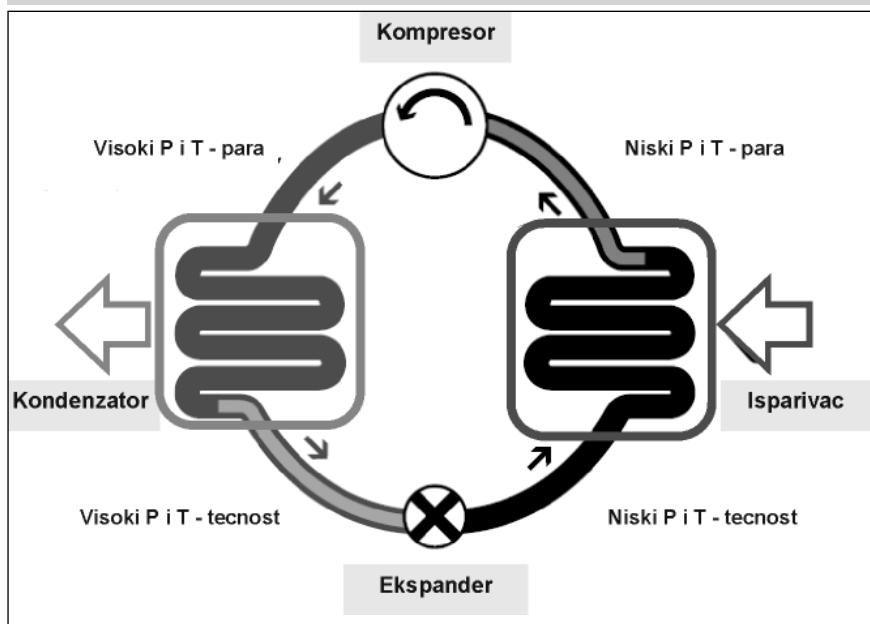
sabijanja i ekspanovanja radnog medijuma koji cirkuliše u hermetičkom unutrašnjem kolu KTP.

U procesu učestvuje samo jedan radni fluid. Obično se koriste amonijak, različiti freoni, propan, izobutan i sl. u zavisnosti od neophodne temperature. Radni fluid preuzima toplotu od niskopotencijalnog izvora (voda, vazduh, zemljište) u izmenjivaču – isparivaču, gde se fluid isparava (slika 1). Dalje radni fluid dospeva u kompresor, gde mu se povećava pritisak i temperatura. Dobjenu toplotu fluid predaje na najefikasniji način (a to znači kondenzacijom) u izmenjivaču – kondenzatoru. Nakon toga radni fluid prolazi kroz ekspander sa ciljem smanjenja pritiska i ponovo dospeva u isparivač.

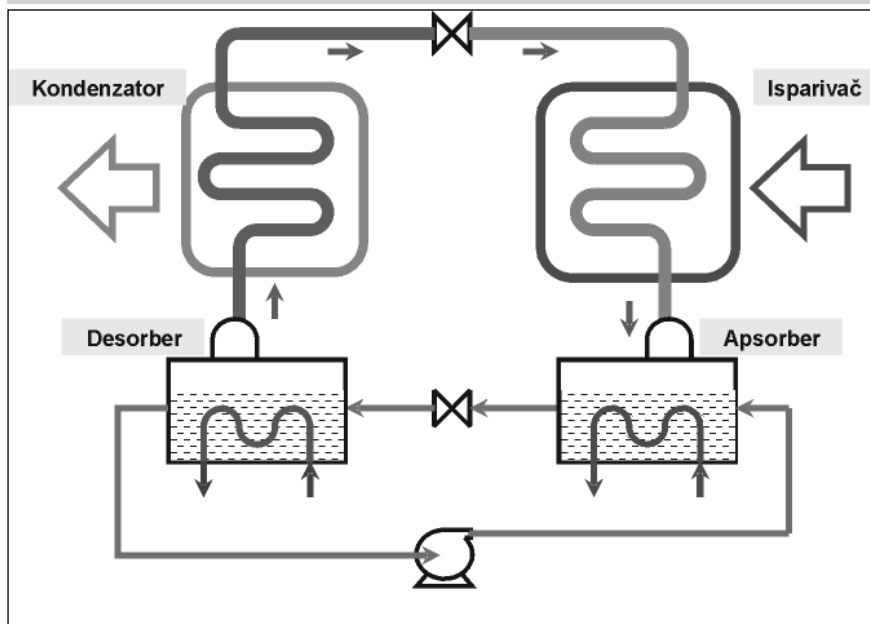
Apsorpcione toplotne pumpe – ATP, kod kojih se latentna toplota radnog fluida oslobađa pri njegovoj apsorpciji i akumulira se u njemu pri desorpciji. Radni fluid struji u kolu kroz apsorber i desorber pod uticajem razlike temperatura bez mehaničkih pumpi. Zbog toga, prednost ATP je rad bez buke, vibracija i potrebe za održavanjem.

U ATP se koriste dva tipa apsorpcionih sistema: voda – amonijak i soli – voda. Kod prvog tipa voda je absorbens, a amonijak je radni fluid. Kod drugog tipa absorbensi su rastvori soli, a radni fluid

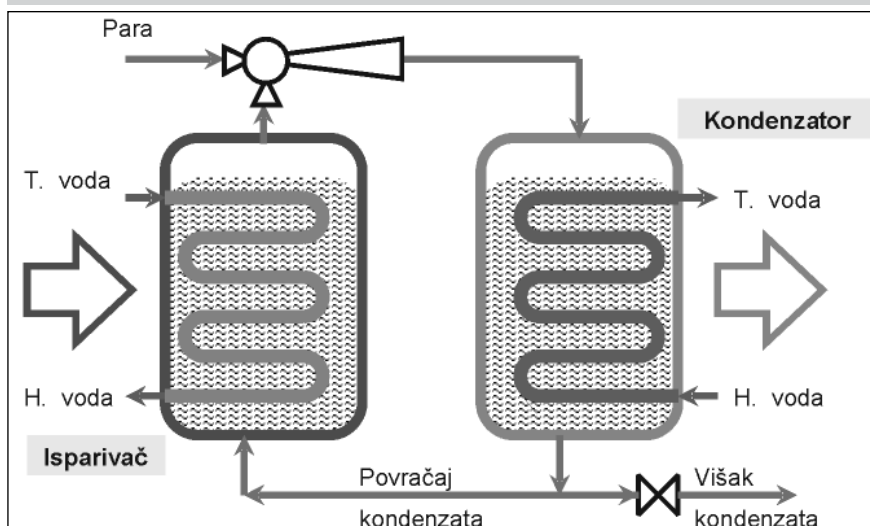
Slika 1 Principijelna shema kompresione toplotne pumpe



Slika 2 Principijelna shema apsorpcione toplotne pumpe



Slika 3 Principijelna shema ejektorske toplotne pumpe



je voda. Najčešće se koristi sistem LiBr / H₂O. U tom slučaju proces prenosa toplote se ostvaruje pomoću sjedinjenih direktnog i obratnog termodinamičkih ciklusa.

Shema vodo-amonijačnog ATP je prikazana na slici 2. Amonijak u tečnom stanju ulazi u isparivač ispunjen helijumom, gde se isparava uzimajući toplotu iz okoline. Gasovita smesa ulazi u apsorber gde voda apsorbuje amonijak i pri tome se oslobađa toplota. Smeša vode i amonijaka dalje dolazi u desorber, gde se pomoću odgovarajućeg grejača smeši dovodi toplota i desorbuje amonijak. Voda s manjim udelom amonijaka vraća se u apsorber, a gasoviti amonijak ulazi u kondenzator, u kojem se kondezuje i odaje preostalu toplotu, a zatim kondezovan opet struji prema isparivaču.

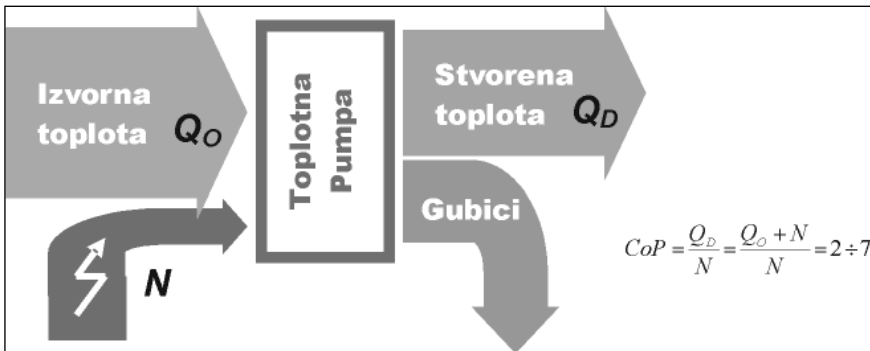
Ejektorske toplotne pumpe – ETP, kod kojih se koristi fenomen smanjenja temperature isparavanja vode pri ejektorskom vakuumiranju. Isparena voda se kondenzuje u kontaktu sa radnim fluidom (voda i vodena para) i tako ga zagreva. Radni fluid zatim predaje toplotu u izmenjivaču – kondenzatoru. Princip ETP je naročito pogodan za iskorišćenje otpadne kotlovske vode i vode rashladnog tornja. Topla voda se uvodi u isparivač, gde je pritisak niži od atmosferskog. Vakuum stvara ejektor pomoću vodene pare. Zbog toga se voda delimično isparava uzimajući toplotu od preostalog dela vode. Isparena voda se usisava pomoću ejektora. Količina iskorišćene toplote zavisna je od ulazne temperature otpadne vode i vakuuma u isparivaču. Usisana para počinje da se kondenzuje već u ejektoru, predajući toplotu kondenzacije pogonskoj vodi. Potpuna kondenzacija ukupne pare se završava u kondenzatoru, zagrevajući vodu i pripremajući je za isparivač.

Efikasnost toplotnih pumpi

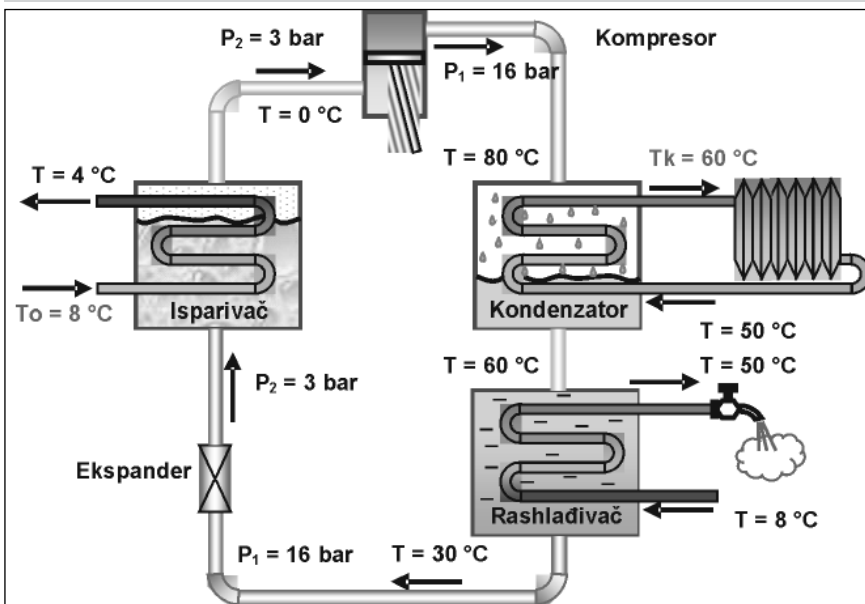
Namena toplotne pumpe je da se oduzme toplota od okoline (ili od otpadnog fluida) da bi se ista zatim pretvorila u toplotu na višem temperaturnom nivou i bila iskorišćena za grejanje. Zato se energija u TP troši samo na cirkulaciju radnog fluida kroz isparivač i kondenzator u unutrašnjem kolu. Najčešće se u tu svrhu koristi električna energija za napajanje cirkulacionih pumpi. Efikasnost TP obično izražavaju koeficijentom pretvaranja energije (Coefficient of Performance – CoP) kao odnos dobijene toplote Q_d i potrošene snage N . **CoP** može takođe da se izračuna preko temperatura izvora niskopotencijalne

energija

Slika 4 Shematski prikaz efikasnosti toplotne pumpe



Slika 5 Primer kompresione toplotne pumpe [2]



energije T_o i kondenzacije radnog fluida T_k :

$$CoP = \frac{T_o}{T_k - T_o} + 1, T - \text{stepeni Kelvina.}$$

Primeru radi, uz 1 kW uložene električne energije dobija se 2–4 kW toplotne energije, a u nekim slučajevima i više. Tako, za zagrevanje stambenog prostora od 100 m² sa toplotnom pumpom potrebno je oko 2 kW električne energije. Primer režima rada kompresione TP je prikazan na slici 5. Pošto je $T_o = 8 \text{ °C} = 281 \text{ K}$ i $T_k = 60 \text{ °C} = 333 \text{ K}$, $CoP = 6.4$.

Primena toplotnih pumpi

Većina toplotnih pumpi u svetu se koristi za grejanje kuća, stambenih zgrada, vikend-naselja, supermarketa i sl. U tom slučaju (kao što se vidi na slici 5) oko 60-70 % toplotne pumpe obezbeđuje besplatno. Međutim, kapitalni troškovi su veoma značajni i dostižu \$ 300-1200 za 1 kW potrebne toplotne snage. Nivo cena uređaja TP za kuću površine 200-300 m² se kreće od 5000 do 15000 Eura, a isplativost investicije iznosi 4-9 godina.

Informacija o ponudi odgovarajućih uređaja i njihovim karakteristikama

se nalazi na mnogobrojnim sajtovima. Uloga energetskog društva u širenju primene kućnih TP je minimalna. Međutim ona bi trebalo da bude veća i u propagandi toplotnih pumpi, i u lobiranju ekonomske politike, koja bi podsticala ugradnju TP. Cilj takve aktivnosti je smanjenje potrošnje energije u zemlji.

Značajno veća aktivnost je potrebna u primeni TP za grejanje velikih stambenih zgrada, društvenih objekata, a naročito u privredi i neposredno u energetici.

Razmotrimo nekoliko varijanti primene toplotnih pumpi u tipičnoj toplani. Uporedimo ih sa radom običnog kotla koji koristi organsko gorivo – varijanta A. Brojkama je svuda prikazana specifična potrošnja goriva G_s za proizvodnju toplotne, a izračunata je u [3]:

$$G_s = \frac{1}{\eta} \quad \text{– za kotlove;}$$

$$G_s = \frac{1}{\eta \cdot CoP} \quad \text{– za toplotne pumpe.}$$

η – koeficijent korisnog dejstva.

A – Kotao na organsko gorivo (šema 6).

B – KTP na električni pogon od Termoelektrane (šema 7).

Obezbeđuje uštedu goriva u odnosu na kotao samo pri CoP više od 4–5.

C – KTP na mehanički pogon od Dizel Agregata ili Gasne Turbine (šema 8)..

Obezbeđuje uštedu goriva već pri CoP više od 1.5. Isplativost više od 5 godina.

D – ATP (LiBr/H₂O) na gasno ili tečno gorivo (šema 9).

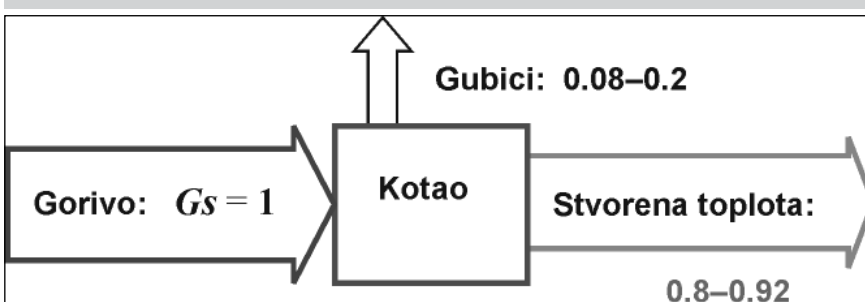
Efikasniji od kotla i KTP u svim režimima.

Posebnu pažnju zaslužuje primena apsorpcione toplotne pumpe (ATP) u sastavu termoelektrane (slika 6). Ona obezbeđuje fleksibilno povećanje toplotne snage TE u periodu grejne sezone bez dodatne potrošnje goriva. Saglasno proceni autora [3], isplativost takve investicije u slučaju sistema LiBr/H₂O iznosi manje od dve godine.

Toplotne pumpe u procesnoj industriji

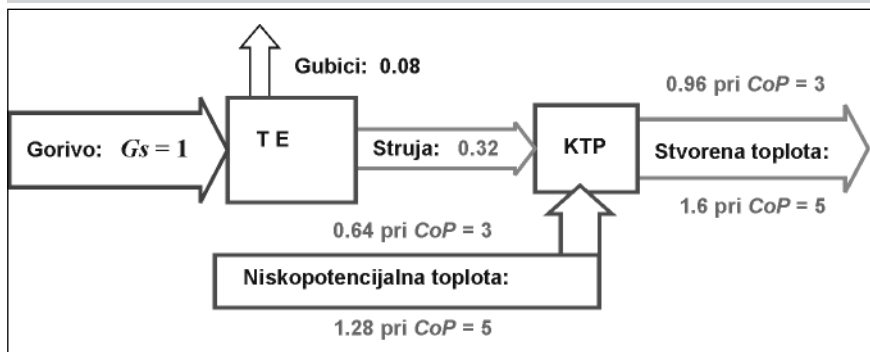
U fabrikama procesne industrije (rafinerijska i hemijska postrojenja, nalik Hipolu) postoji nekoliko potencijalnih mogućnosti primene toplotnih pumpi. Najpre, to je pogon energetike, gde se proizvodi vodena para za sve ostale pogone postrojenja. Primena toplotne pumpe u takvoj kotlarnici principijelno se ne razlikuje od šeme, navedene na slici 6. Za pogon

Šema 6

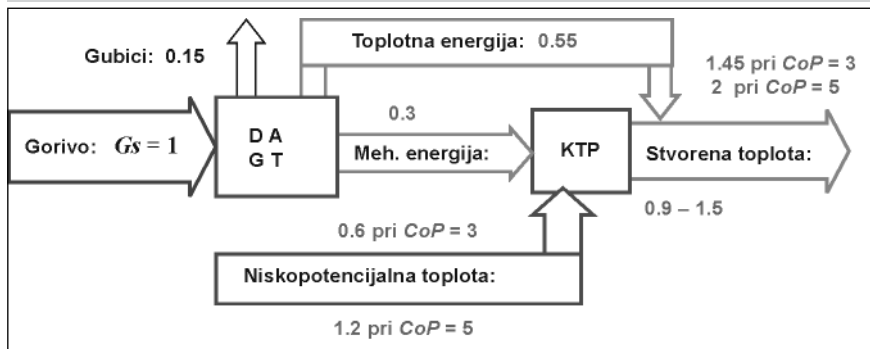


⇒ energija

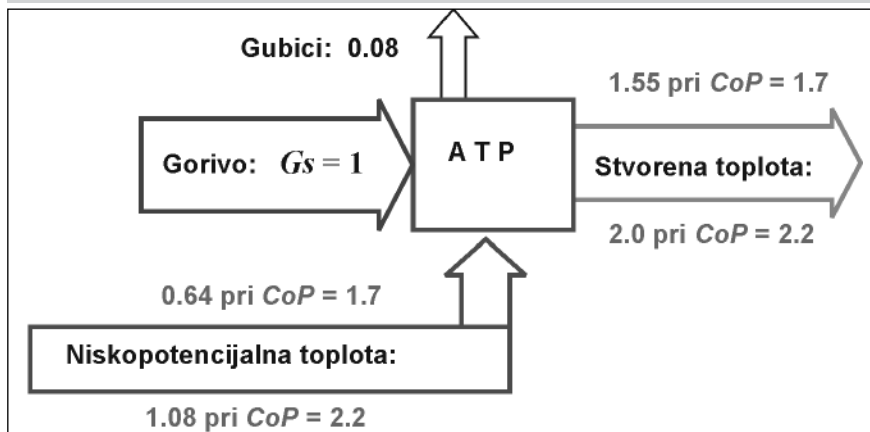
Šema 7



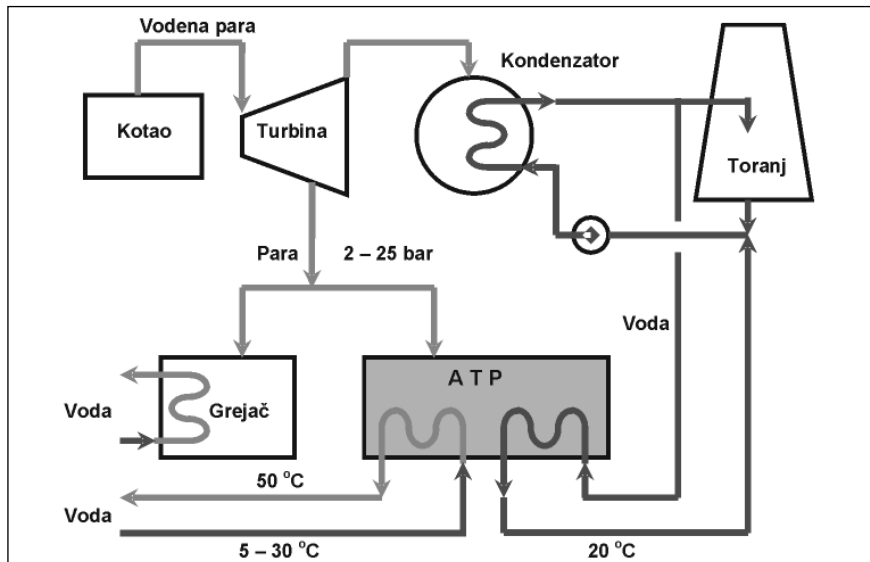
Šema 8



Šema 9



Slika 6 Primer korišćenja toplotne pumpe ATP u termoelektrani [3]



ATP može se koristiti nekondiciona vodena para, a izvor niskopotencijalne toplote može biti povratni kondenzat, pa čak i voda protivpožarne mreže.

Druga mogućnost je vezana za sistem rashladne vode i rashladni toranj. U njemu se voda hladi tako što se delimično isparava u vazduh i postaje izgubljena. Voda koja se vraća u rashladni toranj je tipični izvor niskopotencijalne toplote (u slučaju Hipola njena temperatura je na nivou 35–45 °C). Direktno iskorišćenje takve toplote u izmenjivaču nije moguće zbog niske temperature. Međutim, pomoću kompresione toplotne pumpe (slika 5) ova toplota može biti iskorišćena za proizvodnju tople vode sa temperaturom 60–70 °C, što je dovoljno za grejanje prostorija. Osim toga, rashladni sistem bi postao zatvoreni, pa bi se izbegao gubitak vode u rashladnom tornju, a takođe rastvaranje kiseonika u njoj, što izaziva koroziju opreme.

Treća mogućnost primene TP u procesnoj industriji je proces destilacije različitih smeša u rektifikacionim kolonama. Destilacija je jedan od najvećih potrošača energije u rafinerijskim i petrohemijskim postrojenjima. Destilacija zahteva višestruko isparavanje i kondenzaciju smeše koja se razdvaja. Za isparavanje smeše u rebojlerima se koristi vodena para, a za njenu kondenzaciju u deflegmatorima – rashladna voda. Princip toplotne pumpe u ovom slučaju se primenjuje tako što toplota kondenzacije destilata se koristi za isparavanje ulazne smeše. Na taj način ušteda energije dostiže 20–30%.

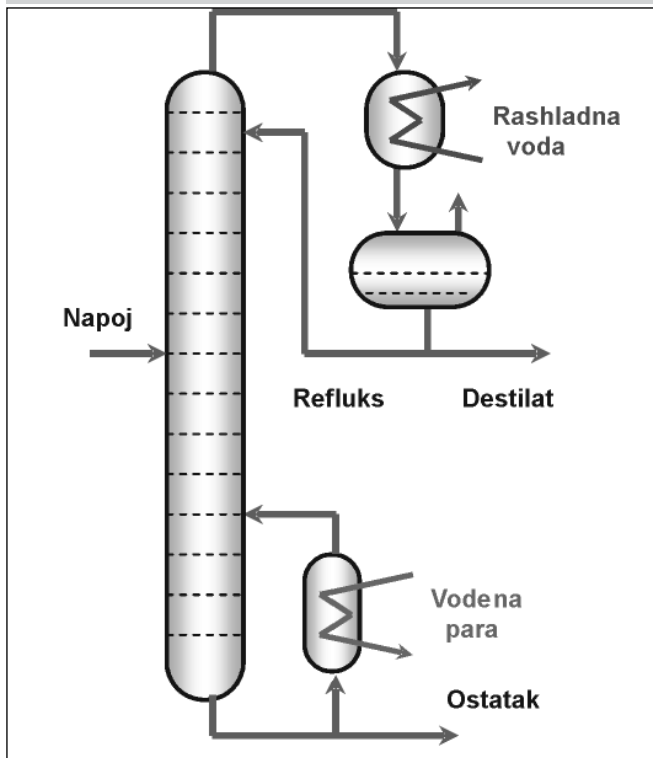
Tipičan primer je rektifikacija smeše propan–propilen, koja se koristi u Hipolu (slika 7). Zbog bliskih temperatura ključanja propana (–42°C) i propilena (–48 °C) destilacija se odvija u koloni sa 242 poda i refluksnim brojem $R = \text{Refluks} / \text{Destilat} = 8–10$ [5]. Veliki refluksni broj određuje i veliku potrošnju vodene pare za grejanje rebojlera – više od 1 tone po toni propilena. Primena principa toplotne pumpe u ovom slučaju (kompresor + rebojler u ulozi ekspandera) omogućava ne samo rad bez potrošnje vodene pare, nego i sa manjim pritiskom (slika 8). Istovremeno troškovi hlađenja se povećavaju (zbog manje temperature), tako da se ukupni troškovi smanjuju za 30–34 % [4].

Toplotne pumpe i ekologija

Navedimo samo dva ekološka problema koji se rešavaju primenom toplotnih pumpi:

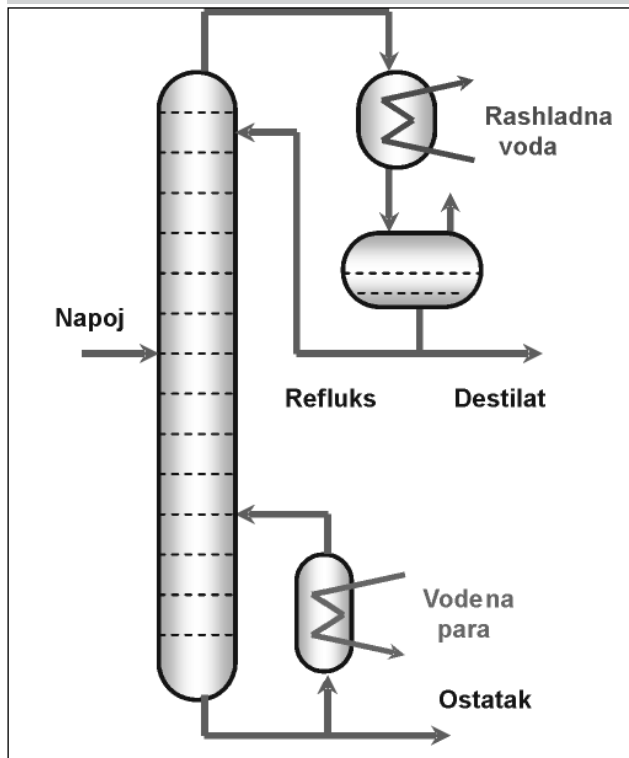
- Toplotne pumpe nemaju emitovanja bilo kojih štetnih materija i time ne zagađuju životnu sredinu.

Slika 7 Tradicionalna shema kolone destilacije smeše propan–propilen



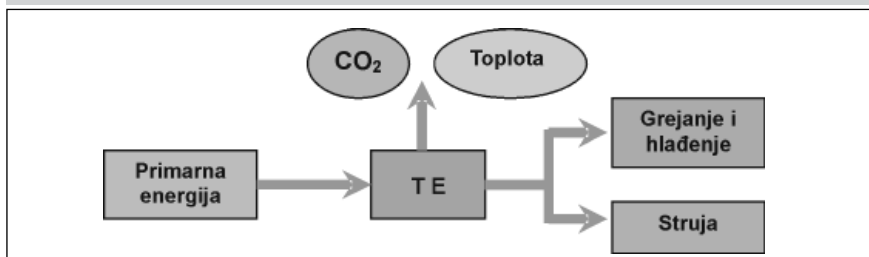
P = 16 bar, T = 30–60 °C; Napoj – Propilen 95 %, Propan 5 %; Destilat – Propilen 99.5 %; Ostatak – Propan 94 %.

Slika 8 Modifikovana shema kolone destilacije smeše propan–propilen

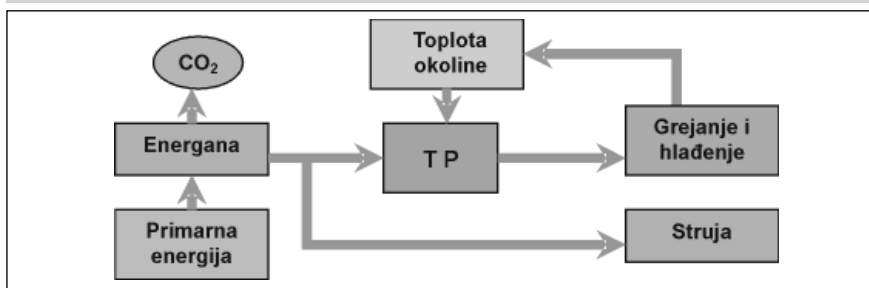


Primena principa toplotne pumpe.
P = 10 bar, T = 15–40 °C [4].

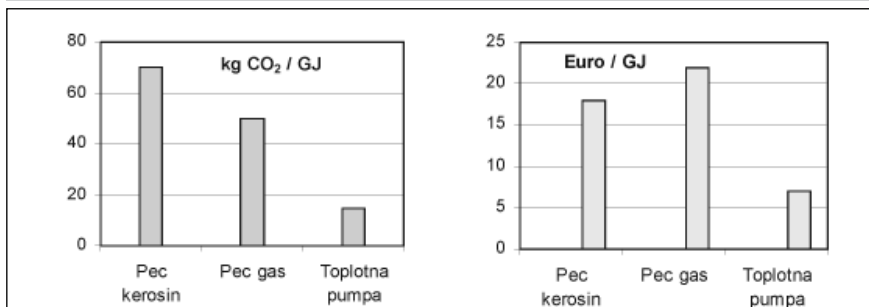
Slika 9a Energo-ekološka šema funkcionisanja Termoelektrane



Slika 9b Energo-ekološka šema funkcionisanja Toplotne pumpe



Slika 10 Emisija CO₂ i troškovi proizvodnje energije [6]



– Toplotne pumpe nemaju emitovanja CO₂ i time mnogostruko smanjuju rizik globalnog zagrevanja.

Razlika u energo-ekološkom delovanju bilo kog uređaja za sagorevanje fosilnih goriva (Termoelektrana, Toplana) i Toplotnih pumpi je shematski prikazana na slikama 9. Ako se za pogon TP koristi struja nuklearne ili hidroelektrane, emisija CO₂ u okolinu postaje izuzetno mala. Izbegava se i emitovanje toplote u okolinu, jer baš ona služi kao izvor energije za TP.

Koncentrisana toplota zatim se vraća u okolinu prirodnim putem (disipacijom).

Na slici 10 je navedeno kvantitativno upoređenje ekološke i ekonomske cene energije dobijene sagorevanjem fosilnih goriva i toplotnom pumpom. Vidi se da je ekološka kao i ekonomska efektivnost toplotnih pumpi skoro tri puta veća čak i u odnosu na gas. Pri tome se smatra da prilikom proizvodnje 1 kWh električne energije u okolinu se emituje od 0.35 do 1 kg CO₂.

Toplotne pumpe, se zbog toga smatraju „carbon-free“ tehnologijom, a prodaja odgovarajućih uređaja (Eco Cute) samo u Japanu dostiže već 350 000 godišnje [6].

Zaključak

Toplotne pumpe nisu samo skupi uređaji za jeftino grejanje kuća, nego su termodinamičke mašine. Njihova

primena postaje veoma efikasna u energetici, u procesnoj industriji u rešavanju ekoloških problema i zahteva ozbiljan program razvoja, najmanje na nivou Društva energetičara i Ministarstva.

Literatura

1. Е.И. Янговский, Л.А. Левин. *Промышленные тепловые насосы*. Москва, 1989.
2. А.П. Бурдуков, Ю.М. Петин. *Тепловые насосы*. Новосибирск, 2006.
3. А.В. Попов – *Проблемы энергосбережения*, 2005, № 1-2, с. 1-13.
4. G.P. Quadri – *Hydrocarbon Processing*, Feb. 1981, p. 119-126; Mar. 1981, p. 147-151.
5. N. Ostrovski, P. Stamenković, F. Kenig, S. Mauhar, B. Barjaktarović – *Hemijska Industrija*, 2005, 59, s. 125-131.
- 6.b Heat Pump & Thermal Storage Technology Center of Japan – *Denki Shimbun*, 2007.

Entropijska analiza rada i određivanje optimalnih dimenzija i radnih uslova suprotnosmernih predajnika toplote

Rezime

Predajnici toplote su jedan od najšire primenjivanih uređaja u procesnoj tehnici i termotehnici. Oni se tradicionalno projektuju tako da svojom konstrukcijom obezbede zahtevani toplotni protok sa grejnog na grejani fluid, pri čemu se potpuno zanemaruju gubici radnih sposobnosti ovih fluida. Radi toga, u ovom radu je prikazana detaljna analiza rada suprotnosmernih predajnika toplote sa stanovišta Drugog principa termodinamike. Radi lakše matematičke iterperetacije, uzeto je da oba radna fluida imaju termofizička svojstva idealnih gasova i da su predajnici toplote dobošastog tipa. Pokazano je, da se smanjenje gubitaka radne sposobnosti, osim izjednačavanjem toplotnih kapaciteta fluidnih tokova, može biti ostvareno i pravilnim izborom geometrijskih parametara predajnika toplote.

Entropy Analysis of the Operation and Determination of Optimal Dimensions and Working Conditions of Counterflow Heat Exchangers

Heat exchangers are one of the most widely used devices in the process and power industry. Traditionally, they are designed in such a way that their construction provides the required heat flow from the heating to the heated fluid, completely ignoring the losses of the working ability of working fluids. For this reason, a detailed analysis of the operation of counterflow heat exchangers from the standpoint of the second law of thermodynamics is presented in this paper. For easier mathematical interpretation, it was taken that both working fluids have thermo-physical properties of ideal gases and that heat exchanger is of the shell and tube type. It is shown that, except by the equalization of the heat capacities of fluid flows, the reduction of losses of the working ability can be realized by the proper choice of geometrical parameters of heat exchangers.

1. Uvod

Predajnici toplote su uređaji čija je osnovna funkcija da omoguće predaju toplote sa toplijeg – grejnog, na hladniji – grejani fluid. Zbog izuzetno velike zastupljenosti ovih procesa, predajnici toplote nalaze široku primenu u velikom broju industrijskih postrojenja. Koriste se u procesnoj i preradivačkim industrijama, u procesima proizvodnje električne energije, klimatizaciji, rashladnoj tehnici itd.

Predajnici toplote, u skladu sa svojom namenom, tradicionalno se projektuju tako, da svojom konstrukcijom obezbede zahtevani toplotni protok

sa grejnog na grejani fluid. Pored ispunjavanja funkcionalnih, odnosno bezbednosnih uslova njihovog rada, pri njihovom projektovanju, obično se vodi računa i o njihovim ekonomskim aspektima. Što se tiče investicionih troškova, i pored često promenljivih pariteta cena, ekonomske relacije su, po pravilu, prilično jasne. Međutim, ekonomski aspekti eksploatacije ovih uređaja mogu biti znatno složeniji, pa se, kao jedan od posrednih ekonomskih kriterijuma, može iskoristiti i kriterijum ostvarivanja minimalnih gubitaka radne sposobnosti. Projektovanjem uređaja u skladu sa ovim kriterijumom sigurno

energija

vodi smanjuju ukupnih eksploatacionih troškova [1].

Budući da po Gouy-Stodolinom zakonu postoji direktna proporcionalnost između brzine gubitaka radne sposobnosti i brzine nastajanja entropije, u ovom radu, zadovoljavanjem kriterijuma ostvarivanja minimalnih gubitaka radne sposobnosti, prikazana detaljna analiza rada suprotnosmernih predajnika toplote sa stanovišta Drugog principa termodinamike. Pri tome, pokazano je, da se smanjenje gubitaka radne sposobnosti, osim izjednačavanjem toplotnih kapaciteta fluidnih tokova, može ostvariti i pravilnim izborom geometrijskih parametara predajnika toplote.

2. Entropijska analiza

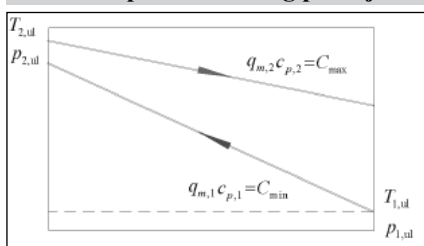
Radi prikaza postupka za određivanje optimalnih geometrijskih parametara predajnika toplote, odnosno optimalnog radnog režima suprotnosmernog predajnika toplote (slika 1), izvršena je entropijska analiza njegovog rada. Da bi matematička interpretacija bila što lakša, pretpostavljeno je da su oba radna fluida idealni gasovi. Takođe, smatrano je da ovi gasovi protiču kroz predajnik toplote pri ustaljenom radnom režimu, te da su pored vrsta fluida poznate i sledeće fizičke veličine:

- temperature oba gasa na ulazu predajnik toplote – $T_{1,ul}$ i $T_{2,ul}$,
- pritisci oba gasa na ulazu predajnik toplote – $p_{1,ul}$ i $p_{2,ul}$,
- maseni protoci oba gasa – $q_{m,1}$ i $q_{m,2}$,
- toplotni kapaciteti oba gasna toka (proizvodi masenog protoka i specifičnog toplotnog kapaciteta pri konstantnom pritisku) $q_{m,1}c_{p,1}$ i $q_{m,2}c_{p,2}$, pri čemu je pretpostavljeno, da je $q_{m,1}c_{p,1} = C_1 = C_{min}$, odnosno $q_{m,2}c_{p,2} = C_2 = C_{max}$.

Brzina nastajanja entropije u gasnim tokovima u predajniku toplote, za slučaj da se toplotni protok sa njegovih spoljašnjih zidova može zanemariti, prema Drugom principu termodinamike, određena je sa:

$$\dot{S}_{gen} = q_{m,1}(s_{1,izl} - s_{1,ul}) + q_{m,2}(s_{2,izl} - s_{2,ul}) \quad (1)$$

Slika 1 Šematski prikaz suprotnosmernog predajnika



Za slučaj da su oba radna fluida idealni gasovi, jednačina 1 može biti napisana u obliku:

$$\dot{S}_{gen} = C_{min} \left[\ln \frac{T_{1,izl}}{T_{1,ul}} + \frac{R_1}{c_{p,1}} \ln \frac{p_{1,izl}}{p_{1,ul}} \right] + C_{max} \left[\ln \frac{T_{2,izl}}{T_{2,ul}} + \frac{R_2}{c_{p,2}} \ln \frac{p_{2,izl}}{p_{2,ul}} \right] \quad (2)$$

Sa druge strane, na osnovu Prvog principa termodinamike, pri prethodno definisanim uslovima, bilans energije za gasne tokove u predajniku toplote može biti predstavljen izrazom:

$$C_{min}(T_{1,izl} - T_{1,ul}) + C_{max}(T_{2,izl} - T_{2,ul}) = 0 \quad (3)$$

a efikasnost predajnika toplote – izrazom:

$$\varepsilon = \frac{T_{1,izl} - T_{1,ul}}{T_{2,ul} - T_{1,ul}} \quad (4)$$

Korišćenjem izraza za efikasnost predajnika toplote, jednačina 4, brzina nastajanja entropije, jednačina 2, može biti izražena i u bezdimenzionalnom obliku, tj. preko broja jedinica nastajanja entropije N_s [1]:

$$N_s = \frac{\dot{S}_{gen}}{C_{max}} = \frac{C_{min}}{C_{max}} \ln \left[1 + \varepsilon \left(\frac{T_{2,ul}}{T_{1,ul}} - 1 \right) \right] + \ln \left[1 - \frac{C_{min}}{C_{max}} \varepsilon \left(1 - \frac{T_{2,ul}}{T_{1,ul}} \right) \right] - \frac{C_{min}}{C_{max}} \frac{R_1}{c_{p,1}} \ln \left(1 - \frac{\Delta p_1}{p_1} \right) - \frac{R_2}{c_{p,2}} \ln \left(1 - \frac{\Delta p_2}{p_2} \right) \quad (5)$$

Na prvi pogled, iz jednačine 5 mogu se jasno uočiti dva različita doprinosa nastajanju entropije. Prvi, koji je posledica procesa prolaženja toplote sa jednog na drugi fluid, pri konačnim razlikama njihovih temperatura, i drugi, koji se manifestuje kao pad pritiska fluidnih tokova, a usled disipativnih efekata izazvanih silama viskoznog trenja pri strujanju fluida. Budući da se uz članove ove jednačine, u kojima se pojavljuju padovi pritiska fluida, pojavljuje i član C_{min}/C_{max} , koji je u direktnoj vezi sa promenom temperatura fluida, to postaje jasno da, napisani na ovaj način, ovi uticaji nisu potpuno razdvojeni [2,3]. Stoga je potrebno jednačinu 5 dodatno modifikovati.

2.1 Približno „idealni“ predajnici toplote

Radi razdvajanja doprinosa produkciji entropije, a i kasnije, u cilju optimizacije predajnika, moguće je analizirati i ovakav opšti slučaj. Radi dobijanja egzaktnih rešenja, tj. preglednosti same metodologije, predmet ove analize biće sproveden

samo za klasu tzv. približno idealnih suprotnosmernih predajnika toplote $(1 - \varepsilon \cdot 1)$, sa relativno malim padovima pritiska $(1 - \Delta p_1 / p_1 \cdot 1 + 1 - \Delta p_2 / p_2 \cdot 1)$.

U slučaju tzv. „idealnog“ predajnika toplote, zamenom vrednosti $\varepsilon = 1$ i $\Delta p_1 = \Delta p_2 = 0$ u jednačinu 5, biće dobijeno:

$$N_{S,ideal} = \frac{C_{min}}{C_{max}} \ln \frac{T_{2,ul}}{T_{1,ul}} + \ln \left[1 - \frac{C_{min}}{C_{max}} \left(1 - \frac{T_{2,ul}}{T_{1,ul}} \right) \right] \quad (6)$$

Analizom dobijene jednačine, može biti zapaženo, da se nastajanje entropije javlja čak i kod „idealnih“ predajnika toplote, te da je ono utoliko veće, ukoliko se toplotni kapaciteti fluidnih tokova više razlikuju. S obzirom na to da ovaj član nestaje jedino kada je ovaj odnos jednak jedinici $C_{min}/C_{max} = 1$, postaje jasno da pri procesima koji se odvijaju u predajnicima toplote, i nejednakost toplotnih kapaciteta fluidnih tokova doprinosi povećanom nastajanju entropije.

Prikazom jednačine 5 u obliku:

$$N_s = \frac{C_{min}}{C_{max}} \ln \frac{T_{2,ul}}{T_{1,ul}} + \ln \left[1 - (1 - \varepsilon) \left(\frac{T_{2,ul} - T_{1,ul}}{T_{1,ul}} \right) \right] + \ln \left[1 - \frac{C_{min}}{C_{max}} \left(\frac{T_{2,ul} - T_{1,ul}}{T_{1,ul}} \right) \right] + \ln \left[1 + (1 - \varepsilon) \frac{\frac{C_{min}}{C_{max}} \left(\frac{T_{2,ul} - T_{1,ul}}{T_{1,ul}} \right)}{1 - \frac{C_{min}}{C_{max}} \left(\frac{T_{2,ul} - T_{1,ul}}{T_{1,ul}} \right)} \right] - \frac{C_{min}}{C_{max}} \frac{R_1}{c_{p,1}} \ln \left(1 - \frac{\Delta p_1}{p_1} \right) - \frac{R_2}{c_{p,2}} \ln \left(1 - \frac{\Delta p_2}{p_2} \right) \quad (7)$$

i korišćenjem člana koji opisuje nastajanje entropije za slučaj „idealnog“ predajnika toplote, jednačina 6, zatim razvojem u Tejlorov red preostalih logaritamskih članova (uz zanemarivanje članova višeg reda¹), te upotrebom izraza kojim je opisan broj jedinica prenošenja toplote NTU , u slučaju da $(C_{min} \rightarrow C_{max})$, jednačina 7 može biti napisana i kao:

$$N_s = N_{S,ideal} + \frac{(T_{2,ul} - T_{1,ul})^2}{T_{1,ul} T_{2,ul}} \frac{1}{NTU} + \frac{C_{min}}{C_{max}} \frac{R_1}{c_{p,1}} \frac{\Delta p_1}{p_1} + \frac{R_2}{c_{p,2}} \frac{\Delta p_2}{p_2} \quad (8)$$

¹Razvoji logaritamske $\ln(1+x)$ u Tejlorov red $\ln(1+x) \approx x - \frac{x^2}{2} + \dots = \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^{n-1} \frac{x^n}{n}$; $|x| < 1$

energija

Izražavanjem ukupnog broja jedinica prenošenja toplote NTU preko broja jedinica prenošenja toplote sa svake od strana predajnika toplote:

$$\frac{1}{NTU} = \frac{1}{NTU_1} + \frac{C_{\min}}{C_{\max}} \frac{1}{NTU_2} \quad (9)$$

moguće je ukupni broj stvaranja entropije N_S predstaviti kao zbir tri člana:

$$N_S = N_{S,\text{ideal}} + N_{S,1} + N_{S,2} \quad (10)$$

Osim za odnos toplotnih kapaciteta fluidnih tokova, koji deluje kao korekcionni faktor neuravnoteženosti, a koji je blizak jedinici, izrazi za broj jedinica stvaranja entropije, za svaki fluidnih tokova imaju sličan oblik:

$$N_{S,1} = \frac{(T_{2,\text{ul}} - T_{1,\text{ul}})^2}{T_{1,\text{ul}} T_{2,\text{ul}}} \frac{1}{NTU_1} + \frac{C_{\min}}{C_{\max}} \frac{R_1}{c_{p,1}} \frac{\Delta p_1}{P_1} \quad (11)$$

$$N_{S,2} = \frac{C_{\min}}{C_{\max}} \frac{(T_{2,\text{ul}} - T_{1,\text{ul}})^2}{T_{1,\text{ul}} T_{2,\text{ul}}} \frac{1}{NTU_2} + \frac{R_2}{c_{p,2}} \frac{\Delta p_2}{P_2} \quad (12)$$

U brojevima jedinica stvaranja entropije $N_{S,1}$ i $N_{S,2}$, napisanim na gornji način, pregledno su razdvojeni uticaji nastanaka entropije usled prolaženja toplote pri konačnoj razlici temperatura i usled usled padova pritiska izazvanih viskoznim trenjem. Pored toga, kao što će u nastavku rada biti prikazano, jednačine, napisane u ovoj formi, moguće je, uz dopunske transformacije iskoristiti kao polaznu osnovu za određivanje optimalnih dimenzija predajnika toplote, odnosno optimalnih radnih uslova.

3. Određivanje optimalnih dimenzija i radnih uslova

Određivanje optimalnih dimenzija predajnika toplote, odnosno optimalnih radnih uslova, izvršeno je sa aspekta minimalne brzine nastajanja entropije, tj. minimalnog broja jedinica stvaranja entropije. Pri tome, pod dimenzijama predajnika toplote smatrani su: tzv. ekvivalentni prečnici ($d_{\text{ek},1}$) i dužine fluidnih tokova (L_1, L_2), a pod radnim uslovima, vrednosti Reynoldsovog i modifikovanog Ojlerovog broja.

Kao polazna osnova, za pronalaženje ovih optimalnih parametara, poslužile su jednačine 11 i 12. Da bi one bile svedene na oblik prihvatljiv za dalju analizu, sve članove u ovim jednačinama trebalo bi izraziti u funkciji navedenih parametara. Budući da obe jednačine imaju sličan oblik, odnosno da doprinosi nastajanju entropije u oba fluidna toka imaju sličnu matematičku interpretaciju, biće prikazan postupak samo za jedan fluid, na primer

jednačina 11. Takođe, u daljoj analizi izostavljen je i član $N_{S,\text{ideal}}$, jer je već konstatovano, da on iščezava u slučaju tzv. izbalansiranosti fluidnih tokova, tj. jednakosti toplotnih kapaciteta fluidnih tokova.

Kako je broj jedinica prenošenja toplote NTU_1 , moguće izraziti preko bezdimenzionalnih bojeva:

$$NTU_1 = \frac{h_1 A_{p1}}{q_{m,1} c_{p,1}} = \frac{h_1 A_{p1}}{C_{\min}} = \frac{4L_1}{d_{\text{ek},1}} \frac{Nu_1}{Re_1 Pr_1} \quad (15)$$

a pad pritiska u funkciji Fanningovog koeficijenta trenja λ i brzine strujanja fluida w_f [4]:

$$\Delta p_1 = \xi \frac{4L_1}{d_{\text{ek},1}} \frac{\rho_1 w_{f,1}^2}{2} \quad (16)$$

to broja jedinica stvaranja entropije, a u ovom slučaju $N_{S,1}$, može biti napisan u obliku:

$$N_{S,1} = \frac{(T_{2,\text{ul}} - T_{1,\text{ul}})^2}{T_{1,\text{ul}} T_{2,\text{ul}}} \frac{1}{\frac{4L_1}{d_{\text{ek},1}} \frac{Nu_1}{Re_1 Pr_1}} +$$

$$+ \frac{C_{\min}}{C_{\max}} \frac{R_1}{c_{p,1}} \xi \frac{4L_1}{d_{\text{ek},1}} \frac{\rho_1 w_{f,1}^2}{P_1 2}$$

Označavanjem bezdimenzionalnog odnosa temperatura fluida sa:

$$T^* = \frac{(T_{2,\text{ul}} - T_{1,\text{ul}})^2}{T_{1,\text{ul}} T_{2,\text{ul}}} \quad (18)$$

a tzv. modifikovanog Eulerovog broja sa:

$$Eu_1^* = \frac{P_1}{\rho_1 w_{f,1}^2} \quad (19)$$

jednačina 16 dobija oblik:

$$N_{S,1} = T^* \frac{Re_1 Pr_1}{\left(\frac{4L_1}{d_{\text{ek},1}}\right) Nu_1} + \frac{C_{\min}}{C_{\max}} \frac{R_1}{c_{p,1}} \xi \left(\frac{4L_1}{d_{\text{ek},1}}\right) \frac{1}{Eu_1^*} \quad (20)$$

Za slučaj da fluidni tok 1 protiče kroz cevi smeštene unutar dobošastog predajnika toplote, korišćenjem empirijskih jednačina za određivanje Nuseltovog broja, odnosno Fanningovog koeficijenta, tabela 1, [4], broja jedinica stvaranja entropije $N_{S,1}$ moguće je napisati samo u funkciji odnosa geometrijskih parametara $4L_1/d_{\text{ek},1}$, Reynoldsovog i modifikovanog Eulerovog broja Eu_1^* . U pretpostavljenom slučaju, pri razvijemom turbulentnom strujanju fluida kroz cevi, za $10^4 \leq Re < 10^6$, $0,6 \leq Pr < 2500$, vrednosti Nuseltovog broja određene su pomoću izraza [5],

$$Nu = 0,021 Re^{0,8} Pr^{0,4} \quad (21)$$

a vrednosti Fanningovog koeficijenta [4]:

$$\xi = 0,184 Re^{-0,2} \quad (22)$$

Zamenom jednačina 21 i 22 u jednačinu 20, dobija se vrednost broja jedinica nastajanja entropije u funkciji tri nezavisna parametra:

$$N_{S,1} = T^* \frac{Pr_1^{0,57}}{\left(\frac{4L_1}{d_{\text{ek},1}}\right)} Re_1^{0,2} + \frac{C_{\min}}{C_{\max}} \frac{R_1}{c_{p,1}} \left(\frac{4L_1}{d_{\text{ek},1}}\right) \frac{1}{Eu_1^*} Re_1^{0,2} \quad (23)$$

Do jednačine sličnog oblika, za broj jedinica nastajanja entropije u drugom fluidnom toku $N_{S,2}$, moguće je doći na isti način, uz korišćenje odgovarajućeg izraza za Nuseltov broj, odnosno izraza za Fanningov koeficijent, pri stujanju fluida kroz prostor između snopa cevi i omotača dobošastog predajnika toplote – tabela 2. Do sličnih izraza moguće je doći i za slučaj pločastih predajnika toplote, budući da se u literaturi mogu pronaći odgovarajući izrazi za Nu i ξ [6].

Kvantitativni prikaz jednačine 23, zavisnost broja jedinica nastajanja entropije $N_{S,1}$ u funkciji $4L_1/d_{\text{ek},1}$, Re_1 i Eu_1^* , prikazan je na slici 2. Sa slike se jasno vidi da pri porastu porast bezdimenzionalnog odnosa $4L_1/d_{\text{ek},1}$, postoje dve oblasti za porast entropije. Prva, oblast malih vrednosti $4L_1/d_{\text{ek},1}$, u kojoj na brzinu nastajanja entropije pretežno utiče razlika temperatura, i druga – oblast velikih odnosa $4L_1/d_{\text{ek},1}$, u kojoj na brzinu nastajanja entropije uglavnom utiču disipativni usled viskoznog trenja. U ovoj zoni, na povećanje brzine nastajanja entropije značajan uticaj ima i vredost modifikovanog Ojlerovog broja. Smanjivanje vrednosti ovog broja dovodi do povećanja vrednosti broja jedinica nastajanja entropije $N_{S,1}$. Pri tome treba imati u vidu, da je modifikovani Ojlerov broj ustvari obrnuto proporcionalan kvadratu tzv. masene brzine strujanja fluida, pa se može konstatovati i da povećanje masne brzine strujanja fluida, izaziva porast brzine nastajanja entropije. Takođe, sa slike 2, može se uočiti, da promena Reynoldsovog broja slabo, tj. da gotovo ne utiče na promenu broja jedinica nastajanja entropije.

Što se tiče optimalnih dimenzija predajnika, sa slike 2, može se uočiti da za zadate vrednosti Reynoldsovog i modifikovanog Ojlerovog broja postoji

Tabela 1 Vrednosti Fanningovog koeficijenta trenja za strujanje fluida kroz cevi [4]

Redni br.	Fanningov koeficijent	Opseg
1.	$\xi = 16Re^{-1}$	$50 \leq Re < 10^3$, cevi i komercijalne cevi
2.	$\xi = 0,10512Re^{-0,243}$	$10^3 \leq Re < 10^5$, komercijalne cevi
3.	$\xi = 0,4234Re^{-0,164}$	$10^5 \leq Re < 10^6$, komercijalne cevi
4.	$\xi = 0,184Re^{-0,2}$	$10^3 \leq Re < 10^6$, cevi

Tabela 2 Vrednosti Fanningovog koeficijenta trenja za slučaj proticanja fluida kroz prostor između snopa cevi i omotača dobošastog predajnika toplote [4]

Redni br.	Fanningov koeficijent	Opseg
1.	$\xi = 14,9Re^{-0,983}$	$10 \leq Re < 30$
2.	$\xi = 7,46Re^{-0,780}$	$30 \leq Re < 60$
3.	$\xi = 2,74Re^{-0,536}$	$60 \leq Re < 150$
4.	$\xi = 8,76Re^{-0,308}$	$150 \leq Re < 300$
5.	$\xi = 0,454Re^{-0,193}$	$300 \leq Re < 10^6$

optimalna vredost bezdimenzionalnog odnosa $(4L_1/d_{ek,1})_{opt}$, pri kojoj $N_{S,1}$ ima minimalnu vrednost. Do optimalne vrednosti može se doći određivanjem parcijalnog izvoda $N_{S,1}$ po $4L_1/d_{ek,1}$ i njegovim izjednačavanjem sa nulom. U razmatranom slučaju, optimalna vrednost bezdimenzionog odnosa geometrijskih parametara predajnika iznosila bi:

$$\left(\frac{4L_1}{d_{ek,1}}\right)_{opt} = \left(T^* Pr_1^{0,57} Eu_1^* \frac{C_{p,1}}{R_1} \frac{C_{max}}{C_{min}}\right)^{0,5} \quad (24)$$

Interesantno primetiti da optimalna vrednost odnosa geometrijskih

parametra $(4L_1/d_{ek,1})_{opt}$, u ovom slučaju, uopšte ne zavisi od vrednosti Reynoldsovog broja. Ipak, to nije opšti slučaj, jer za neki drugi režim strujanja, odnosno drugu geometriju, ta zavisnost iako slabo izražena, ipak postoji.

Do sličnih izraza, za drugi fluidni

tok, druge režime ili za druge tipove predajnika toplote moguće je doći istom metodologijom.

4. Zaključak

U ovom radu prikazana detaljna analiza rada suprotosmernih predajnika toplote sa stanovišta Drugog principa termodinamike. Radi lakše matematičke interperetacije uzeto je da oba radna fluida imaju termofizička svojstva idealnih gasova i da je predajnik toplote dobošastog tipa.

Na osnovu sprovedene analize zaključeno je da:

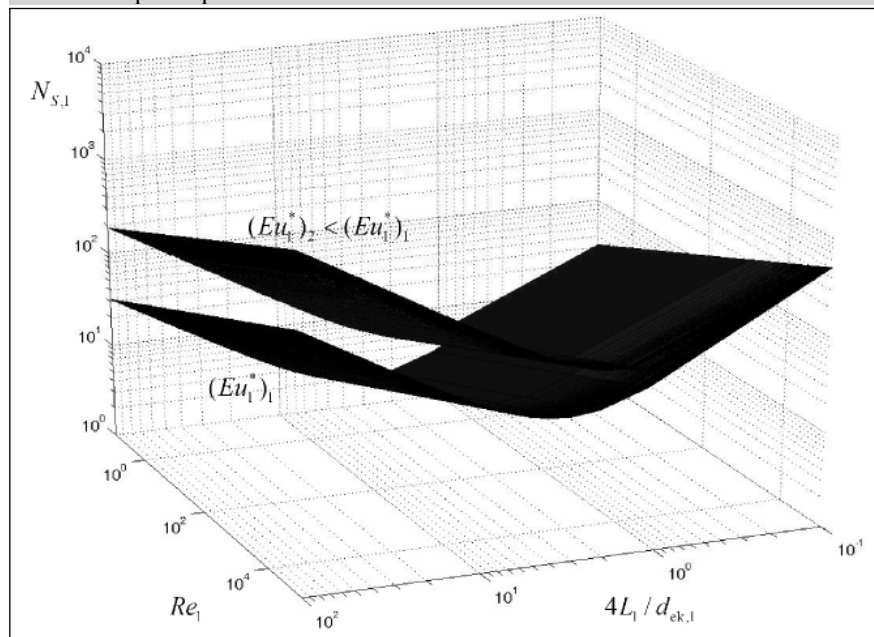
- smanjenje gubitaka radne sposobnosti, tj. smanjenje brzine nastajanja entropije u predaniku toplote može da se ostvari izjednačavanjem toplotnih kapaciteta fluidnih tokova i pravilnim izborom geometrijskih parametara predajnika toplote.
- Brzina nastajanja entropije sa oba fluidna toka znatno zavisi od odnosa $(4L/d_{ek})_{1,2}$ i veličine modifikovanog Ojlerovog broja;
- Brzina nastajanja entropije je relativno neosetljiva na promenu Reynoldsovog broja;
- Za zadate vrednosti modifikovanog Ojlerovog i Reynoldsovog broja moguće je odrediti optimalnu vrednost odnosa $(4L/d_{ek})_{opt,1,2}$ pri kojoj brzina nastajanja entropije ima minimalnu vrednost.
- Optimalne vrednosti odnosa geometrijskih parametara u direktnoj su vezi sa vrednošću modifikovanog Ojlerovog broja, a skoro da ne zavise od vrednosti Reynoldsovog broja.

Bez obzira na to što je prikazana metodologija određivanja optimalnih geometrijskih parametara predajnika toplote primenjavana na jedan izdvojen slučaj strujanja, izvedeni zaključci imaju opšti karakter, a samu metodologiju je u svakom konkretnom slučaju moguće primeniti i na druge tipove predajnika toplote.

Literatura

- [1] Bejan, A.: *Entropy Generation Through Heat and Fluid Flow*, John Wiley & Sons, 1982.
- [2] Ogulata, R.T., Doba, F., Yilmaz, T.: *Irreversibility analysis of cross flow heat exchangers*, Energy Conversion & Management, Pergamon, pp. 1585-1599, 2000.
- [3] Ordonez, J.C., Bejan, A.: *Entropy Generation Minimization in Parallel-Plates Counterflow Heat Exchangers*, International Journal of Energy Research, John Wiley & Sons, Vol.24, pp. 843-864, 2000.
- [4] Holland, F., Moores, R., Watson, F., Wilkinskon, J.: *Heat Transfer*, Heinmann Education Books, London, 1970.
- [5] Kozić, Đ., Vasiljević, B., Bekavac, V.: *Priručnik za termodinamiku u SI jedinicama*, 15. izdanje, Mašinski fakultet, Beograd, 2008.
- [6] Keys, W.M., London, A.L.: *Compact Heat Exchangers*, Second edition, Mc Graw – Hill Book Company, New York, 1964.

Slika 2 Zavisnost broja jedinica nastajanja entropije $N_{S,1}$ u funkciji $4L_1/d_{ek,1}$, Re_1 i Eu_1^*



Parametri i karakteristike agregata u TE Kolubara B i TE "Nikola Tesla" B3 u svetlu zahteva elektroenergetskog sistema Srbije

1. Uvodno razmatranje

Generalno gledano, kod izbora parametara sinhronih generatora, uz uvažavanje ekonomskih kriterijuma, neophodno je da se postigne razumni kompromis između cene njihovih konstrukcija, pogonskih troškova, kvantiteta i kvaliteta plasirane električne energije u elektroenergetski sistem (EES), odnosno neophodno je da se uvažavaju i zahtevi koje neminovno nameće EES (tzv. sistemski zahtevi). Dakle, u pitanju je jedan veoma složen tehnokoekonomski problem. Dobrim izborom relevantnih parametara novih generatora i njihovih blok-transformatora postiže se optimalni rad proizvodnog bloka, odnosno, u interaktivnoj sprezi sa EES na koji se priključuje, postiže se maksimalno, odnosno, racionalno iskorišćenje njegovih performansi. U kontekstu ovoga osnovnog cilja, između ostalog, veoma su bitni efekti poboljšanja naponsko-reaktivnih prilika u delu mreže gde se novi izvor priključuje.

Poznato je da prisutni ekonomski i tehničko-tehnološki faktori uslovljavaju porast jediničnih snaga generatora, a time, po pravilu, i neminovno pogoršanje (sa aspekta zahteva EES-a) određenih parametara generatora. To je u prvom redu vezano za turbogeneratore. S druge strane, izbor nominalne snage hidrogeneratora je u prvom redu determinisan karakteristikama energetskog izvora, pri čemu njegova konstrukcija ima u potpunosti individualni karakter, s obzirom da je ona uslovljena velikim brojem promenljivih faktora.

Iz pomenutih razloga, veoma je važno da se razviju odgovarajuće metodologije, koje će na najracionalniji

Rezime

U radu se izlažu najznačajniji rezultati Studije „Studija stabilnosti i izbor opsega povoljnijih vrednosti parametara i karakteristika turboagregata i blok-transformatora u TE Kolubara B i TE Nikola Tesla B3”, koju je za potrebe Elektroprivrede Srbije uradio Institut „Nikola Tesla”. Njen osnovni cilj je bio da, na bazi široke analize statičkih i dinamičkih stanja EES-a Srbije u njegovom širokom okruženju, definiše prihvatljive opsege svih relevantnih parametara i karakteristika turboagregata i blok-transformatora. Dobijeni rezultati će poslužiti kod izrade tendera za izbor i ugovaranje novih agregata u razmatranim novim TE.

način da izvrše izbor povoljnih vrednosti ključnih parametara i karakteristika generatora i njihovih blok-transformatora. Dakle, pitanja izbora relevantnih parametara novih izvora, sa aspekta zahteva EES-a, imaju nesumnjivo veliki značaj i aktuelnost. Naravno, to se odnosi i na izvore, koji su predviđeni za revitalizaciju, kada je neophodno blagovremeno da se utvrde, u novim uslovima pogona, efekti postojećih, i eventualno korigovanih, njihovih parametara i karakteristika.

Ova problematika je od posebnog značaja za planirane nove termoagregate u TE Kolubara B (2x 350 MW) i TE Nikola Tesla B3 (750 MW), imajući u vidu veličine njihovih snaga i mesta priključenja na sistem, odnosno njihov veliki uticaj na efikasno i stabilno funkcionisanje EES-a Srbije. Vlada Republike Srbije, na sednici održanoj 11. decembra 2008. godine, konačno je dala zeleno svetlo da EPS raspiše međunarodni tender za izbor strateškog partnera za izgradnju ove dve termoelektrane. Raspisana je prva faza navedenog tendera, što je objavljeno u „Fajnenšel tajmsu“ 20. januara 2009. godine.

Osnovni cilj Studije [1], saglasno njenom Programskom zadatku, je bio da izvrši široke analize karakterističnih

statičkih stanja i da izvrši proveru statičke i dinamičke stabilnosti rada ovih novih agregata sa uobičajenim vrednostima relevantnih parametara, pa da se na osnovu toga definiše dozvoljeni opseg promene svih relevantnih parametara i karakteristika turboagregata i blok-transformatora, koji će da posluži za izradu relevantnih delova tendera za izbor i ugovaranje novih agregata u razmatranim novim TE. U ovom radu se u kraćim crtama izlažu najznačajniji rezultati pomenute Studije

2. Metodološki i praktični aspekti izbora i analize najpovoljnijih vrednosti parametara i karakteristika agregata i blok transformatora

2.1. Uvodne napomene

U ovoj glavi rada se izlažu u najkraćim crtama metodologije, praćene odgovarajućim računarskim programima, koje su korišćene za izradu Studije [1], odnosno daju se metodološki i praktični aspekti izbora i analize najpovoljnijih vrednosti parametara i karakteristika agregata i blok-transformatora. Praktično se radi o posebno koncipiranim analizama statičkih stanja i analizama statičke i

⇒ energija

tranzijentne stabilnosti EES-a, odnosno interkonekcija, u kojima se oni nalaze.

2.2. Metodološki i praktični aspekti izbora nominalnog faktora snage generatora i karakteristika njegovog blok-transformatora

Imajući u vidu da se priroda i način ostvarenja bilansa reaktivnih snaga suštinski razlikuje od ostvarenja bilansa aktivnih snaga, problematika izbora nominalnog faktora snage generatora, uz aktuelnost i veliki praktični značaj, ima i veliku složenost. To je uslovljeno činjenicom da se bilans reaktivne snage, a u tom kontekstu, prisustvo rezerve ili deficita u reaktivnoj snazi, ostvaruje u kontekstu raznorodnih okolnosti i uslova. Time izbor nominalnog faktora snage perspektivno planiranog generatora mora da se bazira na utvrđenim potrebama EES-a, u pogledu potreba za generisanjem ili apsorpcijom reaktivne snage, uzimajući, pri tome u obzir, sledeće osnovne, međusobno povezane faktore: položaj elektrane u EES, njena udaljenost od potrošačkih čvorova, veličina reaktivne snage ovih potrošačkih čvorova, način povezivanja elektrane (parametri i karakteristike blok-transformatora) sa EES, očekivana, odnosno zahtevana stanja elektrane u pogledu proizvodnje ili apsorpcije reaktivne snage i međusobni uticaj naponsko-reaktivnih prilika elektrane i EES-a.

Osnovni kriterijum za izbor najpovoljnijih vrednosti nominalnog faktora snage generatora, prenosnog odnosa i napona kratkog spoja blok-transformatora, je ostvarenje željenog (maksimalnog) iskorišćenja pogonskih mogućnosti posmatranog bloka, pri očekivanim naponima konkretnog čvorišta EES-a, na koji će elektrana biti priključena, odnosno saglasno zahtevima i potrebama EES-a. Drugim rečima, govoreći praktičnim rečnikom, problem određivanja najpovoljnijih vrednosti za pomenute veličine mora da se osloni na što objektivniju procenu mogućih perspektivnih režima rada elektrane sa aspekta naponsko-reaktivnih prilika, u složenoj interakciji sa EES, na koji se priključuje.

U radovima [2-4] je bio izložen razvoj i praktična primena jedne nove metode i odgovarajućeg računarskog programa (*UCOSFI*) za upravljanje tokovima reaktivnih snaga na izabranim elementima, uvođenjem kompenzacije u odgovarajuće čvorove, koji prirodno gravitiraju tome elementu. Za potrebe Studije [1], razvijen je računarski program *IZBOR*, koji je derivat računarskog programa *UCOSFI*, uz uvođenje niza unapređenja, vezana za

sofisticiraniji način izbora nominalne vrednosti faktora snage i parametara i karakteristika njihovih blok-transformatora.

U aktuelnoj verziji računarskog programa *IZBOR* omogućeno je da se, u odnosu na dobijeno tzv. polazno stacionarno stanje, izvrše sledeće korekcije: nominalne prividne snage odabranih generatora, nominalnog faktora snage odabranih generatora, angažovane aktivne snage odabranih generatora, zadatih vrednosti napona na krajevima odabranih generatora, nominalne prividne snage blok-transformatora odabranih generatora, vrednosti prenosnog odnosa blok-transformatora odabranih generatora i korekcije vrednosti napona kratkog spoja blok-transformatora odabranih generatora. Ove korekcije mogu da se obavljaju pojedinačno, ili da se formira njihova raznorodna kombinacija.

Za stanje, dobijeno nakon učinjenih korekcija, za odabrane generatore, u posebnoj datoteci, na pregledan način, daju se sledeći pokazatelji: angažovana aktivna snaga [MW], angažovana reaktivna snaga [Mvar], odnos angažovane i maksimalno raspoložive reaktivne snage, odnos aktuelne i nominalne vrednosti struje statora, odnos aktuelne i nominalne vrednosti napona na krajevima generatora, ostvareni (radni) faktor snage i vrednost napona na visokonaponskim sabirnicama elektrane [kV]. Takođe, za stanje dobijeno nakon učinjenih korekcija daju se sledeći pokazatelji: veličina i struktura gubitaka aktivne i reaktivne snage u razmatranom EES i promene u odnosu na polazno stanje, veličina i struktura generisanja reaktivne snage od strane dalekovoda u razmatranom EES i promene u odnosu na polazno stanje i veličina reaktivne rezerve generatora u razmatranom EES i njena promena u odnosu na polazno stanje.

2.3. Metodološki i praktični aspekti izbora odnosa kratkog spoja i sinhronih reaktansi generatora

2.3.1. Uvodne napomene

Odnos kratkog spoja (K_c), odnosno sinhrona reaktansa u podužnoj osi (x_d), su veličine koje u najvećoj meri utiču na iznos rezerve statičke stabilnosti. S druge strane K_c (odnosno x_d) je parametar koji bitno utiče na karakteristike i gabarit sinhrona mašine, odnosno da neposredno utiče, kako na pogonske uslove rada generatora, tako i na njegovu veličinu i cenu. Analize statičke stabilnosti, dakle, vršene su prvenstveno u cilju

utvrđivanja povoljnog opsega ovih važnih parametara razmatranih novih turbogeneratorskih, jer su to veličine koje u najvećoj meri utiču na iznos rezerve statičke stabilnosti. Uticaj veličine odnosa kratkog spoja razmatran je u interaktivnoj sprezi sa uticajem zamajnog momenata agregata, odnosno vremenske konstante inercije agregata (T_i), vremenske konstante pobudnog kola pri otvorenom statorskom namotaju (T_{d0}), kao i uticajem parametara pobudnog sistema i njegove regulacije razmatranih turbogeneratorskih.

2.3.2. Metodološki i praktični aspekti analiza statičke stabilnosti

Za razliku od uobičajenih prilaza analizi statičke stabilnosti (linearizacija odgovarajućih matrica stanja i određivanje njihovih sopstvenih vrednosti i sopstvenih vektora - "model linearization and solving the eigenvalues problem") u Institutu "Nikola Tesla" razvijen je drukčiji prilaz. U njemu se prate elektromehanički prelazni procesi nastalih nakon tipičnih "malih poremećaja" (na primer, simultana promena ukupne potrošnje za nekoliko procenata) sa aspekta analize statičke stabilnosti. Uz tretiranje individualne dinamike svake od sinhronih mašina, odnosno uz određivanje njihovih sopstvenih učestanosti, prati se i kretanje "centra inercije" kompletnog EES-a, koje je indikativno za sagledavanje globalnih efekata. Takođe, prate se i stanja na svim relevantnim elementima tokom odvijanja prelaznog elektromehaničkog procesa (određivanje aktivnih i reaktivnih snaga, struja i fazora napona), čime se dobija detaljni uvid u sam tok odvijanja "odziva" EES-a na pojavu "malog regularnog poremećaja". Takav prilaz je zahtevao modelovanje kompletne električne mreže EES-a i svih njegovih relevantnih komponenti, uključujući odgovarajuće regulacione i zaštitne uređaje (u prvom redu to se odnosi na detaljnije modelovanje sinhronih mašina i njihovih regulacionih sistema). O tome je detaljno bilo reči u referenci [5].

Na bazi prethodno pomenutih matematičkih modela i razvijenih tehnika njihovog rešavanja, u Institutu "Nikola Tesla", razvijen je modularno organizovani računarski program *STATSTAB*. Korisniku ovoga računarskog programa je omogućeno sledeće: definisanje veličine procenta simultane promene ukupne potrošnje u analiziranom EES, definisanje vrste i mesta veličina koja se prate i koje se na odgovarajući način grafički interpretiraju, praćenje individualne

”dinamike” svake od sinhronih mašina, preko dinamike promene njihovih električnih uglova, praćenje kretanja tzv. ”centra inercije” kompletnog EES-a, koje je indikativno za sagledavanje globalnih efekata nastalog debalansa.

Takođe, omogućeno je praćenje stanja na svim relevantnim elementima, preko određivanja dinamike promene aktivnih i reaktivnih snaga, struja i fazora napona, grafička interpretacija na pregledan način, čime se dobija detaljni uvid u sam tok odvijanja prelaznog procesa, odnosno ”odziva” EES-a na pojavu ”malog regularnog poremećaja”. Na kraju, dobijaju se svi relevantni pokazatelji, koji se odnose na uspostavljeno postdinamičko kvazistacionarno stanje razmatranog EES-a, u njegovom širokom okruženju.

2.4. Metodološki i praktični aspekti izbora vremenske konstante inercije agregata, tranzijentnih reaktansi i pobudnog sistema generatora

2.4.1. Uvodne napomene

Tranzijentna reaktansa u podužnoj osi generatora (x'_d), vremenska konstanta inercije agregata (T_I), odnos kratkog spoja (K_c), i karakteristike pobudnog sistema i njegove regulacije, u svojoj interaktivnoj povezanosti, sa različitim pojedinačnim uticajem, u najvećoj meri definišu dinamičko ponašanje agregata u okviru kratkotrajnih dinamičkih procesa EES-a. Veličina tranzijentne reaktanse, kao i odnosa kratkog spoja, takođe neposredno utiče, kako na pogonske uslove rada generatora, tako i na njegovu veličinu i cenu. Ako bi razlozi stabilnosti zahtevali smanjenje vrednosti tranzijentne reaktanse, to bi za sobom povlačilo smanjivanje elektromagnetnog iskorišćenja materijala, a što bi nužno dovelo do povećanja odgovarajućih dimenzija generatora, a time i njegove cene. Analize kratkotrajnih dinamičkih procesa, odnosno tranzijentne stabilnosti vršene su prvenstveno u cilju utvrđivanja povoljnog opsega vrednosti tranzijentne reaktanse u podužnoj osi generatora (x'_d) i vremenske konstante inercije agregata (T_I), kao i u cilju utvrđivanja najpovoljnijih rešenja za pobudni sistem i njegovu regulaciju razmatranih novih turbogeneratora.

2.4.2. Metodološki i praktični aspekti analiza tranzijentne stabilnosti

U cilju sagledavanja proučavanog fenomena tranzijentne stabilnosti bilo je neophodno da se raspolaže sa odgovarajućom metodologijom (i odgovarajućim računarskim programom). Ta metodologija bi trebalo da na adekvatan način simulira

dinamičko ponašanje EES-a, nakon pojave i eliminacije kvara. Dakle, bilo je neophodno modelovanje kompletne električne mreže razmatrane interkonekcije i svih njenih relevantnih komponenti, uključujući odgovarajuće regulacione i zaštitne uređaje (u prvom redu to se odnosi na detaljnije modelovanje sinhronih mašina i njihovih regulacionih sistema). Takođe, takav prilaz je zahtevao razvoj efikasne metode numeričke integracije aktuelnih sistema nelinearnih diferencijalnih jednačina.

U Institutu ”Nikola Tesla”, razvijena je jedna takva metodologija i odgovarajući računarski program (*DINST*). Ova metodologija koristi isti način modelovanja relevantnih komponenti EES-a (strožije modelovanje sinhronih mašina i njihovih regulacionih sistema, uključujući i modele pobudnog sistema (i njegove regulacije), hidropostrojenja i termopostrojenja) i isti efikasan način numeričke integracije aktuelnih diferencijalnih jednačina, koji je primenjen kod analiza statičke stabilnosti i kod strožijih analiza primarne regulacije učestanosti. Razlika postoji u načinu modelovanja električne mreže, kao i načinu rešavanja problema tokova snaga. U ovoj metodologiji, matematički model tokova snaga, odnosno jednačine balansa formirane su preko strujnih injektiranja u svim čvorovima EES-a, predstavljenog matricom admitansi čvorova, u kojoj su uključene i grane sinhronih mašina [6].

Korisniku računarskog programa *DINST* je omogućeno sledeće: utvrđivanje efekata trolpolnih kratkih spojeva na odabranim elementima, utvrđivanje efekata različitih vrsta nesimetričnih kratkih spojeva na odabranim elementima, utvrđivanje efekta uspešnog trolpolnog automatskog ponovnog uključanja, na dalekovodima gde ono postoji, utvrđivanje efekta neuspešnog trolpolnog automatskog ponovnog uključanja, na dalekovodima gde ono postoji, utvrđivanje efekta uspešnog jednopolnog automatskog ponovnog uključanja, na dalekovodima gde ono postoji, utvrđivanje efekta neuspešnog jednopolnog automatskog ponovnog uključanja, na dalekovodima gde ono postoji, utvrđivanje efekta jednostrukih i višestrukih ispada proizvodnih kapaciteta i na kraju (ili na početku), automatizovani proračun kritičnog vremena trajanja trolpolnog kratkog spoja.

Dalje, korisniku ovoga računarskog programa, za posmatrani vremenski period odvijanja prelaznog procesa, je omogućeno praćenje sledećih dinamika promene: električnih uglova,

odnosno sopstvenih učestanosti svake od sinhronih mašina, tokova aktivnih snaga na svim elementima, tokova reaktivnih snaga na svim elementima, struja na svim elementima, napona u svim čvorovima, ems-le E_q na svim generatorima, ems-le E_{fd} na svim generatorima, električnih snaga na svim generatorima i mehaničkih snaga na svim generatorima.

Sa ovim pokazateljima, grafički interpretiranim na selektivan i pregledan način, dobija se detaljni uvid u sam tok odvijanja prelaznog procesa, odnosno ”odziva” EES-a na pojavu i eliminaciju analiziranog kvara. Ujedno, dobijaju se svi relevantni pokazatelji, koji se odnose na uspostavljeno postdinamičko, kvazistacionarno stanje razmatranog EES-a, u njegovom širokom okruženju.

3. Elektroenergetske podloge i podaci za izradu studije

Obrađivač Studije [1], u veoma konstruktivnoj saradnji sa Radnom grupom za njeno praćenje, koju je formirao Naručilac Studije (Elektroprivreda Srbije) je prikupio, sudio i sistemativizovao sve potrebne podloge i podatke za njenu izradu. Kao osnovna podloga bili su modeli mreže iz Studije [7], čiji je deo rezultata prikazan u referenci [8]. Uz pomenuto, korišćeni su i odgovarajući podaci iz Studije [9], čiji su ključni rezultati prikazani u [10].

Pri tome, potrebno je da se napomene da su kod perspektivnog sagledavanja konzuma u potpunosti respektovani rezultati Elaborata [11], čiji je neposredni rezultat ugradnja, u relativno kratkom vremenskom periodu, kondenzatorskih baterija u ukupnom iznosu od 200 Mvar u elektrodistributivnu mrežu Srbije. Kod perspektivnog sagledavanja konzuma, u potpunosti su respektovani i rezultati Studije [12], u kojoj je izvršen izbor optimalnog načina smanjenja reaktivnog opterećenja sa gledišta prenosne mreže Srbije po TS 110/X kV, u ukupnom iznosu od dodatnih 200 Mvar (170 Mvar na niskom naponu i 30 Mvar na srednjem naponu). Reč je od dodatnim 200 Mvar, u odnosu na već realizovanu kompenzaciju na niskom naponu u iznosu od 200 Mvar. Takođe, u realizacije ove Studije, u potpunosti je respektovana ekspertiza [13].

Sve analize za potrebe Studije [1] urađene su na modelu realne elektroenergetske interkonekcije koju sačinjavaju EES Srbije (SRB), Crne Gore (MNE), Bosne i Hercegovine (BiH), Hrvatske (HR), Mađarske (H), Makedonije (MK), Rumunije (RO), Bugarske (BG), Grčke (GR) i Albanije

(AL). Modelovane su kompletne visokonaponske mreže 220 i 400 kV u pomenutim EES (u EES Grčke, i relevantni delovi mreže 150 kV), uz napomenu da je kompletno modelovana mreža 110 kV u EES Srbije i sve TS 110/X kV. Pri tome, kao je to već rečeno, u potpunosti je respektovan dalji razvoj prenosne mreže Srbije, saglasno rezultatima Studije [7].

Sve analize statičkih i dinamičkih stanja EES-a Srbije, u njegovom širokom okruženju, obavljene su po sledećim etapama (tzv. »presečnim« godinama): 2015, 2020. i 2025. Pri tome, obuhvaćena su maksimalna i minimalna stanja, koja se očekuju pomenutih godina.

4. Zaključna razmatranja

Na kraju svake od glava u Studiji [1], koje su se neposredno bavile izborom najpovoljnijih parametara i karakteristika turboagregata u TE Kolubara B i TE N.Tesla B3 i njihovih blok-transformatora, naveden je niz relevantnih zapažanja, konstatacija i zaključaka, u funkciji ostvarenja njenog osnovnog cilja. U završnoj glavi ovoga rada, daju se sledeće najznačajnije konstatacije i zaključci:

- Prvi i jedan od najznačajnijih, a reklo bi se i jedan od najdelikatnijih zadataka je bio izbor najpovoljnijih vrednosti za nominalni faktor snage generatora TE Kolubara B (2x 350 MW) i TE N.Tesla B3 (1x 750 MW). Pomenuta delikatnost, kao i velika kompleksnost ovoga izbora sastoji se u činjenici da je ovaj izbor morao da se vrši simultano sa izborom karakteristika, odnosno prenosnog odnosa njihovih blok-transformatora. Osnovni kriterijum pri tome je ostvarenje željenog (maksimalnog) iskorišćenja pogonskih mogućnosti generatora, saglasno zahtevima i potrebama EES-a u pogledu ostvarenja povoljnih naponsko-reaktivnih prilika. Dakle, vrednosti nominalnog faktora snage generatora i karakteristike i parametri njegovog blok-transformatora nalaze se u veoma složenoj međusobnoj interaktivnoj povezanosti, koju nije moguće da se svede na odgovarajuće, jednostavnije i jednoznačne analitičke forme.
- Blok - transformatori u TE Kolubara B su ugovoreni, isporučeni i montirani sa fiksnim prenosnim odnosom (22/410 kV/kV), tako da je ostalo da se u okviru Studije [1] utvrdi najpovoljnija vrednost za nominalni faktor snage generatora u TE Kolubara B i da se proverí ispravnost

usvojenog rešenja za njihove blok-transformatore.

- Primenom računarskog programa **IZBOR** izvršene su veoma opsežne analize maksimalnih i minimalnih statičkih stanja prenosne mreže Srbije, u njenom širokom okruženju, koja se očekuju 2015, 2020. i 2025. godine. Dobijeni karakteristični rezultati, koji su bili dati u četvrtoj glavi Studije [1] (posredstvom dvadeset četiri tabela i pedeset šest slika), dali su dobru i široku osnovu za izbor najpovoljnijih vrednosti za nominalni faktor snage razmatranih novih turbogeneratora u TE Kolubara B i TE Nikola Tesla B3, proveru ispravnosti rešenja za blok-transformatore u TE Kolubara B i za izbor karakteristika blok-transformatora u TE Nikola Tesla B3.
- Rezultati analiza maksimalnih stanja omogućili su konstataciju da je najpovoljnija vrednost za nominalni faktor snage generatora u TE Kolubara B u iznosu 0.85. Pri ovoj vrednosti faktora snage ostvaruje se visoka proizvodnja reaktivne snage, uz prisustvo odgovarajuće rezerve, čije aktiviranje može da bude od dragocene pomoći u saniranju teških naponsko-reaktivnih stanja, koja nije moguće isključiti u budućem pogonu.
- Rezultati sprovedenih analiza niza karakterističnih maksimalnih, a zatim i minimalnih stanja prenosne mreže Srbije, u njenom širokom okruženju, potvrdili su ispravnost usvojenog rešenja sa fiksnom vrednošću prenosnog odnosa blok-transformatora generatora u TE Kolubara B u iznosu Ugn/410 kV/kV. Pri ovoj vrednosti prenosnog odnosa obezbeđen je u najvećem broju analiziranih situacija plasman značajnog dela raspoložive reaktivne snage, ostajući u okvirima naponsko-regulacionog opsega generatora u iznosu $\pm 5\%$ Ugn. Takođe, u ovim okvirima naponsko-regulacionog opsega, utvrđena je mogućnost harmonizacije potpobuđenih režima rada generatora u TE Kolubara B, saglasno potrebama koje bi nametalo obezbeđenje povoljnih naponsko-reaktivnih prilika u minimalnim stanjima prenosne mreže Srbije. Dakle, ovo rešenje za prenosni odnos blok-transformatora omogućuje postojanje šireg manevarskog prostora za uspostavljanje potpobuđenih režima, što je svakako od posebnog praktičnog interesa.
- Za razliku od prethodnog slučaja TE Kolubara B, u kojoj su blok-transformatori već imali usvojenu fiksnu vrednost prenosnog odnosa (Ugn/410 kV/kV), u slučaju TE N.Tesla B3, bilo je potrebno da se za taj važan parametar nađe najracionalnije rešenje, kao i da se utvrdi da li je potrebna regulacija (u praznom hodu, ili pod opterećenjem) blok-transformatora. Dakle, u pitanju je bio kompleksniji problem od prethodno rešavanog, jer je bilo neophodno da se simultano izvrši izbor najpovoljnijih rešenja za nominalni faktor snage generatora u TE N. Tesla B3 i karakteristika njegovog blok-transformatora.
- Rezultati analiza maksimalnih stanja omogućili su konstataciju da je najpovoljnija vrednost za nominalni faktor snage generatora u TE N.Tesla B3 u iznosu 0.85. Pri toj vrednosti, ostvaruje se visoka proizvodnja reaktivne snage, uz prisustvo odgovarajuće rezerve, čije aktiviranje, kako je to već bilo istaknuto, može da bude od dragocene, a često i od presudne pomoći u eliminaciji eventualne pojave naponske nestabilnosti, koja bi dovela do kolapsa napona.
- Rezultati sprovedenih analiza niza karakterističnih maksimalnih, a zatim i takvih minimalnih stanja, omogućili su konstataciju da je najpovoljnije rešenje za blok-transformator u TE N.Tesla B3 fiksna vrednost njegovog prenosnog odnosa u iznosu Ugn/410 kV/kV. Ta vrednost, u najvećem broju razmatranih stanja, obezbeđuje plasman značajnog dela raspoložive reaktivne snage, uz zadržavanje dragocene rezerve. Takođe, ostajući u okvirima raspoloživog naponsko-regulacionog opsega generatora u TE N.Tesla B3 u iznosu $\pm 5\%$ Ugn, omogućeno je postojanje šireg manevarskog prostora za uspostavljanje potpobuđenih režima rada, saglasno potrebama koja bi nametala minimalna stanja EES-a Srbije.
- Što se tiče vrednosti napona kratkog spoja blok-transformatora u TE N.Tesla B3 poželjno je da ona bude što niža (ili u okviru svojih prirodnih, odnosno tipičnih vrednosti), ali da to ne bude praćeno nesrazmerno višom cenom blok-transformatora.
- Na taj način, generalno gledano, za razmatrani vremenski horizont do 2025. godine, ne postavljaju se neki specijalni zahtevi od strane EES-a Srbije u pogledu razmatranih parametara turbogeneratora u TE Kolubara B i TE N.Tesla B3, u kontekstu naponsko-reaktivnih prilika. Glavni razlog za prethodno rečeno je povezivanje sa glavnim delom UCTE mreže, koje je uspešno

obavljeno 10. oktobra 2004. godine, čime je dobijen i niz veoma korisnih efekata za EES Srbije. Naravno, tome su u odgovarajućoj meri doprineli i ugrađeni 200 Mvar na niskom naponu, kao i aktiviranih oko 80 Mvar. Ti razlozi su još ubedljiviji u analiziranim maksimalnim stanjima koja se očekuju 2015. godine, ne samo zbog ugradnje dodatnih, novih 200 Mvar (170 Mvar na niskom i 30 Mvar na srednjem naponu), već i zbog daljeg razvoja prenosne mreže Srbije i uvođenja njenih novih elemenata, koji je (razvoj), između ostalog, utvrđivan i utvrđen uz striktno poštovanje osnovnog kriterijuma sigurnosti ($n-1$).

- Primenom računarskog programa **STATSTAB** obavljene su analize statičke stabilnosti EES-a Srbije, sa njegovim širokim okruženjem. Obuhvaćena su maksimalna i minimalna stanja prenosne mreže Srbije, koja se očekuju 2010, 2015. i 2020. godine. Dobijeni karakteristični rezultati analiza, koji su bili dati u petoj glavi Studije [1] (posredstvom četrnaest dijagrama), ukazuju na izrazito stabilno ponašanje (u statičkom smislu) razmatranih turbogeneratorskih u TE Kolubara B i TE N.Tesla B3, kao i ostalih generatora u EES Srbije, za razmatrani »mali poremećaj« (simultano povećanje ukupnog konzuma u EES Srbije za 10%).
- Rezultati analiza statičke stabilnosti, koji uključuju i rezultate analiza osetljivosti na varijacije odnosa kratkog spoja, odnosno zasićene vrednosti sinhronne reaktanse po podužnoj osi, ukazuju da je i u uslovima šireg opsega vrednosti ovih parametara (0.67-0.33, odnosno 1.5-3.0 r.j), koji se susreće u praksi, obezbeđena potrebna rezerva statičke stabilnosti. To praktično znači da je kod razmatranih turbogeneratorskih u TE Kolubara B i TE N.Tesla B3 omogućen izbor prirodnih, odnosno tipičnih (konstrukcionih) vrednosti, za ove parametre, koje su i najekonomičnije rešenje.
- Primenom računarskog programa **DINST** obavljene su veoma obimne analize tranzijentne stabilnosti EES-a Srbije, u njegovom širokom okruženju, kada su predmet posebne pažnje bili agregati u TE Kolubara B i TE N.Tesla B3. To je urađeno za maksimalna i minimalna stanja prenosne mreže Srbije koja se očekuju 2015, 2020. i 2025. godine, za karakteristične poremećaje po vrsti, mestu i trajanju. U okviru ovoga, vršene su analize osetljivosti kritičnog vremena isključenja tropskog kratkog

spoja (3PKS) na početku relevantnih dalekovoda 400 kV, na varijacije vremenske konstante inercije T_i i tranzijentne reaktanse x_d' razmatranih agregata. Vremenska konstanta inercije agregata i tranzijentna reaktansa varirane su u širokom opsegu (od 4 s do 10 s, odnosno od 0.20 do 0.50).

- Karakteristični rezultati ovih analiza, prikazani u šestoj glavi Studije [1] (posredstvom četiri tabele i četrdeset šest dijagrama), na jedan pregledan način govore o karakteru i osobinama razmatranih tranzijentnih prelaznih stanja. Pre svega, to se odnosi na dobijene vrednosti za kritično vreme isključenja najtežeg kvara (3PKS), koji na razmatranom naponskom nivou (400 kV) ima veoma malu verovatnoću nastanka.
- Poredeći dobijene vrednosti za kritično vreme isključenja 3PKS, sa vrednostima vremena reagovanja postojeće distantne zaštite na dalekovodima 400 kV i vremena dejstva prekidača (te vrednosti u zbiru ne prelaze 0.10 s, a najčešće se kreću oko 0.08 s), zaključuje se da će novi turboagregati u TE Kolubara B i TE N.Tesla B3, sa uobičajenim »prirodnim« vrednostima za relevantne parametre, posedovati zadovoljavajući nivo rezerve tranzijentne stabilnosti.
- Taj zaključak je utemeljen rezultatima analizama osetljivosti vrednosti kritičnog vremena isključenja 3PKS, na varijacije vremenske konstante inercije agregata (T_i), u širokom opsegu od 4 do 10 s i varijacije tranzijentne reaktanse u podužnoj osi (x_d'), takođe u širokom opsegu od 0.2 do 0.50 r.j. Ti rezultati ukazuju da uslovi obezbeđenja potrebne rezerve tranzijentne stabilnosti ne unose neke posebne zahteve u pogledu njihovog izbora. Time je omogućen, kao i u slučaju odnosa kratkog spoja (K_c), izbor ekonomičnih rešenja, odnosno »prirodnih« ili uobičajenih vrednosti za ove parametre.
- Dalje, dobijeni rezultati omogućuju izbor savremenih statičkih poluprovodničkih (tiristorskih) samopobudnih sistema za generatore u TE Kolubara B i TE N.Tesla B3. Ti sistemi su praktično bezinercioni, a karakteriše ih ekonomičnost, visoka pouzdanost u radu i jednostavnost. Ujedno, dobijeni rezultati analiza tranzijentne stabilnosti opravdavaju izbor jednostavnog elektronskog regulatora pobude, čija se regulaciona greška u osnovi formira na bazi otklona napona na krajevima generatora (»proporcionalna«

regulacija), a takođe, dobijeni rezultati ne uslovljavaju posebno ekstremne vrednosti za stepen forsiranja, odnosno »plafonsku« vrednost napona pobude razmatranih turbogeneratorskih (ne veće od 2).

- Naredna tabela na kondezovani i sistematizovani način prikazuje rešenja do kojih je došla Studija [1].
- Prethodno pomenuti parametri i karakteristike (nominalni faktor snage, prenosni odnos blok-transformatora, odnos kratkog spoja, tranzijentna reaktansa, vremenska konstanta inercije, pobudni sistem i sistem njegove regulacije) spadaju u dominantnu grupu parametara i karakteristika, za koju se vezuju različiti zahtevi EES-a u statičkom i dinamičkom smislu. Ostali parametri generatora (na primer, preostale reaktanse, niz vremenskih konstanti elektromagnetne inercije i dr.) nemaju takav dominantan značaj (tzv. sistemski). Po pravilu, u dosadašnjoj praksi, operisalo se sa njihovim prirodnim, odnosno uobičajenim vrednostima, odnosno utvrđivali su se efekti tih vrednosti, u kontekstu analiza različitih vrsta prelaznih stanja sinhronih mašina i EES-a u kome se one nalaze.
- Na kraju, potrebno je da se naglasi da utvrđeni opseg osnovnih elektromehaničkih parametara (praktično je reč o mogućnosti izbora najekonomičnijih rešenja, odnosno izbora uobičajenih, »prirodnih« vrednosti), obezbeđuje realizaciju povoljnih statičkih i dinamičkih performansi razmatranih novih termoagregata u TE Kolubara B i TE N.Tesla B3, što je na liniji obezbeđenja visokog stepena sigurnosti i ekonomičnosti pogona, kako samih agregata, tako i EES-a Srbije, u kome oni neposredno participiraju. To se eksplicitno zahteva u postojećim Pravilima o radu prenosnog sistema, koje je donela Elektromreža Srbije [14], a koji obavezuju korisnika prenosnog sistema da obezbedi izradu studije stabilnosti za svoju generatorsku jedinicu pre njenog priključenja na prenosni sistem.

Literatura

- [1] »Studija stabilnosti rada i izbor opsega najpovoljnijih vrednosti parametara i karakteristika turboagregata i blok-transformatora u TE Kolubara B i TE Nikola Tesla B3«, Institut »Nikola Tesla«,

- Beograd, 2008.
- [2] Popović D.P., "Jedna metoda upravljanja tokovima reaktivnih snaga u normalnim i havarijskim stanjima elektroenergetskih interkonekcija", časopis "Elektroprivreda", br. 1, 2006., str. 7 - 24
- [3] Popović D.P., Stojković M., "Jedan prilaz rešavanju naponsko-reaktivne problematike u prenosnim mrežama", 13 Simpozijum - Upravljanje i telekomunikacije u EES, Tara, 29 maj - 02 jun, 2006, referat C2 I 02
- [4] Popović D.P., Stojković M., "Računarski program za utvrđivanje lokacije i snage uređaja za kompenzaciju reaktivne snage", Međunarodni naučno-stručni simpozijum INFOTEH-Jahorina, 22-24 mart, 2006, referat D-1.
- [5] Popović D.P., "Dinamička sigurnost elektroenergetskih interkonekcija", monografija, Institut "Nikola Tesla", Beograd, ISBN 978-86-83349-07-4, jun 2008. godine, str.255.
- [6] Popović D.P., "An Efficient Network Solution Method in Transient Stability Studies of Power Systems", Inter. Confer. "Signals & Systems", Brighton (UK), July 12-14, 1989.
- [7] "Studija dugoročnog razvoja prenosne mreže 400 kV, 220 kV i 110 kV na području Republike Srbije, za period do 2025. godine", Institut "Nikola Tesla", Beograd, 2007.
- [8] Mrđa S., Minić S., Ivanović M., Kecman D., "Perspektiva mreže 220 kV u EES Srbije u periodu do 2025. godine", časopis "Elektroprivreda", br.4, 2007., str.80-89.
- [9] "Planiranje izvora reaktivne snage u prenosnoj mreži EES Srbije - II faza" - finalna verzija, Institut "Nikola Tesla", Beograd, 2007.
- [10] Popović D.P., Stojković M., Minić S., Mrđa S., Janjić T., "Aktuelna i perspektivna naponsko-reaktivna stanja prenosne mreže Srbije", časopis "Elektroprivreda", br.4, 2007., str.90-98.
- [11] "Izbor načina smanjenja reaktivnog opterećenja u elektrodistributivnoj mreži za 200 Mvar", Institut "Nikola Tesla", Beograd, 2005.
- [12] "Izbor optimalnog načina smanjenja reaktivnog opterećenja s gledišta prenosne mreže po TS 110/X kV u mreži EMS-a, u ukupnom iznosu od dodatnih 200 Mvar (170 Mvar na niskom naponu i 30 Mvar na srednjem naponu)", Institut "Nikola

dr Mirko Ivković, viši naučni saradnik

JP PEU - Resavica

UDC: 622.272 : 622.807

Preventivne mere zaštite od opasne ugljene prašine u rudnicima uglja sa podzemnom eksploatacijom

Rezime

Ugljena prašina u rudnicima sa podzemnom eksploatacijom zavisno od svojih specifičnosti svojstava predstavlja složen problem sa stanovišta sigurnosti s obzirom da može iskazivati eksplozivna, zapaljiva i agresivna svojstva, odnosno ugrožavati zaposlene i materijalna sredstva. Adekvatno tome moraju se preduzeti odgovarajuće mere zaštite.

Ključne reči: podzemna eksploatacija, ugalj, ugljena prašina.

Preventive Measures Against Dangerous Coal Dust in Underground Exploitation Collieries

The coal dust in collieries is a complex problem depending on its specific characteristics, particularly from the safety point of view, because it may have explosive, combustible and aggressive characteristics or it can imperil the employees and the equipment. In view of this, the adequate protective measures are to be taken accordingly.

Key words: underground exploitation, coal, coal dust.

Uvod

Prašina u rudnicima uglja sa podzemnom eksploatacijom predstavlja izvor ne samo eksplozivne ugroženosti, već i drugih opasnosti. Ona je sklona ka procesu zapaljenja i čest je uzrok požara većih razmera, a utvrđeno je njeno štetno delovanje na ljudski organizam izazivanjem oboljenja pluća.

Do eksplozije ugljene prašine, koja po svojim prirodnim svojstvima poseduje eksplozivna svojstva dolazi u slučajevima kada se u određenom vremenu podudara više faktora:

- uskovitlano stanje prašine sa odgovarajućim disperznim sastavom,
- smeša prašine i vazduha u odgovarajućoj razmeri,
- izvor paljenja smeše prašina - vazduh, prašina - vazduh - metan.

Uslova za stvaranje ugljene prašine u rudnicima uglja, ima praktično svuda, a takođe široke su mogućnosti njenog

uzviltavanja, te se moraju eliminisati izvori paljenja.

Za eliminisanje opasnih svojstava ugljene prašine neophodno je preduzimati niz preventivnih mera, a koje se grupišu na sledeće:

- mere kojima se sprečava stvaranje i taloženje prašine,
- mere kojima se onemogućava paljenje prašine,
- mere kojima se ograničava eksplozija prašine ukoliko do nje dođe.

U ovom radu obrađuju se preventivne mere zaštite od opasnih svojstava ugljene prašine koje je potrebno sprovesti u rudnicima uglja sa podzemnom eksploatacijom u Republici Srbiji.

Svojstva ugljene prašine u rudnicima uglja JP za PEU

U rudnicima uglja JP za PEU vrši se eksploatacija kamenog uglja, mrkog uglja i lignita. Sada je aktivno osam

energija

rudnika sa 11 podzemnih proizvodnih jama i dve jame u kojima se ne vrši otkopavanje ugljenih slojeva („Jelovac” i „Tadenje”).

Prisutni prirodno-geološki uslovi koji determinišu uslove eksploatacije smatraju se složenim tako da se danas u svim jamama primenjuju klasične stubne metode otkopavanja, u različitim varijantama kod kojih su radne faze polumehanizovane, a i proizvodni efekti različiti usled raznolikosti uslova eksploatacije. Izrada rudarskih prostorija vrši se klasičnim sistemom bušačkominerskih radova dok je transport iskopine kombinovan: sistemima grabuljastih i trakastih transportera, a kod pojedinih jama prisutan je i lokomotivski transport.

Kod svih ovih radnih faza i operacija prisutno je znatno izdvajanje ugljene prašine, što iziskuje primenu mera zaštite od opasnih svojstava ugljene prašine.

Kompletna ispitivanja eksplozivnih svojstva ugljene prašine obuhvataju četiri grupe eksperimentalnih postupaka. Prvu grupu čine laboratorijska ispitivanja hemijskih karakteristika: sadržaj isparljivih materija, sadržaj pepela, sadržaj vlage, sadržaj karbonata i određivanje tačke švelovanja.

Drugu grupu čine ispitivanja fizičkih svojstava prašine: disperzivni sastav, zapremenska masa, specifična površina čestica i sposobnost provođenja toplote.

Treću grupu ispitivanja predstavljaju eksperimenti stvaranja eksplozivnih smeša i praćenje toka eksplozije u laboratorijskim uređajima, dok četvrtu grupu čine eksperimenti eksplozije u opitnom rovu.

Sadržaj isparljivih materija u ugljenoj prašini, propisima raznih zemalja različito se tretira. Neki postavljaju granicu na 10, 12 ili 14% s tim što se prašine sa većim sadržajem eksplozivno opasnije. Prašine sa preko 70% pepela ili preko 60% vlage smatraju se eksplozivno bezopasnim. Prašina koja sadrži karbonate pokazuje manje eksplozivna svojstva zbog uticaja ugljendioksida koji deluje interno.

Prašina koja ima svojstva da širi plamen, ali bez dinamičkih efekata, smatra se lako zapaljivom, ali neeksplozivnom. Kao eksplozivna smatra se prašina kod koje se širenje plamena odvija uz izražene dinamičke efekte.

Sklonost prašine zapaljenju ocenjuje se na osnovu sledećih pokazatelja: dužina na kojoj se plamen širi, brzina širenja plamena, količina internih primesa čijim dodavanjem prašina postaje nezapaljiva. Stepem eksplozivnosti prašine utvrđuje se na osnovu: veličine pritiska na mestu eksplozije, donje granice eksplozivnosti, odnosno sadržajne prašine (g/m^3) pri kojoj nastaje eksplozija i koncentracija prašine (g/m^3) pri kojoj nastaje najveći pritisak.

Izvršenim ispitivanjima eksplozivnih i zapaljivih svojstava ugljene prašine u jamama rudnika JP za PEU utvrđeno je da pod određenim uslovima ugljena prašina u svim jamama, izuzev jame „Avramica” rudnika „Vrška Čuka” pokazuje eksplozivna i zapaljiva svojstva.

Rezultati izvršenih ispitivanja prikazani su u *tabeli 1*.

Preventivne mere zaštite od ugljene prašine

Osnovnu meru zaštite od opasne ugljene prašine predstavlja preventivno sprečavanje stvaranja prašine i svodi se uglavnom na primenu vode, tj. kvašenje kako ugljenog sloja, tako i vazduha.

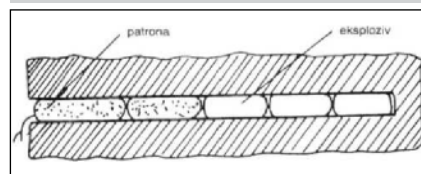
Natapanje ugljenog sloja vodom vrši se pomoću posebnih bušotina u koje se cevima ubrizgava voda pomoću injektora pod pritiskom. Bušotine su obično prečnika 40 - 45 mm, dužine 2 - 2,5 m, a buše se na rastojanju 5-6 m. Jedan od načina sprečavanja stvaranja ugljene prašine prilikom miniranja je začepeljivanje minskih bušotina pomoću vodenih čepova (*slika 1*). Umesto glinenog čepa upotrebljava se vodeni čep, napunjen čistom vodom ili sa dodatkom kuhinjske soli, kalcijumhlorida ili nekom drugom tekućinom.

Pošto vlaga u uglju zbog povećane temperature brzo isparava, to se kod mašina za rezanje uglja, utovar, transport i bušenje ugrađuju priključci za vodu kojom se vrši obaranje prašine.

Tabela 1 Eksplozivna i zapaljiva svojstva ugljene prašine

RUDNIK - JAMA	Donja granica eksplozivnosti (g/m^3)		Temperatura zapaljenja ($^{\circ}\text{C}$)
	sa CH_4	bez CH_4	
Vrška Čuka – "Avramica"	interna	-	-
Ibarski – "Jarando"	70 – 110	220 – 470	630 – 700
"Ušće"	-	270	-
"Tadenje"	-	270	-
Rembas – "Senjski rudnik"	-	220 – 320	260 – 290
"Pasuljanske livade"	-	100 – 275	75 – 240
"Strmosten"	180 – 280	320 – 380	280 – 290
"Jelovac"	230 – 310	300 – 420	270 – 280
Bogovina – "Istočno polje"	-	140	-
Soko – "Soko"	230	445	600 – 670
Jasenovac – "Jasenovac"	-	80	285
Lubnica – "Stara jama"	-	110 – 300	220 – 250
Štavalja – "Štavalj"	-	-	220 – 280

Slika 1 Šematski prikaz vodenog čepa u minskoj bušotini

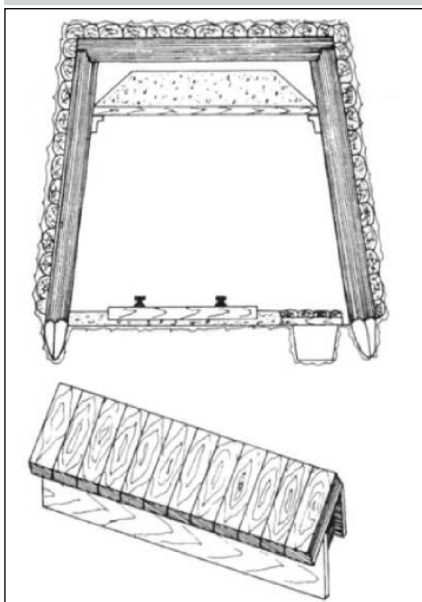


Ako se u rudarskim prostorijama, po obimu i podini taloži ugljena prašina, ista se redovno kvasi vodom i odstranjuje. Za ovaj postupak neophodno je u jami imati instalisanu hidrantsku mrežu sa priključcima.

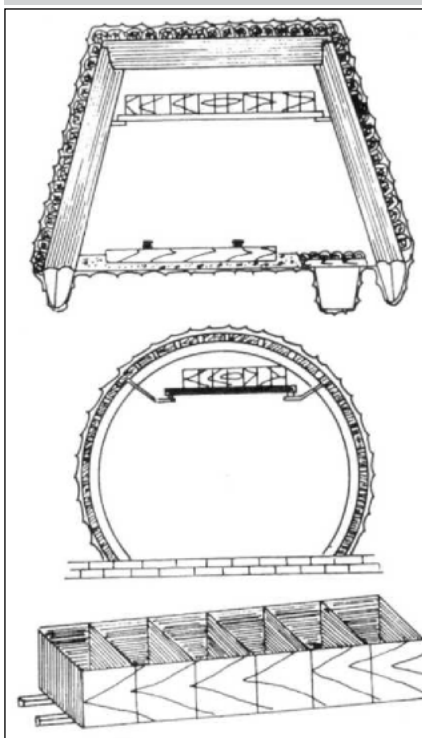
U pojedinim slučajevima primenjuje se postupak inertizacije zaprašivanja kamenom prašinom određenog sastava. Kod mesta sa posebno intenzivnim izdvajanjem prašine konstruisani su specijalni otprašivači na principu usisavanja.

Sprečavanje izvora paljenja, u prvom redu odnosi se na strogo sprovođenje propisanih mera sigurnosti. Izvori paljenja ugljene prašine mogu biti direktni (otvoreni plamen, električni

Slika 2 Šematski prikaz protiveksplozivne brane sa kamenom prašinom



Slika 3 Šematski prikaz protiveksplozivne brane sa vodom



luk i električna eksplozivna svojstva i ukoliko nisu preduzimate dovoljno efikasne preventivne mere.

Otvoreni plamen i električne varnice dovode do paljenja smeše prašina - vazduh, pa se zbog toga preduzimaju mere da do njih ne dođe, čime međutim ovi izvori nisu u potpunosti isključeni kao potencijalni uzroci nastanka požara.

Ako je koncentracija uzvitrane prašine mala, eksplozija se može izazvati usijanim provodnikom. Kod visokih

koncentracija eksploziju izaziva varnica indukcionog kalema. Ovo pod uslovom da postoji oblak prašine odgovarajuće koncentracije i određeno vreme dejstva ove vrste izvora paljenja.

Miniranje se u rudarskoj praksi do sad pokazalo kao najčešći uzrok eksplozije ugljene prašine, jer se u tom slučaju mogu ostvariti istovremeno oba potrebna uslova: uzvitrana prašina i izvor paljenja, koji ima i dovoljno visoku temperaturu i dovoljno dug indukcionni period.

Eksplozija metana je takođe čest uzrok eksplozije ugljene prašine tako da ova dva procesa obično prate jedan drugog ukoliko ugljena prašina poseduje eksplozivna svojstva i ukoliko nisu preduzimate dovoljno efikasne preventivne mere.

Isto tako, kao izvor paljenja pojavljuje se zapaljenje varnica izazvano trenjem materijala.

U borbi sa ugljenom prašinom propisima je regulisana zabrana unošenja otvorenog plamena u jamske objekte i naloženo izvođenje električnih instalacija i upotrebe elektro opreme u sigurnosnoj izvedbi. U uslovima eksplozivne ugljene prašine miniranje se vrši uz primenu metanskih eksplozivnih sredstava i strogo pridržavanje propisanih mera zaštite pri radovima miniranja.

Osnovne preventivne mere u jamama sa opasnom ugljenom prašinom treba da bude usmerena na sprečavanju stvaranja opasne smeše ugljene prašine i vazduha, samim tim i potencijalnih opasnosti od eksplozije i njeno svodenje na što manji prostor.

Ograničavanje prenošenja eksplozije na što uži prostor, postiže se na taj način što se na određenim mestima u jami postavljaju brane koje imaju za cilj da spreče prenošenje plamena na širi prostor jamskih prostorija (slike 2. i 3).

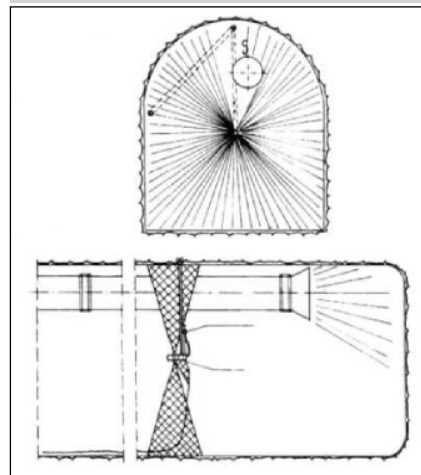
Jedan od načina ograničavanja prenošenja eksplozije je pomoću vode, kojom se stavljaju mo kre zone koje, ukoliko dođe do eksplozije, imaju za cilj da ugase plamen.

Stvaranje mokre zone postiže se pomoću vodenih zavesa, koje se postavljaju u smeru kretanja vazdušne struje, tako da se vodena magla raspršu je po celom profilu jamske prostorije. Za stvaranje vodene zavese upotrebljavaju se lepezaste mlaznice, čija konstrukcija omogućava da mlazevi vode u vidu magle pokrivaju čitav profil jamske prostorije (slika 4).

Zaključak

Problematici preduzimanja preventivnih mera zaštite od opasnih svojstava ugljene prašine mora se posvetiti dužna pažnja, s obzirom ugljena prašina predstavlja vid kolektivnog ugrožavanja

Slika 4 Šematski prikaz vodene zavese



zaposlenih u podzemnim proizvodnim objektima.

U jamama JP za PEU utvrđeno je da je ugljena prašina u svim jamama, izuzev jame „Avramica” RA „Vrška Čuka” eksplozivno opasna i zapaljiva, a što podrazumeva neophodnost preduzimanja mera zaštite, i to:

- smanjenje izvora upale;
- neutralisanje izdvojene prašine natapanjem vodom ili posipanjem kamenom prašinom;
- ugradnja glavnih i pomoćnih protiveksplozivnih brana za sprečavanje širenja eventualno nastale eksplozije;
- sprovođenje redovne kontrole i merenja izdvajanja i taloženje ugljene prašine.

Literatura

- [1] A. Ćurčić, *Industrijska prašina kao potencijalni izvori opasnosti od eksplozije*, Zbornik savetovanja „Požari i eksplozije”, Budva 1987.
- [2] M. Stjepanović: *Stanje sigurnosti i tehnička zaštita u rudnicima sa podzemnom eksploatacijom uglja u Srbiji*, Časopis Rudarski radovi br. 1/2001, Resavica 2001.
- [3] M. Miljković, M. Ignjatović: *Analiza opasnosti i procena rizika od udesa u životnoj sredini u rudnicima sa podzemnom eksploatacijom*, Časopis Rudarski radovi br. 2/2001, Resavica 2001.
- [4] M. Ostojčić: *Karakteristike ugljene prašine i parametri zapaljivosti i eksplozivnosti u rudnicima JP PEU*, Časopis Rudarski radovi br. 2/2001, Resavica 2001.
- [5] M. Ignjatović: *Restruktuiranje podzemne eksploatacije uglja u Srbiji*, Časopis Rudarski radovi br. 2/2002, Resavica 2002.

BAT tehnologije za smanjenje emisije u vazduhu iz termoelektrana

Rezime

Polazeći od IPPC direktive (96/61/EZ), korišćenjem tehnika smanjenja emisije zagađujućih materija iz termoelektrana u vazduh, koje se mogu smatrati „najboljim raspoloživim tehnikama“ (Best Available Techniques - BAT), značajnije se smanjuju emisije, čime se stvaraju pretpostavke i za ostvarivanje određenih preuzetih, ali i očekivanih međunarodnih obaveza koje će BiH imati u narednom periodu. Same BAT tehnike razlikuju se u zavisnosti od veličine uređaja za loženje, njegovom opterećenju tokom godine (broj sati rada) i karakteristikama goriva koje se sagorijeva. Osnovna podjela odgovarajućih tehnologija prema zagađujućoj materiji, čiju emisiju smanjuju, je na tehnologije za smanjivanje emisije SO_2 , NO_x i čestica prašine, s tim da se u zadnjih nekoliko godina sve više govori i o tehnologijama za smanjivanje emisije CO_2 . Ove tehnologije, prema njihovoj lokaciji za smještaj dijele se na tehnologije primijenjene prije procesa sagorijevanja, na mjestu sagorijevanja, kao i nakon procesa sagorijevanja. Zahtjevi koje je neophodno realizovati primjenom BAT tehnika, definiše se u formi ostvarivanja niskog nivoa emisije ciljane zagađujuće materije u vazduhu, uz ostvarenu nisku potrošnju energije, pozitivan uticaj na emisije drugih zagađujućih materija u vazduh, stvaranje korisnih i upotrebljivih nus proizvoda, izostanak problema sa otpadnim vodama i zbrinjavanjem novonastalog otpada. Takođe, BAT tehnika koja se želi primijeniti kod novih postrojenja mora biti komercijalno dostupna i potvrđena u praksi, kao i podesiva s obzirom na veličinu uređaja za loženje i vrstu goriva. U okviru rada se daje pregled BAT tehnologija za smanjenje emisija u vazduh iz termoelektrana, sa posebnim osvrtom na postojeće i planirane termoelektrane u Republici Srpskoj.

Ključne riječi: termoelektrane, BAT tehnologije, zaštita životne sredine, optimizacija

BAT Technologies for Reduction of Emissions from Thermal Power Plants Into the Air Brief resume of the Work

Starting from IPPC Directive (96/61/EZ), emissions are being significantly reduced by using techniques for reduction of polluting substances emissions from thermal power plants into the air, which can be considered the „Best Available Techniques – BAT“, and this will create conditions for realization of certain undertaken, and expected international obligations that B&H will have to meet in the future period. The BATs are different depending on the size of burning device, its loading during a year (number of working hours) and characteristics of the combusted fuels. According to polluting substance which emission they reduce, the basic division of certain technologies is into the technologies for reduction of emissions of SO_2 , NO_x and dust particles; and in the last few years the technologies for CO_2 emission reduction are being mentioned more often. According to their accommodation location, these technologies are divided into technologies applied before combustion process, during the combustion and after the combustion process. The request that has to be realized by application of the BAT, is defined in the form of realization of low level of emission of the aimed polluting substance in the air, with low energy consumption, positive impact on emissions of other polluting substances in the air, creation of useful and usable by-products, absence of problems with waste water and new waste. The BAT that wants to be applied in new plants has to be commercially available and confirmed in practice, as well as adjustable with regard to the size of a burning device and type of fuel. This Work also gives a summary of BATs for reduction of emissions into the air from thermal power plants, with special attention paid to the existing and planned thermal power plants in Republic of Srpska.

Key words: thermal power plants, BAT technologies, environment protection, optimization

1. Uvod

Materije koje zagađuju vazduh iz termoelektrana su prije svega sumpor oksidi (SO_2), azotni oksidi (NO_x) i zaostale čestice materija (prašina). Kroz dimnjake termoenergetskih postrojenja

(TEP), pri korišćenju čvrstog goriva, u atmosferu se izbacuju i leteći pepeo, čestice nedogorjelog ugljenog praha (leteći koks), gasoviti produkti nepotpunog sagorijevanja (ugljen-monoksid i sl.), ugljen-dioksid, sumpor-

dioksid, sumpor-trioksid i azotni oksidi, [1]. U slučaju kada se sagorijeva tečno gorivo (mazut), u atmosferu dospijevaju štetne materije, kao što su čađ, sumpor-dioksid, sumpor-trioksid, azotni oksidi, jedinjenja vanadijuma

i natrijumove soli. Pri sagorijevanju prirodnog gasa, kao najplemenitijeg goriva, u atmosferu kao štetne materije dospjevaju samo azotni oksidi, za slučaj kada je on oslobođen prisustva vodonik-sulfida H_2S . Dospjele štetne materije u atmosferu, pri određenim koncentracijama postaju štetne po ljude, biljni i životinjski svijet, uz povećanje intenziteta habanja mehanizama, intenzifikaciju procesa korozije metala i nagrizanje konstrukcija okolnih zgrada i objekata. Propisima o zaštiti životne sredine definisane su dozvoljene vrijednosti koncentracija štetnih materija, odnosno, definisane su granične vrijednosti dozvoljenih koncentracija štetnih materija koje na čovjeka nemaju direktni ili posredni štetni ili neprijatni uticaj, ne smanjujući mu pri tome radnu sposobnost i ne utičući negativno na njegovo raspoloženje. Pod posrednim uticajem podrazumijeva se uticaj škodljivih materija na mikroklimu i pripadajuću floru i faunu.

S druge strane, kako u izlaznim gasovima iz termoelektrane ima istovremeno i sumpordioksida i azotnih oksida, neophodno je posmatrati i njihov kombinovani uticaj (posmatran sa stanovišta uticaja obje komponente). U cilju zaštite životne sredine od emisije štetnih materija, neophodno je preduzeti sve mjere za njihovo smanjenje, kroz prečišćavanje dimnih gasova od letećeg pepela i nesagorjelih čestica (otprašivanje), smanjenje emisije sumpornih oksida i smanjenje emisije azotnih oksida. Pri izboru lokacije TEP, radi zaštite naselja od štetnih materija, neophodno je obezbijediti njihovo odvajanje od naseljenih oblasti zaštitnim zonama površine proporcionalne količini štetnih materija, s ciljem obezbjeđenja njihove koncentracije u atmosferi koja ne prelazi graničnu dozvoljenu vrijednost. Dodatno opterećenje, koje se može pojaviti pri projektovanju TEP u oblasti sa razvijenom industrijom ili sa velikim gradovima, gdje već postoji

koncentracija štetnih materija bliska graničnim dozvoljenim vrijednostima. U tom slučaju, potrebno je težiti rješavanju pitanja zamjenljivosti više tačkastih izvora, koji su najčešće bez adekvatnih uređaja za prečišćavanje gasova, sa jednim većim koji ima savršeniju energetska opremu, efikasno prečišćavanje dimnih gasova, a najčešće i dimnjake relativno velikih visina. Direktiva Europske unije o integralnom pristupu kontroli i prevenciji onečišćenja (*IPPC Directive Integrated pollution prevention and control*) ima cilj smanjenje i trajno nadziranje mogućeg zagađenja kroz aktivnosti koje imaju za cilj njihovo sprečavanje ili smanjenje štetnih emisija u životnu sredinu, uključujući mjere koje se odnose na otpad, a sve u cilju ostvarenja visokog nivoa zaštite životne sredine kao cjeline. Prihvatanjem IPPC Direktive u EU legislativu je uveden pojam BAT (*Best available technique*), koja podrazumijeva primjenu najbolje raspoložive tehnologije. Direktiva ovaj pojam definiše nizom karakteristika, koje obuhvataju i uslov da su tehnologije održive u ekonomskom i tehničkom smislu, kao i 12 uvlova koji se moraju uzeti u obzir pri određivanju BAT-a. BAT su navedene u dokumentu BREF (*BAT Reference Document*) koji je pripremila EU komisija.

2. Koncentracija emisije materija koje zagađuju vazduh

Tabela 1 prikazuje razne materije koje zagađuju vazduh i koncentracije emisija, koje se ispuštaju iz postojeće termoelektrane. Štaviše, tabela 1 prikazuje trenutni status emisije materija koje zagađuju vazduh u poređenju sa dozvoljenim koncentracijama prema raznim standardima, koji omogućuju lako poređenje (BiH, Svjetska banka i evropska zajednica - EU).

2.1. Ekološke mjere s obzirom na materije koje zagađuju vazduh

S ciljem da se smanje materije koje zagađuju vazduh, postoji grupa

primarnih metoda, koja obuhvata promjenu korištenog goriva (promjena na ugalj sa manje sumpora, azota i sadržajem pepela), kao i metode koje podrazumijevaju instalisanje opreme sistema za denitrogenizaciju (DeNOx), sistema ODG i visoko efikasnog elektrostatičkog filtera (EP). Tabela 2 prikazuje mjere za svaku od materija koja zagađuje sredinu.

3. Tehnologije za smanjenje emisija u vazduh iz termoenergetskih postrojenja

Koncept integrisanog sprečavanja i kontrole zagađenja životne sredine uvodi mehanizme stalnog poboljšavanja kvaliteta životne sredine kroz adekvatnu primjenu najbolje dostupnih tehnika (BAT), s ciljem obezbjeđenja standarda kvaliteta. Zakon o zaštiti životne sredine u Republici Srpskoj propisuje procedure po kojima nadležni organ (lokalna zajednica ili republičko ministarstvo) izdaje ekološku saglasnost za sve postojeće objekte, kao i nove objekte čija izgradnja se planira u energetskom sektoru. Ekološka saglasnost navodi uslove koji garantuju visok nivo zaštite životne sredine u cjelini.

Ti uslovi uključuju potpuno poštovanje za nove objekte ili postepeno prilagođavanje za postojeće objekte graničnih vrijednosti za emisiju zagađenja u vazduh, vodu i zemljište, uslove koji se odnose na generisanje otpada, mjere za sprečavanje akcidentnih situacija, smanjenje postojećeg zagađenja (uključujući i prekogranično zagađenje životne sredine), sprovođenje redovnog monitoringa, sanacija lokacija nakon prestanka rada takođe se prilažu uz dozvolu. Polazeći od IPPC direktive (96/61/EZ), korišćenjem tehnika smanjenja emisije zagađujućih materija iz termoelektrana u vazduh, koje se mogu smatrati „najboljim raspoloživim tehnikama“ (*Best Available Techniques - BAT*, [2, 3, 4]), značajnije se smanjuju emisije, čime se stvaraju pretpostavke i

Tabela 1 Koncentracija emisije materija koje zagađuju atmosferu, [8, 9]

Materije -zagađivači	Jedinica mjere	Aktuelni rezultati *1	Standardi		
			Bosna i Hercegovina	Svjetska banka *2	EU *5
SO ₂	mg/m ³ N	25.000	400	2.000 60 t/h*3	400
NO ₂	mg/m ³ N	600	650	750 *4 365 (ppm)	500
Prašina	mg/m ³ N	150	50		50

Legenda:

*1 - Svaki emisijski podatak je mjereno pri aktuelnim standardnim radnim uslovima; *2 - PPAH: Prezentacija zagađenja i priručnik smanjenja (grupa Svjetske banke od jula 1998. godine); *3 - $0,2 (t/dan) \times 300 (MW) = 60 (t/dan)$; *4 - Ako isparljive stvari prelaze 10 % ili više u termoelektrani na ugalj, granična vrijednost je $1.500 (mg/Nm^3)$; *5 - Direktiva 2001/80/EC evropskog parlamenta i odbora od 23. oktobra 2001. godine.

Tabela 2 Mjere u odnosu na razne materije koje zagađuju vazduh

Zagađivač vazduha	Glavne protivmjere
SO ₂	<ul style="list-style-type: none"> · Instalisanje sistema ODG · Korištenje goriva sa manje sumpora · Poboljšanje efikasnosti sistema
NO ₂	<ul style="list-style-type: none"> · Manji NO_x plamenik/gorionik · Korištenje goriva sa manje azota · Instalisanje opreme za uklanjanje NO_x · Poboljšanje efikasnosti sistema
Prašina	<ul style="list-style-type: none"> · Korištenje goriva sa manje pepela · Instalisanje visoko efikasnog taloženja prašine · Poboljšanje efikasnosti sistema
CO ₂	<ul style="list-style-type: none"> · Poboljšanje efikasnosti sistema

za ostvarivanje određenih preuzetih, ali i očekivanih međunarodnih obaveza koje će BiH imati u narednom periodu. Same BAT tehnike razlikuju se u zavisnosti od veličine uređaja za loženje, njegovom opterećenju tokom godine (broj sati rada) i karakteristikama goriva koje se sagorijeva. Osnovna podjela odgovarajućih tehnologija prema zagađujućoj materiji, čiju emisiju smanjuju, je na tehnologije za smanjivanje emisije SO₂, NO_x i čestica prašine, s tim da se u zadnjih nekoliko

godina sve više govori i o tehnologijama za smanjivanje emisije CO₂, *tabela 3*. Ove tehnologije, prema njihovoj lokaciji za smještaj dijele se na tehnologije primijenjene prije procesa sagorijevanja, na mjestu sagorijevanja, kao i nakon procesa sagorijevanja. Zahtjev koje je neophodno realizovati primjenom BAT tehnika, specificiranih u okviru *tabele 3*, definiše se u formi ostvarivanja niskog nivoa emisije ciljane zagađujuće materije u vazduhu, uz ostvarenu nisku potrošnju energije, pozitivan

uticaj na emisije drugih zagađujućih materija u vazduh, stvaranje korisnih i upotrebljivih nus proizvoda, izostanak problema sa otpadnim vodama i zbrinjavanjem novonastalog otpada. Takođe, BAT tehnika koja se želi primijeniti kod novih postrojenja mora biti komercijalno dostupna i potvrđena u praksi, kao i podesiva s obzirom na veličinu uređaja za loženje i vrstu goriva.

Polazeći od osnovnog načela Direktive, resorno ministarstvo zaduženo za ekologiju koje donosi propise i nadzire njihovo sprovođenje, kao i onaj koji ih sprovodi, sagledali su energetiku kao cjelinu i njen ukupni uticaj na životnu sredinu (vazduh, voda, zemljište), prije preduzimanja bilo kakvih tehnoloških mjera, koje su nužne da bi se postigla tražen nivo zaštite i ostvario potreban kvalitet. Cilj ekološko saglasnosti, kao dijela građevinske dozvole za gradnju, je da se potaknu preventivne mjere sprečavanja nastajanja otpada na izvoru, prvenstveno korištenjem mjera čistije proizvodnje i primjenom najboljih raspoloživih tehnologija (BAT). Otpad, čije se nastajanje nije moglo izbjeći, potrebno je reciklirati ili obraditi nekom od BAT tehnologija, s ciljem njegovog

Tabela 3 Lista tehnologija za smanjenje emisija u vazduh koje se danas mogu smatrati kao BAT za termoelektrane, [9]

Zagađujuća materija	Razmatrane BAT tehnike	Stepen odvajanja (%)		
		SO ₂	NO _x	Čestice
Sumpor dioksid (SO ₂)	Mokri postupak s krečom/krečnjakom	< 98		> 50
	Mokri postupak s amonijakom	90		
	Ispiranje morskom vodom	< 99		10-80
	Dvoalkalni mokri postupak	85-95		
	Mokri postupak s karbonatnom sodom	70-90		
	Suho ispiranje raspršivanjem	70-98		
	Suho ubrizgavanje u ložište	50-70		
	Wellman Lord postupak	90-98		
Dušikovi oksidi (NO _x)	Mokri postupak s MgO	90-98		
	Selektivna katalitička redukcija		< 95	
SO ₂ i NO _x (kombinovane tehnike)	Selektivna nekatalitička redukcija		oko 50 40-	
	Primarne mjere		60	
	Postupak s aktivnim ugljom	95	60-80	-
	WSASNOX postupak	95	95	-
	DESONOX postupak	95	95	-
	SOxNOxRoxBox postupak	90	90	99
	Postupak s elektronskim snopom	90	80	-
	Ubrizgavanje alkala	60-98	64-90	-
	Sagorijevanje u atmosferskom fluidiziranom sloju	90-97	200-400*	-
Sagorijevanje u pretlačnom fluidiziranom sloju	> 99	135-250*	-	
Čestice	Kombi proces s integrisanim rasplinjavanjem	99	90	-
	Mehanički odvajač			45-87
	Elektrostatski taložnik			> 97
	Vrećasti filter			> 97
	Mokro ispiranje			> 90

Napomena: *- koncentracije u dimnim gasovima, mg/m³

zbrinjavanja na ekološki prihvatljiv način. Direktiva i predložene BAT tehnologije također doprinose racionalnijem korištenju energije i štednji prirodnih resursa, uz smanjenje rizika od akcidentnih situacija. Nakon završetka životnog ciklusa postrojenja, primjena BAT tehnologija omogućava lakše dovođenje lokacije u prvobitno stanje. Za ovakav integralni, cjeloviti pristup treba osigurati analizu velikog broja pitanja vezanih za zaštitu okoliša značajnih za rad industrije i pažljivo definirati prioritete, uzimajući u obzir sveukupne troškova svake opcije za ovakve prilagodbe. Kod odabira BAT treba također imati na umu da cijena bude primjerena ekonomskim mogućnostima korisnika.

3.1. Tehnologije za smanjenje emisije SO₂

Pri sagorijevanju goriva, koje sadrži sumpor kao dominantan produkt njegove oksidacije, nastaje sumpor-dioksid SO₂, zatim sumpor-trioksid SO₃ (u količini od nekoliko procenata stvorenog SO₂), kao i drugi oksidi sumpra, koji nemaju neki veći značaj (pojavljuju se kao međuprodukti u reakcijama oksidacije), [1]. Imajući u vidu štetan uticaj sumpornih oksida na čovjeka, biljni i životinjski svijet, kao i na građevinske objekte i boje, od posebnog je interesa da se njihova emisija svede na prihvatljivu mjeru, a koja neće biti štetna. Postoji veliki broj tehnika za smanjenje emisija SO₂ u vazduh iz termoenergetskih postrojenja. Prva grupa postupaka zasnovana je na smanjenju emisije SO₂ kroz korišćenje goriva sa manjim sadržajem sumpora u gorivu (postupci za smanjenje sumpora u gorivu, „čišćenje“ goriva), druga grupa zasnovana je na primjeni savremenih tehnologija sagorijevanja (potrebna rekonstrukcija ili zamjena kotlovske agregata) i treća grupa, zasnovana na prečišćavanju dimnih gasova prije njihovog ispuštanja u atmosferu.

Sumpor dioksid (SO₂) se stvara u procesu sagorijevanja, vezivanjem sumpora u gorivu i kiseonika u vazduhu. U termoelektrani Ugljevik se koristi niskokalorični ugalj sa visokim sadržajem sumpora od oko 5,4 %. S

obzirom na visok nivo zagađivanja životne sredine sa SO₂, neophodno je sprovesti određene mjere, s ciljem poštovanja zakonom propisanih graničnih dozvoljenih normativa definisanih u tabeli 3. Kao osnovna mjera, nameće se zamjena goriva s nekim, koje sadrži manje sumpora, a u cilju smanjivanja koncentracije sumpor oksida u izduvnom gasu. Međutim, nabavka goriva sa manjim sadržajem sumpora (kao što je prirodni gas, dizel ili visokokvalitetni ugalj) je teško izvodljiva, s obzirom na raspoložive prirodne resurse i transportne troškove, kao i projektno rješenje kotla P-64 na RiTE Ugljevik. Zbog toga, projekat instalisanja sistema za ODG ostaje kao jedina alternativa za uspješno rješavanje ovog problema. Efikasnost odsumporavanja će biti u skladu sa emisijom standardima EU (98,4 %), s obzirom da Bosna i Hercegovina pretenduje da bude član EU. Tabela 4 pokazuje koncentraciju emisije sumpor oksida poslije instalisanja sistema ODG, [8].

3.2. Tehnologije za smanjenje emisije NO_x

Azotni oksidi koji najviše utiču na zagađenje životne sredine su azot-monoksid (NO) i azot-dioksid (NO₂), dok se ostali oksidi javljaju u relativno niskim koncentracijama, pa je i njihov uticaj zanemarljivog karaktera. U procesu sagorijevanja uglja, izdvajaju se tri mehanizma nastajanja azotnih oksida. Prvi mehanizam predstavlja reakciju azota i kiseonika iz vazduha pri sagorijevanju kod vrlo visokih temperatura, koje vladaju u zoni plamena, drugi mehanizam zasniva se na reakciji molekula azota iz vazduha i slobodnih radikala iz goriva u blizini same zone plamena, dok je treći mehanizam zasnovan na oksidaciji vazduha iz sastava goriva (70 do 80% od svih nastalih azotnih oksida NO_x). Prilikom sagorijevanja fosilnih goriva, oksidi azota (NO_x = NO i NO₂), koji se stvaraju uglavnom su u formi azotmonoksida (NO), čiji se manji dio (obično manje od 5%), oksidira tokom prolaza dimnih gasova od ložišta do ulaza u dimnjak u azot-dioksid (NO₂). Intenzivnija konverzija NO u NO₂ se dalje odvija u atmosferi,

na nižim temperaturama, uz prisustvo atmosferskog kiseonika. Azotni oksidi imaju štetno djelovanje na zdravlje ljudi, posebno na respiratorne organe, a imaju i ulogu kod stvaranja kancerogenih jedinjenja u ljudskom organizmu. Uticaj azotnih oksida na biljni svijet ogleđa se u usporavanju rasta i smanjenja prinosa, uz izazivanje vidljivih oštećenja na listovima. Azotni oksidi pojačavaju i efekat staklene bašte, izazivajući tako oštećenja ozonskog omotača, a utiču i na obrazovanje kiselih taloga i pojavu smoga (pojava kiselih kiša i smanjenje vidljivosti).

Na nastanak NO_x tokom procesa sagorijevanja utiče više faktora, od kojih ističemo uticaj temperature u ložištu, količine kiseonika u okolnoj atmosferi i vrijeme zadržavanja dimnih gasova u zoni visoke temperature. Postoji razlika između dva suštinski različita načina na koji se NO_x formira tokom procesa sagorijevanja. S jedne strane, postoji oksidacija hemijski vezanog azota u gorivu (gorivni NO_x), a s druge strane je formacija NO_x iz azota, kojeg donosi vazduh za sagorijevanje (termalni NO_x). Ovaj drugi proces, formacije termalnog NO_x-a dešava se u bilo kojoj količini jedino na temperaturama iznad 1.300 °C, ali od te tačke je disproporcionalno zavisano od temperature. Stoga slijedi da se količina termalnog NO_x rapidno povećava sa povećanjem temperature sagorijevanja.

Postupci za smanjenje emisije azotnih oksida pri sagorijevanju ugljenog praha se mogu podijeliti u dvije grupe. Prva grupa obuhvata: primarne, koji u suštini predstavljaju modifikaciju procesa sagorijevanja i sekundarne, koji se odnose na prečišćavanje dimnih gasova. Primarni postupci su zasnovani uglavnom na snižavanju temperature sagorijevanja i smanjenju koeficijenta viška vazduha, kao dva najvažnija faktora nastanka azotnih oksida, korišćenjem višestepenog dovođenja vazduha u ložište, recirkulacijom dimnih gasova niske temperature u gorionike ili jezgro plamena, višestepenim uvođenjem goriva i primjenom gorionika sa niskom emisijom azotnih oksida (tzv. „Nisko NO_x“ gorionici). Druga grupa postupaka zasniva se na preduzimanju određenih radnji na polju dimnog gasa (mjere nakon sagorijevanja ili sekundarne mjere), u svrhu odstranjivanja NO_x između zone sagorijevanja u kotlu i dimnjaka, a nakon što dođe do stvaranja NO_x. Od sekundarnih mjera, uglavnom su procesi SNCR- selektivna nekatalitička redukcija i SCR- selektivna katalitička redukcija dostigli visok tehnološki status razvoja, kao i

Tabela 4 Koncentracija emisije sumpornih oksida nakon instalisanja ODG sistema RiTE Ugljevik

držaj	Jedinica mjere	Poslije instalisanja sistema ODG	Svjetska banka	EU
SO ₂	mg/m ³ N	389 (procenat odsumporavanja 98,4%)	2.000	400
	t/dan	8,3 ^(*)	60	-

Napomena: (*) - Vrijednost emisije SO₂ je sračunata na bazi sljedećeg uslova: protok izduvnog gasa od 1.380.000 t/h i vrijeme rada od 24 sata/dan

energija

široku primjenu. Drugi procesi, poput mokrih procesa odstranjivanja NO_x , ili proces elektronski snop („*electron beam*“) nisu pronašli svoju praktičnu primjenu.

3.3. Tehnologije za istovremeno smanjenje emisije SO_2 i NO_x

Klasične metode za smanjenje emisija NO_x i SO_2 na termoelektranama zasnovane su na primjeni kontrole sagorijevanja korišćenjem „Nisko NO_x gorionika“ i primjenom određenih tehnologija za odsumporavanje, dok se u slučaju kada primjenom primarnih mjera kontrole sagorijevanja nije moguće zadovoljiti norme o dozvoljenim koncentracijama, koriste se deNOx uređaji. Često, kao efikasniji i ekonomski isplativije koriste se kombinovane tehnike za smanjivanje emisije SO_2 i NO_x . Jedan od takvih postupaka je postupak sa aktivnim ugljem, *slika 1*.

Postupak sa aktivnim ugljem zasnovan je na adsorpcijsko-desorpcijskom principu za uklanjanje SO_2 , a ako se u adsorber ubrizga amonijak može se odstraniti i NO_x . Dimni gasovi iz ložišta se otprašuju i hlade u izmjenjivaču toplote, a zatim hlade u vodenom ispiraju. Tako pripremljeni dimni gasovi ulaze dalje u prvi stupanj adsorbera u kojem se nalazi više slojeva suhog poroznog aktivnog uglja na temperaturi 90-150°C, gdje SO_2 iz dimnih gasova reaguje sa kiseonikom (katalitička oksidacija) i vodenom parom, formirajući sumpornu kiselinu, koja dalje upija aktivni uglj.

Prije ulaska u drugi stupanj adsorbera vrši se ubrizgavanje amonijaka u struju dimnih gasova. NO_x iz dimnih gasova katalitički reaguje sa amonijakom pri čemu nastaje N_2 i voda. Prečišćeni dimni gasovi, zajedno sa N_2 i vodom, odlaze kroz dimnjak u atmosferu.

Ovim postupkom, koji se nalazi u komercijalnoj upotrebi, odstranjuje se preko 95% SO_2 i 60-80% NO_x . Potrebna energija za funkcionisanje ovog procesa je oko 1,5% od ukupno proizvedene električne energije termoelektrane. Prva elektrana sa odstranjivanjem SO_2 i NO_x na ovaj način puštena je u pogon 1984. godine u Japanu.

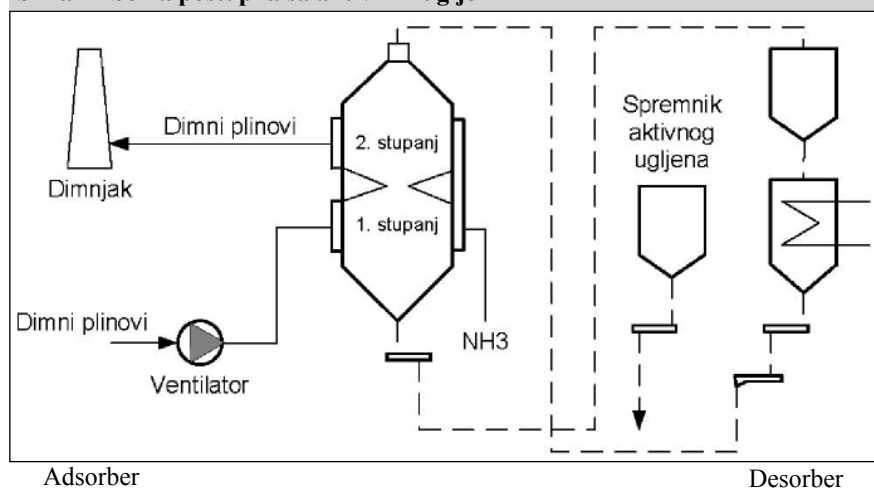
U cilju smanjivanja NO_x u gorivu, kao u slučaju sumpor oksida osnovna metoda je da se koristi gorivo sa malim sadržajem azota. Za ovu termoelektranu, kako je to već ranije objašnjeno, promjena goriva je teška s obzirom na značajan porast pratećih troškova. S druge strane, s ciljem da se smanji termalni NO_x , opšta praksa je da se poboljša metoda sagorijevanja (kao što je snižavanje temperature sagorijevanja u peći i smanjivanje koncentracije O_2 u zoni sagorijevanja). Štaviše, kao jedna metoda uklanjanja azotnih oksida u izduvnom gasu koji se stvara, postoji metoda instalisanja opreme za uklanjanje azota iz izduvnog gasa. Danas, u novoinstalisanim termoelektranama na uglj, u cilju prolaza strogih ekoloških standarda, usvojena je kombinacija gornjih metoda. U ovom projektu, azotni oksid, koji ne prelazi samo standarde EU nego i Svjetske banke, ispušta se u atmosferu i poželjno je poboljšanje sistema sagorijevanja (kao što je korištenje manjih NO_x plamenika/gorionika i usvajanje dvostepenog sagorijevanja). U izvjesnim slučajevima, moraće biti proučeno instalisanje sistema denitrogenizacije.

3.4. Tehnologije za istovremeno smanjenje emisije prašine

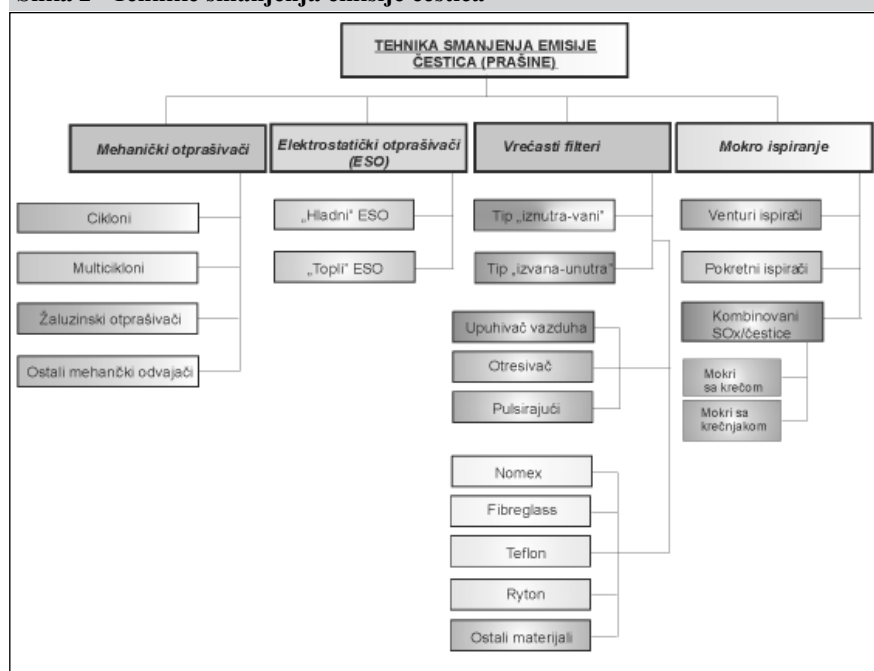
Najdužu tradiciju u primjeni imaju tehnologije za odvajanje čestica prašine (otprašivanje). Njihov razvoj dobija na značaju krajem devetnaestog i početkom dvadesetog vijeka. Usvajanje nove zakonske legislatve u oblasti zaštite životne sredine, posebno u dijelu zaštite vazduha je ovaj proces znatno ubrzao. Tokom sagorijevanja uglja, nesagorjele mineralne materije čine pepeo, čiji se jedan dio ispušta kroz dno ložišta, a preostali dio ostaje u struji dimnih gasova (leteći pepeo). Mjere za uklanjanje čestica iz dimnog gasa mogu biti preventivnog tipa (poboljšanje efikasnosti rada, dobro održavanje, izbor i čišćenje goriva, izbor tehnologije sagorijevanja i sl.), ili se pak zasnivaju na primjeni tehnologija za smanjenje emisije nakon sagorijevanja, *slika 2*.

Postojeći kapaciteti na RiTE UgljEVik za proizvodnju električne energije su opremljeni elektrostatičkim filterima (EP), sa efikasnosti skupljanja prašine

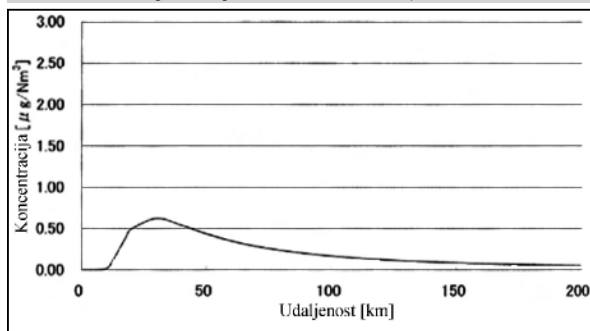
Slika 1 Šema postupka sa aktivnim ugljem



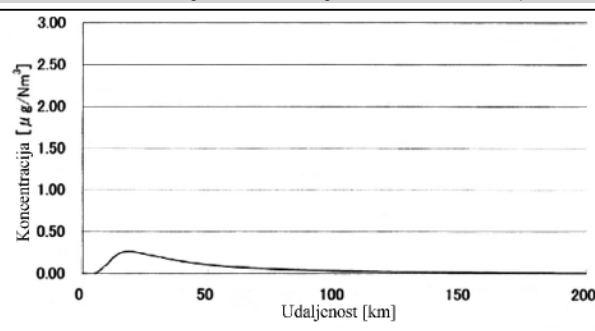
Slika 2 Tehnike smanjenja emisije čestica



Slika 3 Kriva koncentracije prašine na zemlji (sadašnje stanje: vrijednost za 24sata)



Slika 4 Kriva koncentracije prašine na zemlji (nakon instalisanja ODG: vrijednost za 24 sata)



99%. Međutim, kako je sadržaj pepela u gorivu visok oko 20 %, koncentracija prašine na izlazu iz EP je 150 mg/m³N, što prelazi standarde EU i Svjetske banke za 50 mg/m³N. Međutim, u ovom projektu, prašina u izduvnom gasu može biti uklonjena sistemom ODG instalisanim na izlazu EP. Efikasnost skupljanja prašine je između 70 i 80%. U ovom slučaju koncentracija prašine na ODG ulazu je 100 do 200 mg/m³N. Iz ovog razloga, koncentracija prašine na ODG izlazu će biti 30 do 45 mg/m³N i biće moguće zadovoljiti standarde Svjetske banke i EU, *slika 3 i 4*.

4. Zaključak

Zakonski okvir za područje zaštite životne sredine u Bosni i Hercegovini determinisan je donošenjem zakona i većeg dijela podzakonskih akata koji se odnose sve sastavne elemente životne sredine (vazduh, voda, zemljište, biodiverzitet, otpad i sl.), kao i najznačajnijim aspektima niza, usvojenih i ratifikovanih od strane BiH, međunarodnih konvencija, protokola i EU direktiva, s naglaskom na Okvirnu konvenciju Ujedinjenih naroda o promjeni klime (UNFCCC) i Kyotski protokol, te Konvenciju o dalekosežnom prekograničnom onečišćenju vazduha (CLRTAP) i Protokol o suzbijanju zakiseljavanja, eutrofikacije i prizemnog ozona. Poseban značaj kod ovih analiza ima LCP direktiva (2001/80/EZ) o graničnim vrijednostima emisije iz velikih postrojenja za loženje, IPCC direktivi (96/61/EZ) o ukupnom sprečavanju i nadzoru zagađenja životne sredine i EUETS direktivi (2003/87/EZ) o sistemu trgovanja pravima na emisiju CO₂. Polazeći od IPPC direktive (96/61/EZ), korišćenjem tehnika smanjenja emisije zagađujućih materija iz termoelektrana u vazduh, koje se mogu smatrati „najboljim raspoloživim tehnikama“ (*Best Available Techniques - BAT*), značajnije se smanjuju emisije, čime se stvaraju pretpostavke i za ostvarivanje određenih preuzetih, ali i očekivanih međunarodnih obaveza koje

će BiH imati u narednom periodu. Same BAT tehnike razlikuju se u zavisnosti od veličine uređaja za loženje, njegovom opterećenju tokom godine (broj sati rada) i karakteristikama goriva koje se sagorijeva. Zahtjevi koje je neophodno realizovati primjenom BAT tehnika, definiše se u formi ostvarivanja niskog nivoa emisije ciljane zagađujuće materije u vazduhu, uz ostvarenu nisku potrošnju energije, pozitivan uticaj na emisije drugih zagađujućih materija u vazduh, stvaranje korisnih i upotrebljivih nus proizvoda, izostanak problema sa otpadnim vodama i zbrinjavanjem novonastalog otpada. Takođe, BAT tehnika koja se želi primijeniti kod novih postrojenja mora biti komercijalno dostupna i potvrđena u praksi, kao i podesiva s obzirom na veličinu uređaja za loženje i vrstu goriva. Kao primjer, data je analiza zaštite životne sredine od štetnih uticaja objekta RiTE Ugljevik, kao i djelimični prikaz nekih od dobijenih rezultata multidisciplinarnog pristupa analizi postojećeg stanja kvaliteta životne sredine, kao i analizi doprinosa novog objekta (sistema za ODG) i njegovog pozitivnog ali i negativnog djelovanja na životnu sredinu. Provođenjem mjera za iskorišćavanje pojedinih materijala koji se sada smatraju otpadom i tako se tretiraju (pepeo, šljaka, karbonatni mulj, metalni dijelovi od remonta postrojenja, otpadna ulja i maziva, komunalni otpad, i sl.), će donijeti dodatne izvore finansiranja za preduzeće. Alternativa ovom projektu bi bilo sigurno zatvaranje ovog objekta ili pak njegov rad sa velikim gubicima izazvanih plaćanjem određenih nadoknada zbog štetnih uticaja na životnu sredinu. I u tom slučaju bi trebala značajna finansijska sredstva. U slučaju eventualnog zatvaranja RiTE, potrebno je izvršiti rekultivaciju terena u skladu sa posebnim „Projektom rekultivacije“ koji će biti urađen u cilju definisanja svih operacija i zahvata koji se moraju preduzeti u tom slučaju (ozelenjavanje iskorišćenih površina na lokalitetu, rekultivacija

predmetnog lokaliteta sa odgovarajućim biljnim vrstama). Glavni zadatak ovog procesa rekultivacije, bila bi stabilizacija zemljišta u okolini, kao i sprečavanje dalje degradacije zemljanih površina na ovom mikrolokalitetu. U sklopu ovog „zelenog pojasa“ našle bi se biljne vrste iz neposredne okoline (drvenasta, žbunasta i zeljesta vegetacija) koje se odlikuju izvjesnim stepenom adaptiranosti u odnosu na postojeće uslove sredine. Tehnička sanacija površinskog kopa rudnika, kao mjera zaštite podrazumijeva postizanje trajne stabilnosti završnih etaža i propisno ograđivanje površinskog kopa za sprječavanje akcidentnih situacija (mogući pad sa ruba završnih etaža) kako za ljude tako i za divlje životinje. Biološka sanacija podrazumijeva ponovno uspostavljanje vegetacije i sprječavanje erozije završnih etaža površinskog kopa.

Literatura

1. Brkić Lj. Živanović T., Tucaković D.: Termoelektrane, Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet, Beograd, 2006., 167 str.
2. * * *: Environmental Resources Management, Revision of the EC Emission Limit Values for New Large Combustion Installations (50 MW), London, 1996.
3. * * *: World Bank Technical Paper, Clean Coal Technologies for Development Countries, Washington, D.C., 1995.
4. Feretić D.; Tomšić Ž., Škanata D., Čavlina N., Subašić D.: Elektrane i okoliš, Zagreb, 2000.
5. * * *: Pravilnik o graničnim vrijednostima emisije u zrak iz postrojenja za sagorijevanje, Sl. Novine FBiH, 12/05, 2005.
6. * * *: Pravilnik o graničnim vrijednostima emisije u vazduh iz postrojenja za sagorijevanje, Sl.

Glasnik Republike Srpske, 39/05, 2005.

7. * * *: Studija energetskog sektora u BiH, Nacrt konačnog izvještaja, Modul 13: Okoliš, Energetski institut Hrvoje Požar, Zagreb, Hrvatska@ Soluziona, Španija, Ekonomski institut, Banja Luka, RS-BiH@ Rudarski institut, Tuzla, FBiH-BiH, 2008.
8. Z. Milovanović i drugi: Studija izvodljivosti o izgradnji sistema odsumporavanja dimnog gasa na termoelektrani Ugljevik u Republici Srpskoj, Institut za građevinarstvo „IG“ Banja Luka, PC Trebinje, 2008.
9. * * *: Studija izvodljivosti izgradnje sistema odsumporavanja dimnog gasa na termoelektrani Ugljevik u Republici Srpskoj, BiH; Mitsui&Co., Ltd. (MBK) Tokyo Electric Power Services Co., Ltd. (TEPSCO), mart 2005.

UDC: 662.992.84 : 621.311.22 : 504.054 (497.113)

Optimizacija izbora sistema za denitrogenizaciju dimnog gasa na TE Ugljevik

Rezime

Azotni oksidi koji najviše utiču na zagađenje životne sredine su azot-monoksid (NO) i azot-dioksid (NO₂), dok se ostali oksidi javljaju u relativno niskim koncentracijama, pa je i njihov uticaj zanemarljivog karaktera. U procesu sagorijevanja uglja, izdvajaju se tri mehanizma nastajanja azotnih oksida, koji su u okviru ovog rada detaljno prikazani. Prilikom sagorijevanja fosilnih goriva, oksidi azota (NO_x = NO i NO₂), koji se stvaraju uglavnom su u formi azotmonoksida (NO), čiji se manji dio (obično manje od 5%), oksidira tokom prolaza dimnih gasova od ložišta do ulaza u dimnjak u azot-dioksid (NO₂). Intenzivnija konverzija NO u NO₂ se dalje odvija u atmosferi, na nižim temperaturama, uz prisustvo atmosferskog kiseonika. Azotni oksidi imaju štetno djelovanje na zdravlje ljudi, posebno na respiratorne organe, a imaju i ulogu kod stvaranja kancerogenih jedinjenja u ljudskom organizmu. Uticaj azotnih oksida na biljni svijet ogleda se u usporavanju rasta i smanjenja prinosa, uz izazivanje vidljivih oštećenja na listovima. Azotni oksidi pojačavaju i efekat staklene bašte, izazivajući tako oštećenja ozonskog omotača, a utiču i na obrazovanje kiselih taloga i pojavu smoga (pojava kiselih kiša i smanjenje vidljivosti). U okviru rada dat je prikaz postupaka za smanjenje emisije azotnih oksida pri sagorijevanju ugljenog praha na termoelektrani Ugljevik, svrstanih u dvije grupe. Prva grupa obuhvata primarne, koji u suštini predstavljaju modifikaciju procesa sagorijevanja i sekundarne, koji se odnose na prečišćavanje dimnih gasova. Druga grupa postupaka zasniva se na preduzimanju određenih radnji na polju dimnog gasa (mjere nakon sagorijevanja ili sekundarne mjere), u svrhu odstranjivanja NO_x između zone sagorijevanja u kotlu i dimnjaka, a nakon što dođe do stvaranja NO_x. Takođe je data i njihova optimizacija za konkretno postrojenje na termoelektrani Ugljevik.

Cljučne riječi: termoelektrana, denitrogenizacija, optimizacija, životna sredina

Selection Optimization of a System for Denitrogenization of Flue Gases in TPP Ugljevik

Nitrogen-monoxide (NO) and nitrogen-dioxide (NO₂) are nitrogen oxides which the mostly impact environment pollution, while other oxides appear in relatively low concentration, therefore their impact can be ignored. In this Work we presented in details three outstanding mechanisms for creation of nitrogen oxides in the process of coal combustion. During combustion of fossil fuels, the produced nitrogen oxides (NO_x)=NO and NO₂ are mainly in the form of nitrogen monoxide (NO) which smaller part (usually below 5%) oxidises into nitrogen-dioxide (NO₂) during passage of flue gases from furnace to chimney entrance. More intensive conversion of NO into NO₂ is further happening in the atmosphere, at lower temperatures, with the presence of atmosphere oxygen. Nitrogen oxides harmfully impact people's health, especially respiratory organs, and also influence creation of carcinogen compounds in a human organism. The impact of nitrogen oxides upon flora is manifested as retardation of growth and decrease of yield, as well as causing visible damages of leaves. Nitrogen oxides intensify greenhouse effect, and by that, cause damaging of ozone layer, and also impact the creation of acid sediments and smog (acid rains and decreased visibility). Within the Work we presented the procedure for reduction of nitrogen oxides emission in the process of combustion of coal dust in Thermal Power Plant Ugljevik, divided into two groups. The first group covers the *primary* procedures, which basically present modification of combustion process, and *secondary* procedures, which refer to flue gases treatment. The other group of procedures is based on taking certain measures in the field of flue gas (measures after combustion or secondary measures), in order to remove NO_x between combustion in boiler and chimney, and after NO_x is being created. Their optimization for this concrete plant in Thermal Power Plant Ugljevik is also presented in this Work.

Key words: thermal power plant, denitrogenization, optimization, environment

1. Uvod

Azotni oksidi koji najviše utiču na zagađenje životne sredine su azotmonoksid (NO) i azot-dioksid (NO₂), dok se ostali oksidi javljaju u relativno niskim koncentracijama, pa je i njihov uticaj zanemarljivog karaktera. U procesu sagorijevanja uglja, izdvajaju se tri mehanizma nastajanja azotnih oksida. Prvi mehanizam predstavlja reakciju azota i kiseonika iz vazduha pri sagorijevanju kod vrlo visokih temperatura, koje vladaju u zoni plamena, drugi mehanizam zasniva se na reakciji molekula azota iz vazduha i slobodnih radikala iz goriva u blizini same zone plamena, dok je treći mehanizam zasnovan na oksidaciji vazduha iz sastava goriva (70 do 80% od svih nastalih azotnih oksida NO_x). Prilikom sagorijevanja fosilnih goriva, oksidi azota (NO_x = NO i NO₂), koji se stvaraju uglavnom su u formi azotmonoksida (NO), čiji se manji dio (obično manje od 5%),

oksidira tokom prolaza dimnih gasova od ložišta do ulaza u dimnjak u azot-dioksid (NO₂). Intenzivnija konverzija NO u NO₂ se dalje odvija u atmosferi, na nižim temperaturama, uz prisustvo atmosferskog kiseonika. Propisima o zaštiti životne sredine definisane su dozvoljene vrijednosti koncentracija štetnih materija, odnosno, definisane su granične vrijednosti dozvoljenih koncentracija štetnih materija koje na čovjeka nemaju direktni ili posredni štetni ili neprijatni uticaj, *tabela 1*.

2. Štetni uticaj azotnih oksida

Azotni oksidi imaju štetno djelovanje na zdravlje ljudi, posebno na respiratorne organe, a imaju i ulogu kod stvaranja kancerogenih jedinjenja u ljudskom organizmu. Uticaj azotnih oksida na biljni svijet ogleda se u usporavanju rasta i smanjenja prinosa, uz izazivanje vidljivih oštećenja na listovima. Azotni oksidi pojačavaju i efekat staklene bašte, izazivajući tako

oštećenja ozonskog omotača, a utiču i na obrazovanje kiselih taloga i pojavu smoga (pojava kiselih kiša i smanjenje vidljivosti). Na nastanak NO_x tokom procesa sagorijevanja utiče više faktora, od kojih potrebno treba istaknuti uticaj temperature u ložištu, zatim količine kiseonika u okolnoj atmosferi, kao i vrijeme zadržavanja dimnih gasova u zoni visoke temperature. Postoji razlika između dva suštinski koncepta na formiranju NO_x u toku procesa sagorijevanja. S jedne strane, postoji oksidacija hemijski vezanog azota u gorivu (gorivni NO_x), a s druge strane je formacija NO_x iz azota, kojeg donosi vazduh za sagorijevanje (termalni NO_x). Proces formiranja termalnog NO_x-a dešava se u bilo kojoj količini jedino na temperaturama iznad 1.300 °C, ali od te tačke je disproporcionalno zavisano od temperature. Stoga slijedi da se količina termalnog NO_x rapidno povećava sa povećanjem temperature sagorijevanja.

3. Postupci za smanjenje emisije azotnih oksida pri sagorijevanju ugljenog praha

Postupci za smanjenje emisije azotnih oksida pri sagorijevanju ugljenog praha se mogu podijeliti u dvije grupe. Prva grupa obuhvata primarne (predstavljaju modifikaciju procesa sagorijevanja) i sekundarne postupke, koji se odnose na prečišćavanje dimnih gasova. Primarni postupci su zasnovani uglavnom na minimiziranju temperature sagorijevanja

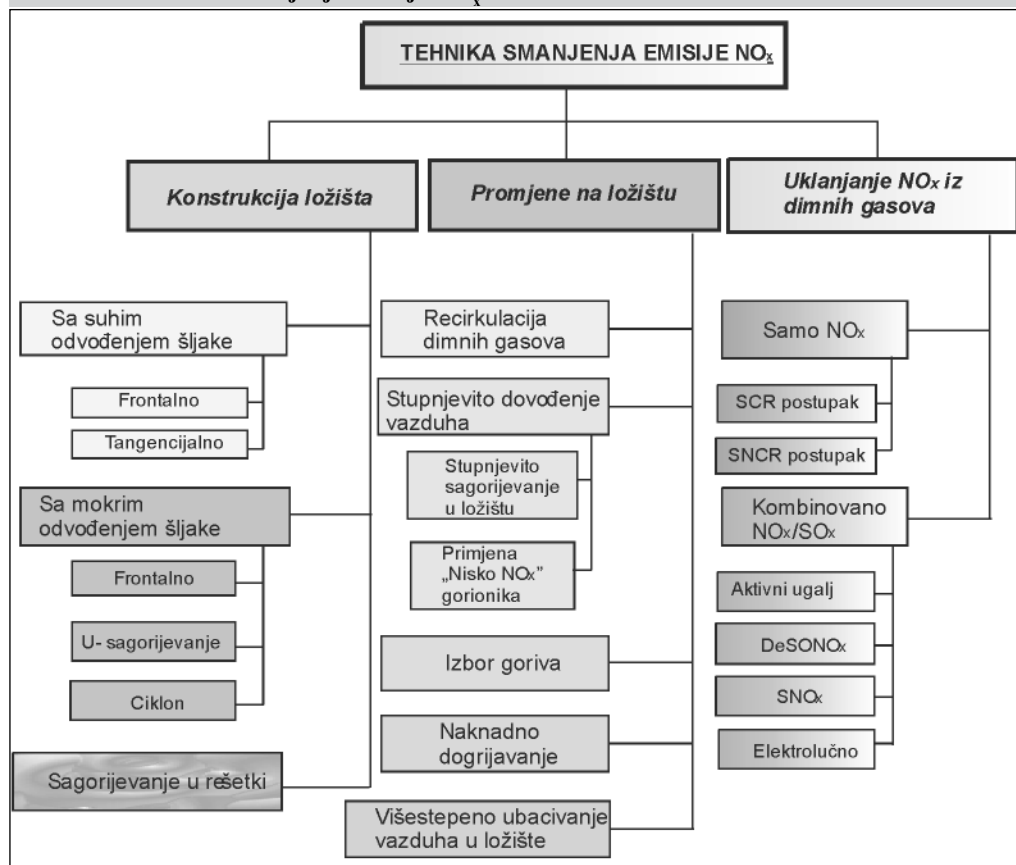
i umanjenju koeficijenta viška vazduha, kao dva najvažnija faktora nastanka azotnih oksida. Pri tome se najčešće koristi višestepeno dovođenje vazduha u ložište, recirkulacija dimnih gasova niske temperature u gorionike ili jezgro plamena, zatim višestepeno uvođenje goriva, kao i primjena gorionika sa niskom emisijom azotnih oksida (tzv. „Nisko NO_x“ gorionici). Druga grupa postupaka zasniva se na preduzimanju određenih radnji na polju dimnog gasa (mjere nakon sagorijevanja ili sekundarne mjere), u svrhu odstranjivanja NO_x između zone sagorijevanja u kotlu i dimnjaka, a nakon što dođe do stvaranja NO_x. Od sekundarnih mjera, uglavnom se koriste procesi SNCR- selektivna nekatalitička redukcija i SCR- selektivna katalitička redukcija, koji su dostigli

Tabela 1 Granične vrijednosti emisija za postojeća ložišta na čvrsta goriva, [5]

Parametar	Pravilnik o GVE		LCP direktiva	
	Termička snaga, MW _t	GVE, mg/m ³	Termička snaga, MW _t	GVE, mg/m ³
NO _x	0,35-10	400	50-500	600
	10-50	350		
	> 50	Nema ograničenja	> 500	500 (200*)

Napomena: *- primjenjuje se nakon 01.01.2016. godine

Slika 1 Tehnike za smanjenje emisije NO_x



energija

visok tehnološki status razvoja, kao i široku primjenu. Drugi procesi, poput mokrih procesa odstranjivanja NO_x , ili proces elektronski snop („electron beam“) nisu još uvijek pronašli svoju praktičnu primjenu. Prikaz osnovnih tehnika za smanjenje emisije NO_x dat je na slici 1.

3.1. Mjere modifikacije sagorijevanja - primarne mjere

Količina nastalog NO_x zavisi od temperature sagorijevanja, količine O_2 (višak vazduha) i količine azota u gorivu, [1]. Ako se ne primjenjuju nikakve mjere za smanjivanje sadržaja NO_x , u slučaju sagorijevanja uglja, koncentracija nastalog NO_x je u opsegu između cca 800 do 1.500 mg/Nm^3 . Da bi se smanjilo nastajanje NO_x , moguće su sljedeće mjere: smanjeno predgrijavanje vazduha, recirkulacija dimnog gasa, stupnjevito dovodenje vazduha (smanjenje ukupnog viška vazduha, ubacivanje vazduha u ložište po nivoima), razdvajanja goriva i stupnjovitog dovodenja goriva (ubacivanje goriva u ložište po nivoima). Primjenom primarnih mjera ne dolazi do stvaranja nus-proizvoda, niti sekundarnih emisija. Primjena je do sada komercijalno potvrđena na postrojenjima toplotne snage do 100 MW_t, nezavisno od goriva koje se sagorijeva (ugalj, loživo ulje i prirodni gas). Sama tehnika smanjenja emisije NO_x može se realizovati kroz određene promjene na gorionicima, zatim promjene radnih uslova, kao i promjene na uređajima za sagorijevanje (mjesto intervencije). Cilj promjene na gorionicima (korišćenje tzv. „Nisko NO_x gorionika“) je ostvarivanje preduslova za dobro vezivanje ugljika i vodonika, uz smanjenje emisije NO_x . Danas se u primjeni nalazi pet osnovnih vrsta poboljšanja gorionika: gorionici sa poboljšanim miješanjem (*Mixture Accelerating Burner*), gorionici sa dijeljenjem plamena (*Flame Splitting Burner*), samorecirkulirajući gorionici (*Self Recirculating Burner*), zatim gorionici sa podstehiometrijskim sagorijevanjem (*Off-Stoichiometric Burner*), kao i gorionici sa sagorijevanjem u dva stupnja (*Two-Stage Burner*). Promjene radnih uslova obuhvata smanjivanje količine vazduha za sagorijevanje (štednja energije), smanjenje količine predgrijanog vazduha (manje temperature sagorijevanja u primarnim zonama ložišta i manje stvaranje NO_x), te smanjenje toplotnog opterećenja (smanjenje temperature plamena i sniženje toplotne efikasnosti ložišta), dok promjene na uređajima za sagorijevanje (osim gorionika) uključuju podstehiometrijsko sagorijevanje (u primarnoj zoni vladaju

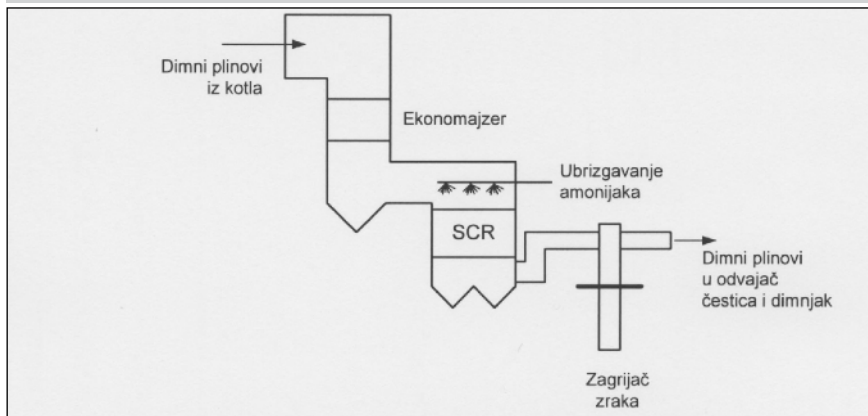
substehiometrijski uslovi sagorijevanja, pri čemu se potpuno sagorijevanje odvija u daljim zonama ložišta), sagorijevanje u dva stupnja, zatim recirkulaciju dimnih gasova, kao i uštrcavanje vode i pare. Smanjenje viška vazduha treba gledati kao osnovu svih mjera za redukciju NO_x . Stepen smanjenja viška vazduha u prvom redu zavisi od goriva i maksimalnog dozvoljenog sadržaja nesagorjelog goriva (npr. CO, koks i čađ). Kod ubacivanja vazduha u ložište po nivoima, jedan dio potrebnog vazduha za sagorijevanje (do 30%) se ubrizgava u ložište kao dodatni vazduh („overfire air“). Cilj ovoga je da se stvori stanje obogaćenosti gorivom u zoni primarnog plamena. NO_x nastao u ovoj zoni se tada rastvara pomoću odgovarajućih komponenti (npr. CO, H_2 i hidrokarbonata) u redukujućoj atmosferi, između gorionika i ulaza vazduha. Ovaj proces je ograničen stvaranjem CO. Cilj ubacivanje goriva u ložište po nivoima je redukcija nastalog NO_x unutar zone sagorijevanja. Da bi se ovo postiglo, jedan dio goriva (oko 10 do 20%) se ubacuje u gornji dio ložišta da bi se stvorila zona za smanjenje NO_x , nastalog u zoni primarnih gorionika. Mogućnost redukcije nastajanja NO_x putem stvaranja zone redukcije, pomoću ubacivanja vazduha i goriva u ložište po nivoima, je osnovni princip gorionika sa niskim stvaranjem NO_x . Ovo obezbjeđuje najbolje moguće uslove za stvaranje idealne smjese goriva i vazduha i shodno tome preduslove za optimalno sagorijevanje, uz najmanje zahtjeve vezane za dodatni vazduh. Kod recirkulacije dimnog gasa, ohlađeni dimni gas iz struje iza filtera, miješa se sa vazduhom za sagorijevanje. Postoje dva efekta, koji neutralizuju nastajanje NO_x : redukcija parcijalnog pritiska kiseonika i smanjenje temperature u zoni plamena. U svakom slučaju, količina recirkulacije dimnog gasa je ograničena na 10-15%, zbog nestabilnosti plamena pri velikim brzinama recirkulacije i pogoršanja

efikasnosti kotla. U zavisnosti od tipa i konstrukcije kotla, kao i kvaliteta goriva (npr. sadržaja azota i isparljive tvari), kao i obima primijenjenih mjera, može se postići efikasnost redukcije NO_x od oko 50-60%. Kod projektovanja i konstrukcije novih kotlova na lignit, moguće je (i kroz iskustvo dokazano) poštovanje postojećeg evropskog standarda emisije NO_x od 200 mg/m^3 , bez dodatnih sekundarnih mjera. Troškovi primjene primarnih mjera na već postojećim postrojenjima kreću se od 4 do 45 EUR/kW. Instalacija „Nisko NO_x “ gorionika iznosi 5 do 10 EUR/kW, dok njihova instalacija u kombinaciji sa smanjenjem količine vazduha za sagorijevanje iznosi 10 do 20 EUR/kW. Sami investicijski troškovi primarnih mjera kod novih termoenergetskih postrojenja su znatno niži i iznose do 25 EUR/kW. Cijena po toni smanjenja emisije NO_x iznosi 85 do 510 EUR/t, što uključuje i investicijske i troškove eksploatacije i održavanja.

3.2. Smanjenje emisije NO_x uklanjanjem NO_x iz dimnih gasova

Glavni postupci za odstranjivanje NO_x iz dimnih gasova su: selektivna katalitička redukcija (SCR postupak) i selektivna nekatalitička redukcija (SNCR postupak). SCR postupak (selektivna katalitička redukcija) predstavlja proces koji, uz pomoć amonijaka, razlaže okside azota na azot i vodenu paru, *slika 2*. Proces se naziva selektivnim, jer se istovremeno ne odvajaju i ostali gasovi (npr. SO_2 i/ili NH_3). Temperatura procesa treba biti pažljivo kontrolisana, s ciljem obezbjeđenja uslova odvijanja reakcije u pravom smjeru. Naime, u slučaju preniske temperature NO_x prelazi u NH_3 i obratno. Efikasnost ovog postupka je oko 50%, potrošnja energije manja od 0,2% od ukupno proizvedene energije. Problemi koji se javljaju kod korišćenja ovih postupaka su ispuštanje amonijaka, osjetljivost na uslove rada, manja efikasnost, veći potrošak hemikalija i stvaranje N_2O .

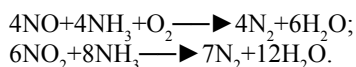
Slika 2 SCR- selektivna katalitička redukcija, na toploj strani



⇒ energija

Prednosti ovog postupka u odnosu na onaj sa katalizatorom su jednostavnost, manji zahtjevi prostora, te manji operativni troškovi.

Proces konverzije teče uglavnom prema sljedećim primarnim reakcijama:

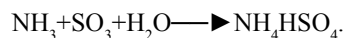


Brzina reakcija se povećava korišćenjem katalizatora, što ima za rezultat da proces može da se odvija na temperaturi od 280–400 °C (za razliku od SNCR procesa). Najčešće se koristi katalizator u obliku saća, dok se u nekim slučajevima koristi i pločasti katalizator. Materijal katalizatora je uglavnom od titanijum-dioksida, kome su dodani V_2O_5 (i drugi elementi, poput WO_3), kao aktivne komponente. Raznovrsnost kompozicije

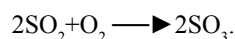
i geometrije elemenata katalizatora, omogućuju da se osobine i aktivnost katalizatora mijenjaju unutar određenih granica i tako prilagođavaju različitim radnim uslovima. Pojedini elementi katalizatora (ili ploče) kombinuju se da bi oformili module, koji se onda u više slojeva ugrađuju u SCR reaktor, *slika 3*. Faktori koji igraju ulogu u izboru i konstrukciji katalizatora moraju u obzir uzeti količinu i sastav dimnog gasa, tip goriva i način sagorijevanja, stepen redukcije NO_x , skok NH_3 i način rasporeda elemenata katalizatora u struji dimnog gasa. Obično je katalizator projektovan za unapred definisano radno stanje. Budući da se učinak katalizatora smanjuje sa povećanjem vremena njegovog rada, projektna tačka treba da bude na kraju garantovanog perioda rada. Elektrane sa SCR reaktorom mogu da rade sa znatno nižim vrijednostima

skoka NH_3 , u poređenju sa elektranama sa SNCR reaktorom.

I pored toga, potencijalni problemi prouzrokovani stvaranjem amonijum sulfata i amonijum-vodonik-sulfata (posebno korozija i talog) moraju da se uzmu u obzir, npr. prema reakciji:



Granica kritične temperature raste sa povećanjem koncentracija NH_3 i SO_3 , a stvaranje $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ili NH_4HSO_4 koje je poželjno, zavisi od odnosa NH_3 i SO_3 . Pored sadržaja SO_3 u dimnom gasu ispred SCR reaktora, u obzir se mora uzeti da SO_2 može da se oksidira u SO_3 u sekundarnoj reakciji u samom katalizatoru:

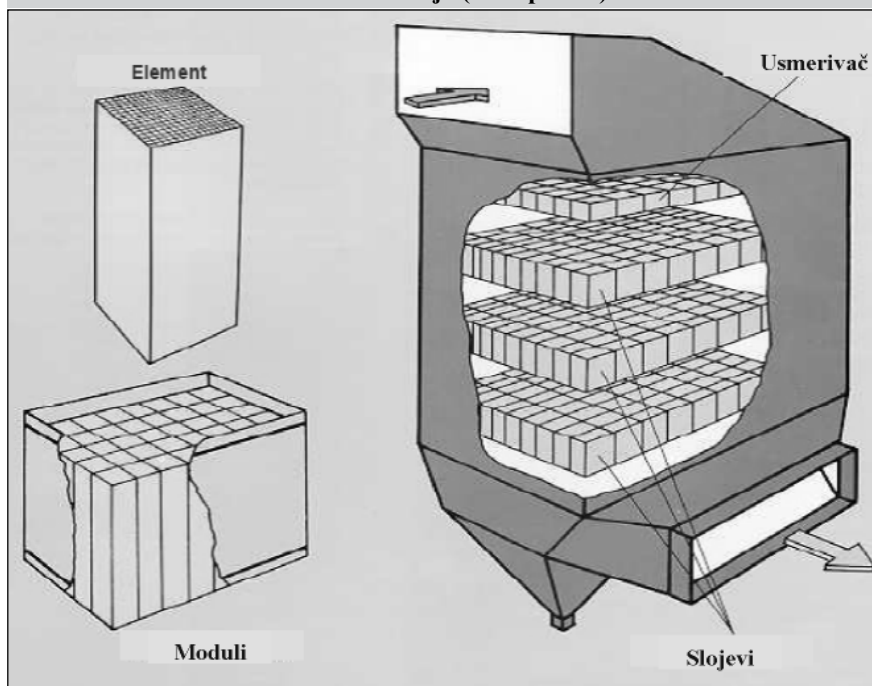


Uzevši u obzir da je ova konverzija SO_2 u SO_3 primarno određena aktivnom komponentom V_2O_5 , proizilazi da je visoka aktivnost u pogledu redukcije NO_x , povezana sa većom stopom konverzije SO_2/SO_3 . Ovi granični uslovi moraju se uzeti u obzir pri konstrukciji katalizatora za dimni gas koji sadrži SO_2 , tako da se suzbije stvaranje amonijum-vodonik-sulfata, što može dovesti do problema u samom reaktoru, a posebno u dijelovima elektrane iza njega (po smjeru protoka). Sljedeći potencijalni problem sa SCR elektranama su depoziti čestica, koji mogu da zablokiraju kanale dijelova katalizatora, a time i smanji korisnu površinu. U prisustvu erozivnog pepela, poput onoga koji može da se pojavi u dimnim gasovima lignita, postoji rizik od oštećenja katalizatora putem abrazije od strane erozivnog materijala. Iskustvo takođe pokazuje da pojedini sastojci dimnog gasa (poput arsena, As), djeluju kao katalitički otrovi sa posledicom bržeg smanjenja projektnog radnog vijeka.

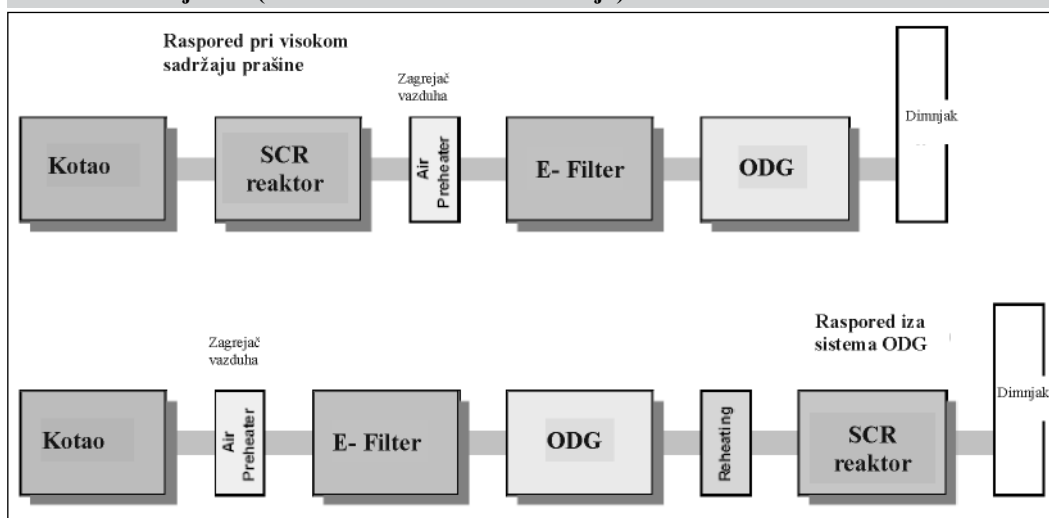
S druge strane, SCR reaktor se može pozicionirati na različitim tačkama

duž toka dimnog gasa između kotla i dimnjaka. Postoje suštinski dva moguća rasporeda za ložišta na ugaj, prikazana na *slici 4*. Prikazane su konfiguracije za dimni gas sa visokim sadržajem prašine, u kojima je SCR reaktor smješten u dimnom gasu bogatom prašinom ispred zagrijača (raspored za čisti gas), i sa druge strane, raspored nakon izdvajanja čestica prašine i poslije sistema ODG (raspored za visok

Slika 3 Selektivna katalitička redukcija (SCR proces)



Slika 4 Položaj SCR (Selektivna katalitička redukcija) reaktora

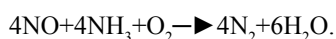


energija

sadržaj prašine, reaktor je postavljen na putu strujanja dimnog gasa između izlaza kotla (ekonomajzer) i zagrijača vazduha. Unutar ovog područja dimni gasovi obično imaju temperaturu između 300 i 400 °C, potrebnu za visoko katalitičnu redukciju NO_x. U ovakvoj situaciji, katalizatori su izloženi punom opterećenju prašine iz dimnih gasova. Ova činjenica je uzeta u obzir prilikom razvoja katalizatora otpornih na habanje. Konfiguracija za visok sadržaj prašine je uobičajen raspored kod novoizgrađenih elektrana, tj. kada se SCR reaktor gradi zajedno s kotlom. SCR konfiguracija na kraju struje dimnog gasa razvijena je u Njemačkoj, kao rezultat projekata revitalizacije postojećih SCR i posebne adaptacije na lokalne uslove. Opcija rasporeda nakon ODG, posebno se koristi u slučajevima kada bi revitalizacija inicijalno postavljenog SCR-a bila veoma teška ili nemoguća za implementaciju, usljed nedostatka prostora i potrebe za obimnom rekonstrukcijom, kao i dugim periodima zastoja.

Sa SCR procesima moguće je postići efikasnost redukcije NO_x od 90% i više. U poređenju sa drugim mjerama redukcije NO_x, daleko najviše iskustva iz rada elektrana na industrijskom nivou, stečeno je sa SCR procesom. Troškovi ugradnje SCR procesa u već postojeće postrojenje iznose 8 do 17 EUR/kW, dok na novom postrojenju oni iznose od 4 do 8 EUR/kW. Troškovi eksploatacije (pogona) povezani su sa reagensom i potrebnom dodatnom snagom i obično se kreću 0,1 do 0,2 EURc/kWh. Instalisanje SNCR postupka na već postojećem postrojenju traje 2 do 5 sedmica i ne zahtjeva neke posebne procedure i specijalistička znanja.

SNCR postupak (selektivna nekatalitička redukcija) predstavlja proces zasnovan na redukciji oksida azota amonijakom, u homogenoj reakciji gasa i na visokoj temperaturi, slika 5. Prilikom glavne reakcije, oksidi azota se pretvaraju pomoću NH₃ u azot i vodenu paru, odnosno vrijedi:



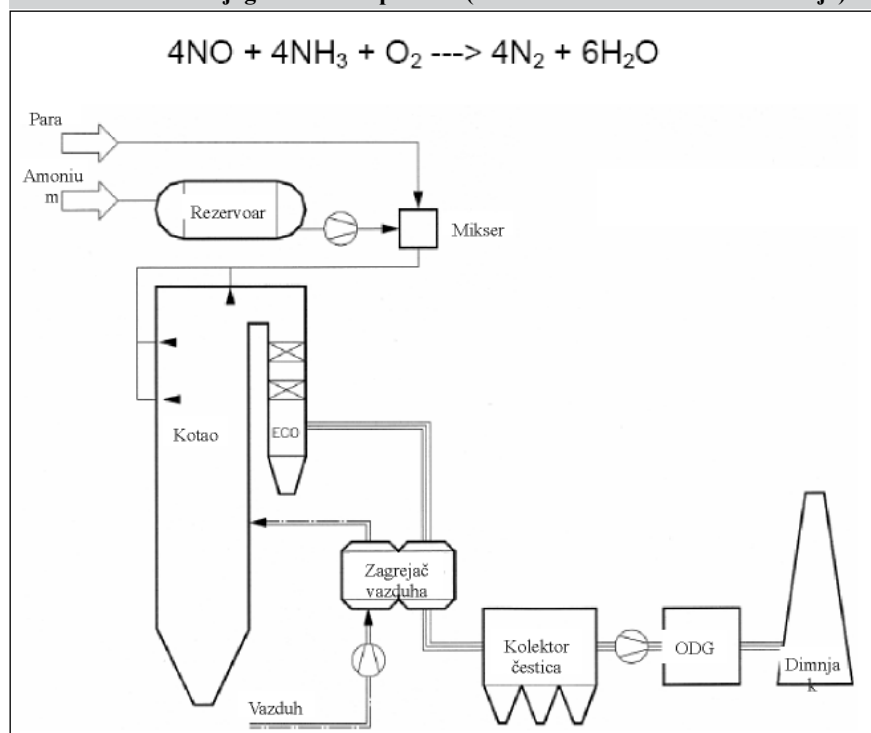
Traženi opseg temperature za efikasnu eliminaciju NO_x veoma je uzak, a optimalna temperatura je 950°C. Snižanjem temperature rapidno opada brzina reakcije homogenog gasa, a time i mogući stepen redukcije NO_x. Na temperaturama iznad optimuma, dolazi do porasta nivoa oksidacije NH₃ uz stvaranje NO, što na sličan način dovodi do smanjenja efikasnosti odstranjenja NO_x. Amonijak, kao redukujući agens, skladišti se u tečnoj formi pod pritiskom, ili pak kao 25% rastvor NH₃ koji nije pod pritiskom. Nakon isparavanja redukujućeg

agens, dodaju mu se vazduh ili para, a rezultujuća smjesa (udio NH < 5%) se tada ubrizgava u kotao. S jedne strane, ključno je da se ubrizgavanje izvede u okviru traženog temperaturnog opsega, dok je, s druge strane, ključno da se osigura efikasna i stalna distribucija redukujućeg agensa u protoku dimnog gasa. SNCR proces je sam po sebi prilično jednostavan, ali njega komplikuje činjenica da se pozicija optimalnog temperaturnog opsega mijenja, u skladu sa opterećenjem kotla. Pored toga, neregularnosti (disbalansi) temperature i koncentracije NO_x javljaju se duž kotla. Zato je obično neophodno obezbijediti veći broj nivoa ubrizgavanja na relativno velikoj površini. S druge strane, kao neophodno pojavljuje se potreba dodatne podjele svakog nivoa na veći broj polja, svako sa posebnim mjerenjem NH₃. Ovakve karakteristike procesa stvaraju visok nivo kompleksnosti kod sistema mjerenja i regulacije procesa. Pošto se u praksi rijetko pokazuje da je moguće optimalno podesiti i uskladiti sve ove faktore, efikasnost odstranjivanja NO_x koja se može postići sa SNCR procesom često je ograničena na srednje vrijednosti. Jedan problem sa SNCR procesom je pojava poznata kao „iskliznuće“ amonijaka.

Udio nekonvertovanog amonijaka raste u skladu sa sljedećim uslovima: padom temperature ubrizgavanja ispod optimalne, proces ubrizgavanja je nestalniji, odnosno što je ubrizgavanje manje prilagođeno asimetričnim temperaturama i koncentraciji NO_x, veća je namjeravana efikasnost odstranjenje NO_x. Nakon pojave

iskliznuće amonijaka, javljaju se dodatni problemi vezani za ostatak toka dimnog gasa. Problemi sa prljanjem moraju se očekivati u zagrijaču vazduha, jer se pomoću SO₃ i vlage iz dimnog gasa NH₃ kondenzuje u hladnijim dijelovima u obliku amonijum-vodonik-sulfata. Kao rezultat obično ljepljivog taloga, povećava se prljanje letećim pepelom. Posljedica toga je korozija i potreba da se zagrijač vazduha čisti češće (i da se voda za pranje prerađuje i odstranjuje). Povećanje NH₃ u pepelu može da ograniči upotrebljivost samog pepela ili da iskomplikuje način postupka s pepelom (npr. problemi sa neugodnim mirisom nakon vlaženja). Konačno, porast NH₃ može kao rezultat da ima korespondentno visok sadržaj amonijaka u vodi za ispiranje postrojenja ODG. Teško je dati neku generalnu ocjenu o efikasnosti odstranjenja NO_x koja se može postići putem SNCR procesa. U svakom slučaju, neophodni troškovi i opisani posljedični problemi, povećavaju se sa većom traženom efikasnosti odstranjenja NO_x. Sa povećanjem efikasnosti, takođe se povećava i specifična potrošnja NH₃ i znatno je veća nego kod SCR procesa. Kao opšte načelo može se reći da je pri molarnom odnosu NH₃/NO_x=1, moguće postići redukciju NO_x do 50% (u zavisnosti od početne vrijednosti NO_x, kvaliteta ubrizgavanja i miješanja, i sl.). Veće efikasnosti redukcije, do 80% teorijski su moguće, uz povoljne uslove, ali sa nesrazmjerno velikim molarnim odnosom NH₃/NO_x=2 do 3 i korespondentno visokim porastom NH₃. Iz ovih razloga, efikasnost redukcije NO_x kod primjene SNCR procesa u

Slika 5 Procesni dijagram SNCR procesa (Selektivna nekatalitička redukcija)



energija

elektranama treba ograničiti na srednje vrijednosti od cca 50%.

3.3. Tehnologije za smanjenje emisije SO₂ i NO_x

Klasične metode za smanjenje emisija NO_x i SO₂ na termoelektranama zasnovane su na primjeni kontrole sagorijevanja korišćenjem „Nisko NO_x gorionika“ i primjenom određenih tehnologija za odsumporavanje, dok se u slučaju kada primjenom primarnih mjera kontrole sagorijevanja nije moguće zadovoljiti norme o dozvoljenim koncentracijama, koriste se deNO_x uređaji. Često, kao efikasniji i ekonomski isplativije koriste se kombinovane tehnike za smanjivanje emisije SO₂ i NO_x. Jedan od takvih postupaka je postupak sa aktivnim ugljem. Postupak sa aktivnim ugljem zasnovan je na adsorpcijsko-desorpcijskom principu za uklanjanje SO₂, a ako se u adsorber ubrizga amonijak može se odstraniti i NO_x. Dimni gasovi iz ložišta se otprašuju i hlade u izmjenjivaču toplote, a zatim hlade u vodenom ispiraču. Tako pripremljeni dimni gasovi ulaze dalje u prvi stupanj adsorbera u kojem se nalazi više slojeva suhog poroznog aktivnog uglja na temperaturi 90-150°C, gdje SO₂ iz dimnih gasova reaguje sa kiseonikom (katalitička oksidacija) i vodenom parom, formirajući sumpornu kiselinu, koja dalje upija aktivni ugalj. Prije ulaska u drugi stupanj adsorbera vrši se ubrizgavanje amonijaka u struju dimnih gasova. NO_x iz dimnih gasova katalitički reaguje sa amonijakom pri čemu nastaje N₂ i voda. Prečišćeni dimni gasovi, zajedno sa N₂ i vodom, odlaze kroz dimnjak u atmosferu. Ovim postupkom, koji se nalazi u komercijalnoj upotrebi, odstranjuje se preko 95% SO₂ i 60-80% NO_x. Potrebna energija za funkcionisanje ovog procesa je oko 1,5% od ukupno proizvedene električne energije termoelektrane. Prva elektrana sa odstranjivanjem SO₂ i NO_x na ovaj način puštena je u pogon 1984. godine u Japanu. U cilju smanjivanja NO_x u gorivu, kao u slučaju sumpor oksida osnovna metoda je da se koristi gorivo sa malim sadržajem azota. Za ovu termoelektranu, kako je to već ranije objašnjeno, promjena goriva je teška s obzirom na značajan porast pratećih troškova. S druge strane, s ciljem da se smanji termalni NO_x, opšta praksa je da se poboljša metoda sagorijevanja

(kao što je snižavanje temperature sagorijevanja u peći i smanjivanje koncentracije O₂ u zoni sagorijevanja). Štaviše, kao jedna metoda uklanjanja azotnih oksida u izduvnom gasu koji se stvara, postoji metoda instalisanja opreme za uklanjanje azota iz izduvnog gasa. Danas, u novoinstalisanim termoelektranama na ugalj, u cilju prolaza strogih ekoloških standarda, usvojena je kombinacija gornjih metoda.

3.4. Izbor tehnologije za smanjenje NO_x na RiTE Ugljevik

Prognoza disperzije ili raspršivanja emitovanih materija iz termoelektrane (koje vrše zagađivanje) u atmosferu, sprovedi se s ciljem predviđanja nivoa uticaja na životnu sredinu u mikro i makro regionu. Prognoza atmosferske disperzije je trebala da sračuna difuziju izduvnog gasa emitovanog iz dimnjaka termoelektrane Ugljevik i koncentraciju niz vjetar na nivou zemlje. Prognoza je bila bazirana na kratkoročnoj difuziji. Generalno, ovdje su uzeti klimatske uslovi i svojstva izduvnog gasa za nazivno opterećenje bloka termoelektrane. Obim smanjenja zagađivača vazduha, koji će biti ostvaren nakon instalisanja sistema ODG pokazuje *tabela 2*. Očigledna su poboljšanja i efekti smanjenje sumpor dioksida (SO₂) i prašine nakon instalisanja sistema ODG, odnosno, generalno se očekuje značajno poboljšanje životne sredine. Samo instalisanje sistema ODG praktično nema pozitivnog uticaja na smanjenje emisije NO₂, pa je tek u slučaju pooštavanja normi iz *tabele 2*, neophodno razmotriti instalisanje sistema denitrogenizacije.

4. Zaključak

Prikaz postupaka za smanjenje emisije azotnih oksida pri sagorijevanju ugljenog praha na termoelektrani Ugljevik, sistematizovan je u dvije grupe. Prva grupa je obuhvatila *primarne*, koji u suštini predstavljaju modifikaciju procesa sagorijevanja i *sekundarne*, koji se odnose na prečišćavanje dimnih gasova. Druga grupa postupaka zasniva se na preduzimanju određenih radnji na polju dimnog gasa (mjere nakon sagorijevanja ili sekundarne mjere), u svrhu odstranjivanja NO_x između zone sagorijevanja u kotlu i dimnjaka, a nakon što dođe do stvaranja NO_x. Takođe, neophodni troškovi i opisani

posljedični problemi, povećavaju se sa većom traženom efikasnosti odstranjenja NO_x. Za RiTE Ugljevik, promjena goriva je praktično neizvodljiva, s obzirom na značajan porast pratećih troškova u eksploataciji. S druge strane, s ciljem da se smanji termalni NO_x, opšta praksa je da se poboljša metoda sagorijevanja (kao što je snižavanje temperature sagorijevanja u peći i smanjivanje koncentracije O₂ u zoni sagorijevanja). Danas, u novoinstalisanim termoelektranama na ugalj, u cilju prolaza strogih ekoloških standarda, najčešće se usvaja kombinacija postojećih metoda. Smanjenja zagađivača vazduha, koji će biti ostvareno nakon instalisanja sistema ODG, obuhvata značajno smanjenje sumpor dioksida (SO₂) i prašine, dok praktično nema pozitivnog uticaja na smanjenje emisije NO₂, pa je tek u slučaju pooštavanja normi granične vrijednosti dozvoljenih koncentracija, neophodno razmotriti instalisanje sistema denitrogenizacije.

Literatura

1. Brkić Lj., Živanović T., Tucaković D.: Termoelektrane, Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet, Beograd, 2006., 167 str.
2. * * *: Environmental Resources Management, Revision of the EC Emission Limit Values for New Large Combustion Installations (> 50MW_{th}), London, 1996.
3. * * *: World Bank Technical Paper, Clean Coal Technologies for Development Countries, Washington, D.C., 1995.
4. Feretić D.; Tomšić Ž., Škanata D., Čavlina N., Subašić D.: Elektrane i okoliš, Zagreb, 2000.
5. * * *: Pravilnik o graničnim vrijednostima emisije u vazduh iz postrojenja za sagorijevanje, Sl. glasnik Republike Srpske, 39/05, 2005.
6. Z. Milovanović i drugi: Studija izvodljivosti o izgradnji sistema odsumporavanja dimnog gasa na termoelektrani Ugljevik u Republici Srpskoj, Institut za građevinarstvo „IG“ Banja Luka, PC Trebinje, 2008.
7. * * *: Studija opravdanosti izgradnje TE Stanari u Republici Srpskoj, Bosna i Hercegovina, DK 1821/01-2006, Colenco@Steinmuller engineering, Beograd, 2007.
8. Milovanović Z. i drugi: Prethodna studija o ekonomskoj

Tabela 2 Iznos emisije i iznos smanjenja materija koje zagađuju vazduh, [6]

Parametar	Jedinica mjere	Sadašnje stanje (postojeća TE Ugljevik)	Nakon instalisanja sistema za ODG	Procenat smanjenja, %
SO ₂	mg/m ³ N	25.000	400	98,35
NO ₂	mg/m ³ N	600	583,16	Nema uticaja
Prašina	mg/m ³ N	150	30-45	70-80

- opravdanosti izgradnje TE Stanari, Institut za građevinarstvo „IG“ Banja Luka, Banja Luka, 2007.
10. * * *: Studija energetskeg sektora u BiH, Nacrt konačnog izvještaja, Modul 13: Okoliš, Energetski institut Hrvoje Požar, Zagreb, Hrvatska@Soluziona, Španija, Ekonomski institut, Banja Luka, RS-BiH@Rudarski institut, Tuzla, FBiH-BiH, 2008.
 11. * * *: Studija izvodljivosti izgradnje sistema odsumporavanja dimnog gasa na termoelektrani Ugljevik u Republici Srpskoj, BiH; Mitsui&Co., Ltd. (MBK) Tokyo Electric Power Services Co., Ltd. (TEPSCO), mart 2005.
 12. * * *: Dopunjeni plan aktivnosti sa mjerama i rokovima za postepeno smanjenje emisija, odnosno zagađenje i usaglašavanje sa najboljom raspoloživom tehnikom za termoelektranu Ugljevik, Institut za građevinarstvo „IG“ Banja Luka, Decembar 2007.
 13. Atkinson R.: “Project management: cost, time and quality, two best guesses and a phenomenon, its time to accept other success criteria”, International Journal of Project Management, Vol. 17, No. 6, pp.337-342, 1999.

UDC: 662.992.84 : 621.311.22 : 504.054 (497.113)

Optimizacija izbora sistema za odsumporavanje dimnog gasa na TE Ugljevik

Rezime

Pri sagorijevanju goriva, koje sadrži sumpor kao dominantan produkt njegove oksidacije, nastaje sumpor-dioksid SO_2 , zatim sumpor-trioksid SO_3 (u količini od nekoliko procenata stvorenog SO_2), kao i drugi oksidi sumpora, koji nemaju neki veći značaj (pojavljuju se kao međuprodukti u reakcijama oksidacije). Imajući u vidu štetan uticaj sumpornih oksida na čovjeka, biljni i životinjski svijet, kao i na građevinske objekte i boje, od posebnog je interesa da se njihova emisija svede na prihvatljivu mjeru, a koja neće biti štetna. Ovo je posebno značajno na termoelektrani Ugljevik, gdje se kao gorivo koristi mrki ugalj sa velikim sadržajem sumpora od 4,6 do 5,4%, sa sagorijevanjem koje daje veliku maksimalnu koncentraciju SO_2 pri emisiji iz postrojenja od 25.000 mg/m³N (suva baza). Ovako velike količine emitovanih materija koje zagađuju sredinu iz termoelektrane Ugljevik zahtijevaju hitno instalisanje sistema za odsumporavanje dimnog gasa (ODG) na ovom postrojenju. U okviru rada je dat sažet pregled tehnika za smanjenje emisija SO_2 u vazduh iz termoenergetskih postrojenja, kao i optimizacija izbora za termoelektranu Ugljevik. Takođe su prikazani i glavni zahtjevi performansi sistema ODG na RiTE Ugljevik, kao i dobijeni rezultati vezani za odsumporavanje, usklađivanje nivoa čađi sa dozvoljenim vrijednostima, dobijene krajnje temperature ispuštenog dimnog gasa iz sistema ODG na TE Ugljevik, kao i sastav nusprodukata – gipsa.

Ključne riječi: termoelektrana, odsumporavanje, optimizacija, životna sredina

Selection Optimization of a System for Flue Gases Desulphurization in TPP Ugljevik

Sulphur-dioxide SO_2 , then sulphur-trioxide SO_3 (amounting to few percentages produced by SO_2), as well as other minor sulphur oxides (appear as inter-products in oxidation reactions) are being created during the process of fuel combustion which contains sulphur as dominant product of its oxidation. Taking in consideration harmful impact of sulphur oxides upon humans, flora and fauna and upon civil structures and colours, it is very important to reduce this impact to the acceptable level, which will not be harmful. This is very important in the case of Thermal Power Plant Ugljevik, which for fuel uses brown coal, with high content of sulphur ranging between 4,6 and 5,4%, with combustion that produces high maximal concentration of SO_2 during emission from the plant of 25.000 mg/m³N (dry base). These high amounts of emitted substances that pollute the environment by TPP Ugljevik require urgent installation of a system for desulphurization of flue gases (DFG) on this plant. The Work presents a brief summary of techniques for reduction of SO_2 emissions into the air by thermal power plants, as well as optimization of selection for Thermal Power Plant Ugljevik. The Work also presents the main performances requirements for the DFG system on Mine and TPP Ugljevik, as well as the achieved results with regard to desulphurization, harmonization of soot with the permitted levels, obtained final temperatures of released flue gases from the DFG system in TPP Ugljevik, as well as composition of by-products – gypsum.

Key words: thermal power plant, desulphurization, optimization, environment

1. Uvod

Zakonski okvir za područje zaštite životne sredine u Bosni i Hercegovini determinisan je usvajanjem zakona i većeg dijela podzakonskih akata koji se odnose na sastavne elemente životne sredine (vazduh, voda, zemljište, biodiverzitet, otpad i sl.), dok se donošenje preostalih podzakonskih akata očekuje u narednom periodu. Osim ove regulative, neophodno je imati u vidu i najznačajnije aspekte niza međunarodnih konvencija, protokola i EU direktiva (koje je BiH u većini prihvatila i ratifikovala), s naglaskom na Okvirnu konvenciju Ujedinjenih naroda o promjeni klime (UNFCCC) i Kyotski protokol, te Konvenciju o dalekosežnom prekograničnom onečišćenju vazduha (CLRTAP) i Protokol o suzbijanju zakiseljavanja, eutrofikacije i prizemnog ozona. Poseban značaj kod ovih analiza imaju LCP direktiva (2001/80/EZ) o graničnim vrijednostima emisije iz velikih postrojenja za loženje, zatim IPCC direktiva (96/61/EZ) o ukupnom sprečavanju i nadzoru zagađenja životne sredine, kao i EUETS direktiva (2003/87/EZ) o sistemu trgovanja pravima na emisiju CO₂.

2. Dozvoljene vrijednosti koncentracije štetnih materija

Pri sagorijevanju čvrstog goriva, u atmosferu se kroz dimnjake termoenergetskih postrojenja (TEP) izbacuju leteći pepeo, čestice nedogorjelog ugljenog praha (leteći koks), gasoviti produkti nepotpunog sagorijevanja (ugljen-monoksid i sl.), ugljen-dioksid, sumpor-dioksid, sumpor-trioksid i azotni oksidi. Dospjele materije u atmosferu pri određenim koncentracijama, postaju štetne po ljude, biljni i životinjski svijet, uz povećanje intenziteta habanja

mehanizama, intenzifikacije procesa korozije metala i nagrizanja konstrukcija okolnih zgrada i objekata. Propisima o zaštiti životne sredine definisane su dozvoljene vrijednosti koncentracija štetnih materija, odnosno, definisane su granične vrijednosti dozvoljenih koncentracija štetnih materija koje na čovjeka nemaju direktni ili posredni štetni ili neprijatni uticaj, tabela 1. Dakle, ove vrijednosti ne smanjuju pri tome njegovu radnu sposobnost i ne utiču negativno na njegovo raspoloženje. Pod posrednim uticajem podrazumijeva se uticaj škodljivih materija na mikroklimu i pripadajuću floru i faunu. S druge strane, kako u izlaznim gasovima iz termoelektrane ima istovremeno i sumpordioksida i azotnih oksida, neophodno je posmatrati i njihov kombinovani uticaj (posmatran sa stanovišta uticaja obje komponente). Ukupna koncentracija njihove mješavine izražena u dijelovima granično dozvoljene koncentracije pri njihovom izolovanom uticaju ne smije preći jedinicu, odnosno mora da vrijedi, [1]:

$$\frac{C_{SO_2}}{C_d^{SO_2}} + \frac{C_{NO_x}}{C_d^{NO_x}} \leq 1 \quad (1)$$

U cilju zaštite životne sredine od emisije štetnih materija, neophodno je preduzeti sve mjere za njihovo smanjenje. Suština ovih mjera svodi se na prečišćavanje dimnih gasova od letećeg pepela i nesagorjelih čestica (otprašivanje), zatim smanjenje emisije sumpornih oksida, kao i smanjenje emisije azotnih oksida. Pri izboru lokacije za nova termoenergetska postrojenja, radi zaštite naselja od štetnih materija, neophodno je obezbijediti njihovo odvajanje od naseljenih oblasti zaštitnim zonama površine proporcionalne količini štetnih materija, s ciljem obezbjeđenja njihove

koncentracije u atmosferi koja ne prelazi graničnu dozvoljenu vrijednost. Dodatno opterećenje, koje se može pojaviti pri projektovanju TEPu oblasti sa razvijenom industrijom ili sa velikim gradovima, gdje već postoji koncentracija štetnih materija bliska graničnim dozvoljenim vrijednostima. U tom slučaju, potrebno je težiti rješavanju pitanja zamjenljivosti više tačkastih izvora, koji su najčešće bez adekvatnih uređaja za prečišćavanje gasova, sa jednim većim koji ima savršeniju energetsku opremu i efikasno prečišćavanje dimnih gasova, a najčešće i dimnjake relativno velikih visina.

3. Tehnologije za smanjenje emisije SO₂ u vazduhu

Polazeći od IPPC direktive (96/61/EZ), korišćenjem tehnika smanjenja emisije zagađujućih materija iz termoelektrana u vazduh, koje se mogu smatrati „najboljim raspoloživim tehnikama“ (*Best Available Techniques - BAT*, [4, 5, 6]), značajnije se smanjuju emisije, čime se stvaraju pretpostavke i za ostvarivanje određenih preuzetih, ali i očekivanih međunarodnih obaveza koje će BiH imati u narednom periodu. Same BAT tehnike razlikuju se u zavisnosti od veličine uređaja za loženje, njegovom opterećenju tokom godine (broj sati rada) i karakteristikama goriva koje se sagorijeva.

Osnovna podjela odgovarajućih tehnologija prema zagađujućoj materiji (čiju emisiju smanjuju) je na tehnologije za smanjivanje emisije SO₂, NO_x i čestica prašine, s tim da se u zadnjih nekoliko godina sve više govori i o tehnologijama za smanjivanje emisije CO₂. Ove tehnologije, prema njihovoj lokaciji za smještaj dijele se na tehnologije primijenjene prije procesa sagorijevanja, zatim tehnologije primijenjene na mjestu sagorijevanja, kao i na tehnologije primijenjene nakon procesa sagorijevanja. Pri sagorijevanju goriva koje sadrži sumpor kao dominantan produkt njegove oksidacije, nastaje sumpordioksid SO₂, zatim sumpor-trioksid SO₃ (u količini od nekoliko procenata stvorenog SO₂), kao i drugi oksidi sumpora, koji nemaju neki veći značaj (pojavljuju se kao međuprodukti u reakcijama oksidacije). Imajući u vidu štetan uticaj sumpornih oksida na čovjeka, biljni i životinjski svijet, kao i na građevinske objekte i boje, od posebnog je interesa da se njihova emisija svede na prihvatljivu mjeru, a koja neće biti štetna. Postoji veliki broj tehnika za smanjenje emisija SO₂ u vazduh iz termoenergetskih postrojenja. Prva grupa postupaka zasnovana je na smanjenju emisije SO₂ kroz korišćenje

Tabela 1 Granične vrijednosti emisija za postojeća ložišta na čvrsta goriva, [2, 3]

Parametar	Pravilnik o GVE		LCP direktiva	
	Termička snaga, MW _t	GVE, mg/m ³	Termička snaga, MW _t	GVE, mg/m ³
SO ₂	-	Nema ograničenja	50-100 100-500 γ 500	2000 2.000-400 (linearni pad) 400
NO _x	0,35-10 10-50 γ 50	400 350 Nema ograničenja	50-500 γ 500	600 500 (200*)
Čestice (prašina)	0,35-2 2-50 γ 50	150 50 Nema ograničenja	50-500 γ 500	100 50
CO	0,35-1 1-50 γ 50	400 350 Nema ograničenja		

Napomena: *- primjenjuje se nakon 01.01.2016. godine

energija

goriva sa manjim sadržajem sumpora u gorivu (postupci za smanjenje sumpora u gorivu, „čišćenje“ goriva), druga grupa zasnovana je na primjeni savremenih tehnologija sagorijevanja (potrebna rekonstrukcija ili zamjena kotlovske agregata) i treća grupa, zasnovana na prečišćavanju dimnih gasova prije njihovog ispuštanja u atmosferu. Kako se već unaprijed može i zaključiti, za RiTE Ugljevik jedina moguća alternativa je primjena nekog od postupaka iz treće grupe.

S druge strane, svi postupci za smanjenje emisija sumpornih oksida nakon sagorijevanja uslovno se, prema kriterijumu dobijenog agregatnog stanja jedinjenja nastalih reakcijom aktivne materije i sumpor-dioksida, mogu podijeliti na suve i mokre procese, s tim da se procesi sa raspršivanjem ponekad izdvajaju kao posebna grupa postupaka odsumporavanja. Sa aspekta obnavljanja aktivne materije, ovi postupci mogu biti regenerativni i neregnerativni, *slika 1*. U većini termoelektrana koje se danas nalaze u eksploataciji, dimni gasovi se odsumporavaju putem mokre metode sa emulzijom krečnjaka kao sorbentom i gipsom kao završnim produktom.

3.1. Aktivnosti na obezbjeđenju realizacije postrojenja za ODG na RiTE Ugljevik

Postoji velika zabrinutost da će nepovoljni efekti na ekosistem biti još jačeg intenziteta i u budućnosti. Štaviše, primjena EU usaglašenih ekoloških mjera je značajan preduslov za članstvo u EU koje Bosna i Hercegovina traži. S ciljem obezbjeđenja potpunog poštovanja EU direktiva, rukovodstva elektroprivreda u BiH u zadnje

vrijeme se sve ozbiljnije planiraju uvođenje sistema odsumporavanja dimnog gasa (ODG) za svoje postojeće termoelektrane, dok se kod planiranja gradnje novih termoenergetskih objekata već sada u potpunosti sprovode sve procedure u vezi sa dobijanjem ekološke saglasnosti, uz uzimanje u obzir održivosti predloženih rješenja (izrada prethodna procjena o uticaju na životnu sredinu, izrada studija o uticaju na životnu sredinu, snimanje početnog ili „nultog“ stanja kvaliteta vazduha, vode i zemljišta na planiranoj makro i mikro lokaciji, uključivanje javnosti kroz održavanje javne rasprave i redovnog informisanja o toku procesa putem dnevnih glasila, dostavljanje dokaza uz zahtjev za izdavanje ekološke saglasnosti).

Ovo je posebno značajno na termoelektrani Ugljevik, gdje se kao gorivo koristi mrki ugalj sa velikim sadržajem sumpora od 4,6 do 5,4%, sa sagorijevanjem koje daje veliku maksimalnu koncentraciju SO₂ pri emisiji iz postrojenja od 25.000 mg/m³N (suva baza). Rješenjem o odobravanju Plana aktivnosti sa mjerama i rokovima za postepeno smanjenje emisija, odnosno zagađenja i za usaglašavanje sa najboljom tehnikom na TE Ugljevik, br. 16-92-330/07 od 11.01.2008. godine tačkom 28 predviđena je realizacija postrojenja za ODG. Ovim Rješenjem predviđen je i krajnji rok za realizaciju ove aktivnosti za 31.03.2013. godine. U tom smislu rukovodstvo RiTE Ugljevik, u koordinaciji sa rukovodstvom javnog matičnog preduzeća „Elektroprivreda Republike Srpske“ Trebinje, preduzelo neophodne aktivnosti s ciljem realizacije postrojenja ODG i time obezbjeđenje kontinuiranog nastavka

rada RiTE Ugljevik i nakon 2013. godine.

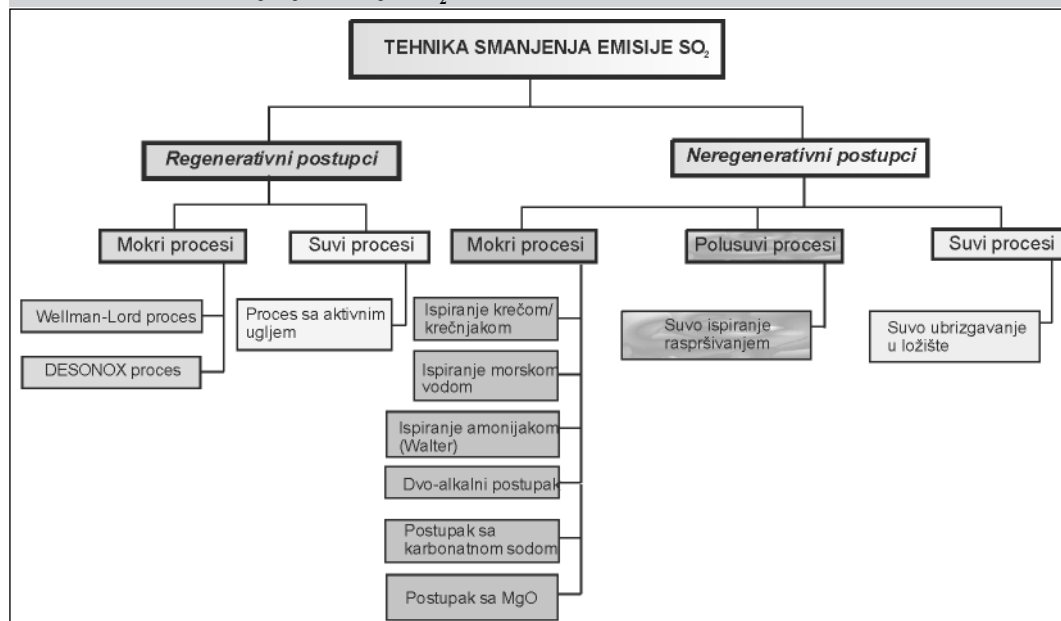
3.2. Pregled tehnologija sistema ODG i optimizacija izbora metode ODG za RiTE Ugljevik

Polazeći od karakteristika lokacije, kao i analize goriva na RiTE Ugljevik usvojene su tri metode, koje su dalje optimizirane s ciljem izbora odgovarajuće metode odsumporavanja dimnog gasa na RiTE Ugljevik. Sve tri su metode odsumporavanja pouzdane i dokazane u stvarnom radu na termoelektranama na ugalj. Polazeći od toga da RiTE Ugljevik ima prilično visoke koncentracije SO₂ od 25.000 mg/m³N (suva baza) u gasu iz kotla termoelektrane, kao i od činjenice da se zahtijeva odsumporavanje od 98,4%, da bi se zadovoljili standardi EU od 400 mg/m³N (suva baza), neophodno je bilo odrediti najoptimalniju metoda odsumporavanja za termoelektranu Ugljevik.

Proces sa raspršivanjem (SDP-Spray Dryer Process). Dimni gas se iz kotla dovodi u apsorber (takode nazvan: sprejni sušač) postrojenja za odsumporavanje dimnog gasa (ODG postrojenje). Preko uređaja za raspršivanje, suspenzija sorbenta, čija je aktivna komponenta Ca(OH)₂, uvodi se u tok dimnog gasa. Voda iz suspenzije isparava pri čemu se komponente dimnog gasa – SO₂, SO₃, HCl i HF, vežu u vidu soli kalcijuma. Za raspršivanje apsorbujućeg agensa, u zavisnosti od isporučioaca, koriste se ili dvojne mlaznice (za komprimirani vazduh i suspenziju) ili centrifugalni raspršivači. Temperatura reakcije u absorberu se kontroliše količinom isparene vode, tako da ona bude od 15 do 20 stepeni

iznad tačke rose. Ovo dovodi do stvaranja suvog produkta (sličnog prašini), mješavine sulfita i sulfata, koja se djelimično ispušta kroz lijevak apsorbera, a djelimično transportuje dimnim gasom do filtera od tekstila, smještenog niz tok strujanja. Krajnji produkt nakupljen u apsorberu i filteru od tekstila se prenosi pneumatskim i mehaničkim sistemima za prenos do silosa za skladištenje. Nakon prolaska kroz filter od tekstila, prečišćeni

Slika 1 Tehnike smanjenja emisije SO₂



dimni gas se ispušta kroz dimnjak pomoću ventilatora dimnog gasa. Veliki broj elektrana (> 15.000 MW) koje koriste ovaj proces u pogonu su ili u fazi konstrukcije širom svijeta, a najviše u SAD i Njemačkoj. Njihov ukupni udio na svjetskom nivou je samo oko 10%. Za nekoliko realizovanih evropskih postrojenja evidentni su određeni problemi s korozijom. Ovi problemi se odnose na kanale prečišćenog gasa, filtere od tekstila i transport nusprodukta. Izgleda da se kod uglja sa visokim sadržajem sumpora i velikom efikasnošću odstranjenja posebna pažnja mora posvetiti temperaturi dimnog gasa i njegovoj temperaturi tačke rose. Sa ovim procesom mogu se postići ukupne efikasnosti od 90 do 95%. Ovaj proces je potpomognut činjenicom da postoji dodatno odsumporavanje dimnog gasa na čvrstom naslagama na filteru od tekstila, postavljenom niz pravac protoka.

Proces ubrizgavanja suvog sorbenta (DSIP- Dry sorbent Injection Process). Daleko najviše postrojenja za odsumporavanje dimnog gasa u elektranama su mokri sistemi i većina njih radi u skladu sa mokrim procesom s krečnjakom, koji koristi suspenziju kreča kao sorbent, a proizvodi gips kao nusprodukt. Pri ovom procesu krečnjak (CaCO_3) koji se koristi kao sorbent reaguje sa SO_2 i kiseonikom da bi stvorio gips ($\text{CaSO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$). Proces odsumporavanja se vrši u apsorberu – („scrubber“), gdje SO_2 iz dimnog gasa u reakciji sa reagensom, u vidu suspenzije stvara kalcijum-sulfit i kalcijum-sulfat. Da bi se završilo oksidiranje u sulfat, dodatno se uduvava vazduh u apsorber (forsirana oksidacija). Suspenzija u apsorberu se recirkuliše i dolazi do otprilike adijabatskog hlađenja dimnog gasa. Na taj način dimni gas prima određenu količinu vode koja ispari iz sorbenta. Radi korištenja, u procesu odsumporavanja dimnog gasa, krečnjak se drobi i priprema se njegova suspenzija prije uvođenja u apsorber. Dimni gas kruži iz elektrostatičkog filtera do izmjenjivača toplote. Takođe, dimni gas se hladi čistim gasom koji dolazi iz apsorbera. Ohlađeni dimni gas ulazi u apsorber, gdje struji u smjeru suprotnom od toka strujanja suspenzije. Istovremeno, dimni gas se hladi do temperature adijabatskog zasićenja. Reakcija odsumporavanja se odvija u apsorberu, pri čemu SO_2/SO_3 iz dimnog gasa i suspenzija reaguju i stvaraju kalcijum sulfit ($\text{CaSO}_3 \times \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$) i kalcijum sulfat ($\text{CaSO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$). Razmatrani proces takođe eliminiše i kisele komponente u dimnom gasu, prvenstveno HCl i HF. Suvišna vlaga se iz dimnog gasa uklanja eliminatorom kapi, koji je postavljen u gornjem dijelu apsorbera. Prečišćeni gas se

vodi do gore pomenutog izmjenjivača toplote. Zagrijani prečišćeni čisti gas se tada ispušta kroz dimnjak. U Njemačkoj, na primjer, većina gipsa dobijenog odsumporavanjem koristi se u industriji gipsa ili u druge svrhe (cementna industrija, niskogradnja, industrija đubriva, rudarski malter i sl.). Tako investicijski troškovi, kao i ostali stalni i promjenljivi troškovi kod korišćenja mokrih postupaka sa krečom/krečnjakom, a u zavisnosti od snage termoelektrane, sadržaja sumpora u gorivu i same efikasnosti uklanjanja sumpora za već postojeće termoelektrane iznose 130 do 240 EUR/kW, a za nove 100-190 EUR/kW, dok promjenljivi troškovi eksploatacije i održavanja za postojeću termoelektranu iznose od 0,5 do 1,2 EURc/KWh. Za ugradnju na već postojeća postrojenja potrebno je 3 do 6 sedmica.

Metoda korištenja (apsorpcije) morske (riječne) vode. Morska (riječna) voda se koristi kao agens odsumporavanja. Poslije odsumporavanja, ova voda se ispušta u recipijent. Ovaj metod odsumporavanja je odnedavno uveden u neke termoelektrane na uglj, ali se većinom upotrebljava u jugoistočnoj Aziji. Dimni gas iz kotla se uvodi u opremu za odsumporavanje pomoću pojačivačkog ventilatora (PV). Dimni gas se prvo hladi pomoću gas-gasnog grijača (GGG) na strani dobijanja povratne toplote, prije nego što se pošalje u apsorber. Gas se čisti od prašine i odsumporava u apsorberu, a magla se uklanja pomoću eliminatora magle na vrhu apsorbera. Gas koji izlazi iz apsorbera se grije u GGG na strani zagrijavanja, prije nego što se otpusti u atmosferu putem postojećeg dimnjaka. Morska (riječna) voda poslije odsumporavanja se ispušta u recipijent (more, jezero, rijeka) ako zadovoljava zahtjeve za otpadne vode. Zavisno od standarda za otpadne vode ova voda se može oksidirati korištenjem propuštanja vazduha kroz nju pomoću uređaja za COD tretiranje u bazenu za podešavanje vode za odsumporavanje, a u drugim slučajevima ona se razblažuje da se ublaže promjene vode u koju se ispušta.

3.3. Izbor metode odsumporavanja na RiTE Ugljjevik

Kao dodatak prethodno datim metodama, postoje takođe metode odsumporavanja koje koriste natrijum hidroksid (NaOH), magnezijum hidroksid ($\text{Mg}(\text{OH})_2$), amonijak NH_4OH ili druge supstance kao apsorberte. Međutim, ove metode jedva da se u većem obimu koriste kao metode odsumporavanja za termoelektrane na uglj. Iako su sve tri metode odsumporavanja pouzdane i dokazane u

stvarnom radu na termoelektranama na uglj, istraživanja sprovedena u okviru [8,9], su potvrdila da:

- Metoda sa procesom ubrizgavanja suvog sorbenta (*DSIP- Dry sorbent Injection Process*) ili kraće metoda krečnjak-gips ima najveću primjenu u klasičnim termoelektranama na uglj, zatim postoji kamenolom krečnjaka u blizini sposoban za obezbjeđivanje stabilnog snabdijevanja krečnjakom, a nusprodukt se može iskoristiti ili odložiti u za to pripremljene kasete na lokaciji kopa na rudniku. Studija nije otkrila veće nedostatke u korištenju ove metode na RiTE Ugljjevik. Šema ovog procesa, prilagođenog korištenju na RiTE Ugljjevik data je na slici 2.
- Metoda sa procesom sa raspršivanjem (*SDP- Spray Dryer Process*) ili kraće metoda sprej sušionika nije odgovarajuća, zbog visokog opterećenja odsumporavanja. Metoda sprej sušionika se obično koristi kad je zahtijevana stopa odsumporavanja oko 80%, tako da ona ne odgovara zahtjevima u ovom slučaju. Šema ovog procesa, prilagođenog korištenju na RiTE Ugljjevik data je na slici 3.
- Metoda morske (riječne) vode se koristi u obalskim područjima, ali nije pogodna za područja unutar zemlje. Čak i ako se riječna voda uzme kao zamjena za morsku vodu, ova metoda nije pogodna zbog potrebe da se koristi i nakon procesa vraća u vodotok velika količina vode, što sa aspekta ostvarivanja potrebnih ekoloških standarda nije izvodljivo. Šema ovog procesa, prilagođenog korištenju na RiTE Ugljjevik data je na slici 4.

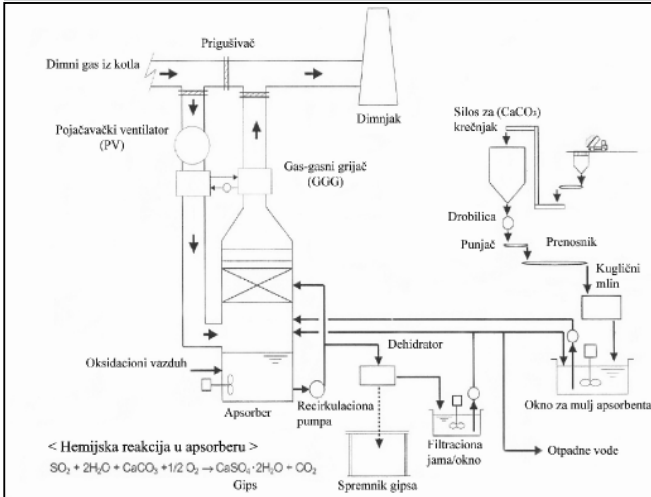
Nakon sprovedene optimizacije, metoda sa procesom ubrizgavanja suvog sorbenta (*DSIP- Dry sorbent Injection Process*) ili kraće metoda krečnjak-gips je na kraju i odabrana kao najprihvatljivija za termoelektranu Ugljjevik.

Raspored/razmještaj opreme i postrojenja unutar sistema za ODG na RiTE Ugljjevik je dat na slici 5.

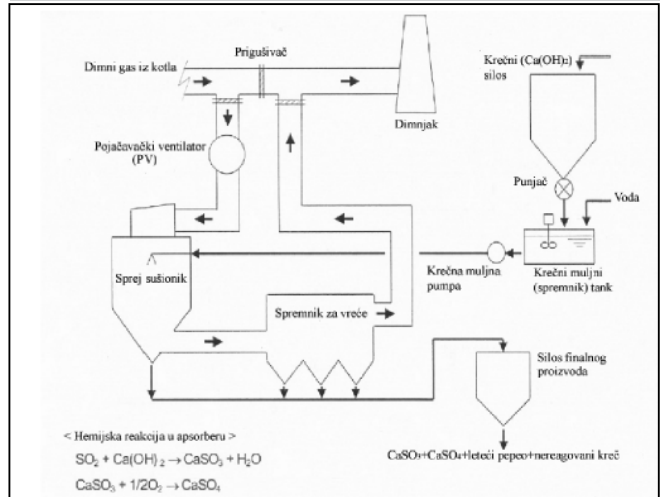
4. Iznos smanjenja materija koje zagađuju vazduh nakon instalisanja sistema za ODG na RiTE Ugljjevik

Obim smanjenja zagađivača vazduha nakon instalisanja sistema ODG pokazuje tabela 4. Očigledna su poboljšanja i efekti smanjenje sumpor dioksida (SO_2) i prašine nakon instalisanja sistema ODG, odnosno, generalno se očekuje značajno poboljšanje životne sredine.

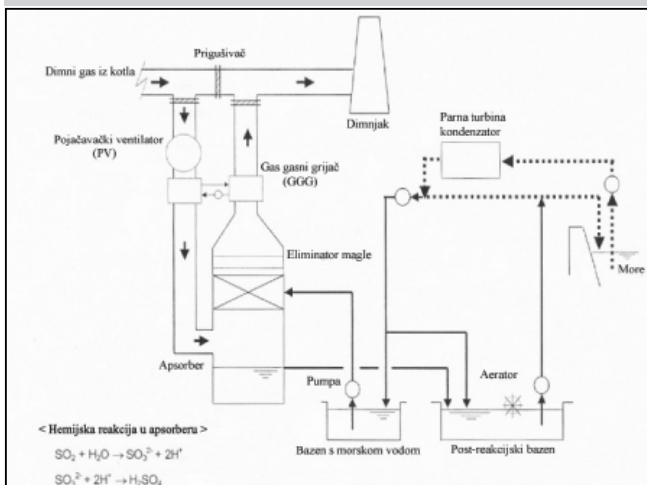
Slika 2 Šema tipičnog koncepta procesa po metodi sa procesom ubrizgavanja suvog sorbenta (DSIP- Dry sorbent Injection Process) ili kraće metodi „krečnjak-gips“



Slika 3 Šema tipičnog koncepta procesa po metodi sa procesom sa raspršivanjem (SDP- Spray Dryer Injection Process) ili kraće metodi „sprej sušionika“



Slika 4 Tipičan koncept ODG procesa apsorpcijom morske vode



4.1. Analiza uticaja materija koje zagađuju

Prognoza disperzije ili raspršivanja emitovanih materija iz termoelektrane (koje vrše zagađivanje) u atmosferu, sprovedi se s ciljem predviđanja nivoa uticaja na životnu sredinu u mikro i makro regionu. Prognoza atmosferske

disperzije je trebala da sračuna difuziju izduvnog gasa emitovanog iz dimnjaka termoelektrane Ugljevik i koncentraciju niz vjetar na nivou zemlje. Prognoza je bila bazirana na kratkoročnoj difuziji. Generalno, ovdje su uzeti klimatske uslovi i svojstva izduvnog gasa za nazivno opterećenje bloka termoelektrane. Mjerene koncentracije su na nivou zemlje, niz vjetar na jedan i 24 sata.

4.2. Proračun difuzije emitovanih materija iz termoelektrane (jednačine Bosanquet-a i Sutton-a)

Za izračunavanje difuzije prema japanskim standardima za kontrolu zagađivanja vazduha za emisije sumpor

Slika 5 Prikaz raspored opreme i postrojenja za sistem ODG na RiTE Ugljevik

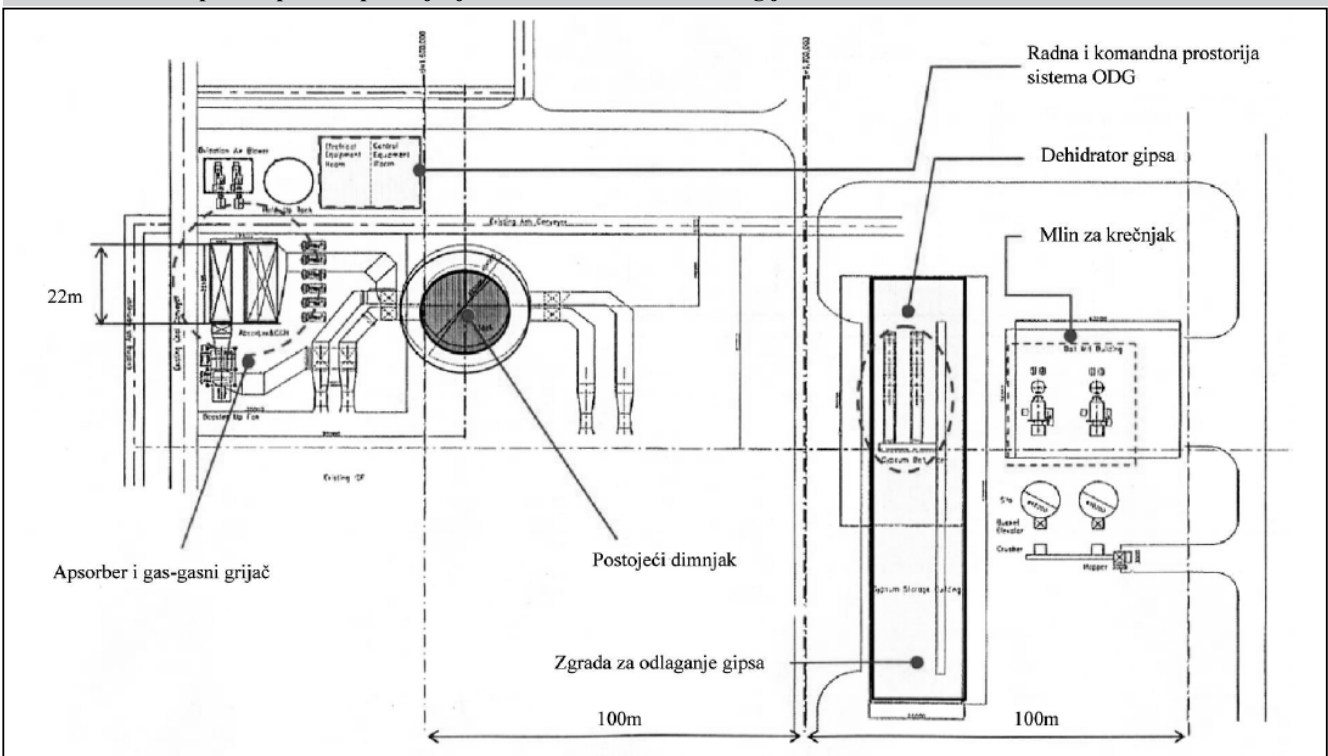


Tabela 3 Poređenje ODG procesa za kotao sa ugljem kao pogonskim gorivom			
Proces	Metoda sa procesom ubrizgavanja suvog sorbenta (DSIP - Dry sorbent Injection Process) ili kraće metoda krečnjak-gips	Metoda sa procesom ubrizgavanja suvog sorbenta (DSIP - Dry sorbent Injection Process) ili kraće metoda krečnjak-gips	Metoda sa procesom raspršivanjem (SDP - Spray Dryer Process) ili kraće metoda sprej sušionika
Prikaz			
Primjenjiva ODG efikasnost	90-98 %	90-98 %	90-98 %
Apsorbent	Krečnjak Lako se obezbjeđuje i nabavlja	Gašeni kreč Skuplji od krečnjaka	Morska (riječna) voda
Nusprodukt	Gips: koristi se kao dodatak cementu, gipsu/gipsanim pločama, poboljšanju tla, itd.	Suva mješavina kalcijum sulfida i sulfata, leteći pepeo i neragovani kreč: koristi se kao građevinski materijal nakon obrade	Ispuštanje vode u recipijent (otpadne vode), sa velikom vjerovatnoćom negativnog uticaja na životnu sredinu
Prostor postrojenja	Baza	Manji	Veći (za razblaživanje i oksidaciju morske vode)
Reprezentativna iskustva svijeta	Mnoga iskustva zbog raširenosti ODG tehnologije širom svijeta	SAD i druge zemlje	Shenzen West Power Station, 1x300MW, Kina Paiton II termoelektrana, 2x600MW, Indonezija
Specijalne osobine			
Prednosti	- jeftin apsorber - nusprodukt koji se može prodati	- ne zahtijeva se dogrijač gasa - može bez otpadnih voda	- morska voda kao besplatan apsorber - prost sistem
Mane	- zahtijeva se tretiranje otpadnih voda - zahtijeva se dogrijač dimnog gasa	- manja efikasnost uklanjanja SO ₂ - veći stoihometrijski (Ca/S) odnos apsorbera - veći troškovi rada	- zahtijeva se dogrijač dimnog gasa - veliko ispuštanje zagađene vode - veća potrošnja pomoćne energije
Primjena	Široka primjena za ODG postrojenja gdje se zahtijeva visoka efikasnost uklanjanja SO ₂ i/ili relativno veći kapacitet, laka nabavka krečnjaka	Primjenjuje se na ODG postrojenjima, gdje se ne traži tako visoka efikasnost uklanjanja SO ₂ i/ili relativno manji kapacitet, skuplji gašeni kreč	Primjenjuje se na ODG postrojenja koja su instalirana pored mora, bez stroge regulacije otpadnih voda

oksida korištene su jednačine Bosanquet-a i Sutton-a. Karakteristike izduvnog gasa uzeta za proračun su prikazani u okviru *tabele 5*. Maksimalna koncentracija materija koje zagađuju vazduh na zemlji i maksimalna udaljenost koncentracije na zemlji poslije uvođenja projekta su prikazane u *tabeli 6*, dok su krive koncentracije na zemlji prikazane na *slikama 6 i 7*. Kao što je prikazano u *tabeli 6*, koncentracija različitih zagađivača na nivou zemlje obezbjeđuje vrijednost koja zadovoljava maksimalno prihvatljivu koncentraciju, određenu prema važećim standardima. S druge strane, prognoza sopstvenog uticaja na životnu sredinu je minimalna i zanemarljiva u poređenju sa ostvarenim pozitivnim efektima.

4. Zaključak

U cilju realizacije projekta za smanjenje ispuštanja količine sumpor oksida u dimnom gasu iz TE Ugljivik, instalisanjem sistema za odsumporavanje dimnog gasa (ODG), a u skladu sa direktivama EU i odredbama seta zakona i uredbi o zaštiti životne sredine koji važe u Republici Srpskoj, usvojene su tri metode za odsumporavanje, koje su dalje optimizirane s ciljem izbora odgovarajuće metode na RiTE Ugljivik, *tabela 3*. Sve tri su metode odsumporavanja pouzdane i dokazane u stvarnom radu na termoelektranama na ugallj. Sa tačke gledišta, data činjenica prilično visoke koncentracije SO₂ od 25.000 mg/m³N (suva baza) u gasu iz kotla termoelektrane Ugljivik i činjenice da se zahtijeva odsumporavanje od 98,4%, da bi se zadovoljili standardi EU od 400 mg/m³N (suva baza),

Tabela 4 Iznos emisije i iznos smanjenja materija koje zagađuju vazduh

Parametar	Jedinica mjere	Sadašnje stanje (postojeća TE Ugljivik)	Nakon instalisanja sistema za ODG	Procenat smanjenja, %
SO ₂	mg/m ³ N	25.000	400	98,35
NO ₂	mg/m ³ N	600	583,16	Nema uticaja
Prašina	mg/m ³ N	150	30-45	70-80

najoptimalnija metoda odsumporavanja za termoelektranu Ugljivik je metoda sa procesom ubrizgavanja suvog sorbenta (DSIP- Dry sorbent Injection Process) ili kraće metoda „krečnjak-gips“. Projekat instalisanja sistema ODG na RiTE Ugljivik ne proizvodi nikakav neposredan prihod, jer će rad

Tabela 5 Karakteristike izduvnog gasa sa RiTE Ugljevik

Parametar	Jedinica mjere	Sadašnje stanje (prije ugradnje ODG)	Stanje nakon instalisanja sistema za ODG
Tok izduvnog gasa	10 ³ m ³ N/h	1.460 ^(*)	1.679
Temperatura izduvnog gasa	°C	192	90
Brzina izduvnog gasa	m/s	9,75	8,76
Visina dimnjaka	m	310	310
SO ₂	mg/m ³ N	25.000	400
NO ₂	mg/m ³ N	600	583,16
Prašina	mg/m ³ N	150	30-45

Development Countries, Washington, D.C., 1995.

6. Feretić D.; Tomšić Ž., Škanata D., Čavlina N., Subašić D.: Elektrane i okoliš, Zagreb, 2000.

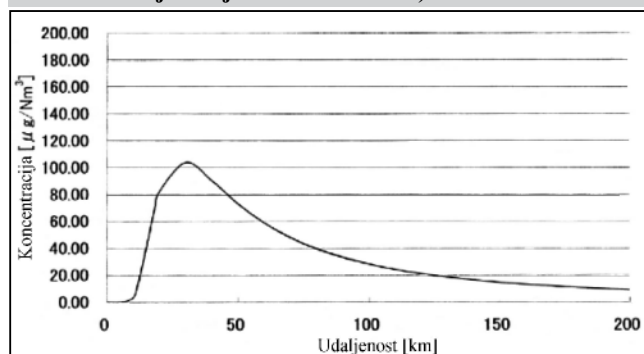
7. * * *: Studija energetskog sektora u BiH, Nacrt konačnog izvještaja, Modul 13:

Tabela 6 Rezultati prognoze atmosferske disperzije

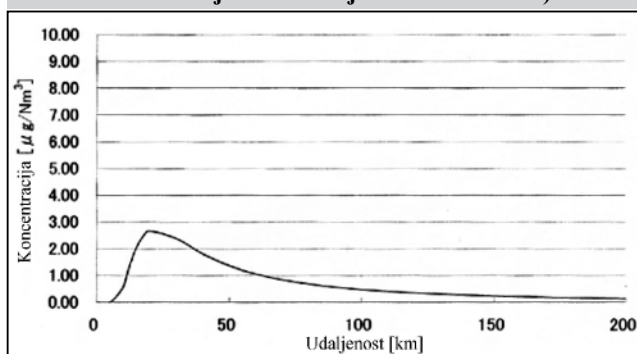
Sadržaj zagađivača vazduha		Jedinica mjere	Sadašnje stanje na TE	Nakon ugradnje sistema za ODG	Standardi			
					BiH	Svjetska banka	EU	
Maksimalna koncentracija na zemlji	SO ₂	1,0 sat	µg/Nm ³	175,92*	4,56*	90**	-	350
		24 sata	µg/Nm ³	104,38*	2,71*	-	150	125
	NO ₂	1,0 sat	µg/Nm ³	4,22*	8,92*	60**	-	200
		24 sata	µg/Nm ³	2,51*	5,29*	-	150	40
	Prašina	1,0 sat	µg/Nm ³	1,06*	0,45-0,66	-	-	-
		24 sata	µg/Nm ³	0,62*	0,26-0,40	110**	150	50
Udaljenost maksimalne koncentracije na zemlji (km)		km		28,49*	18,59*	-	-	-

Napomena: * - sračunate vrijednosti na osnovu Bosanquet-Sutton-ove formule; ** - naseljeno područje

Slika 6 Kriva koncentracije SO₂ na zemlji (sadašnje stanje: vrijednost za 24 sata)



Slika 7 Kriva koncentracije SO₂ na zemlji (nakon instalisanja ODG: vrijednost za 24 sata)



ovog postrojenja imati kao rezultat smanjenje sumpornih oksida iz dimnog gasa. Iako ovo ODG postrojenje proizvodi gips kao nusprodukt, koji se može dalje prodavati za industriju cementa ili izradu gipsanih ploča, nije realno očekivati da Republika Srpska odnosno BiH ima značajniju potrebu za ovim nusproduktom, a u budućem vremenu se ne očekuje ni značajniji porast industrije koja bi se temeljila na ovom nus proizvodu kao ulaznoj sirovini. Zbog toga će proizvedeni gips biti odložen u bivše rudnike uglja u okviru termoelektrane Ugljevik. Treba istaći da je međuproizvod procesa odsumporavanja suspenzija, koja se sastoji od smjese kalcijum-sulfitu i kalcijum-sulfata i koja sadrži hloride, fluoride i leteći pepeo u skladu sa sastavom dimnog gasa. Dalja prerada suspenzije umnogome zavisi od lokalnih uslova i mogućnosti odlaganja ili upotrebe.

Literatura

1. Brkić Lj. Živanović T., Tucaković D.: Termoelektrane, Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet, Beograd, 2006., 167 str.
2. * * *: Pravilnik o graničnim vrijednostima emisije u zrak iz postrojenja za sagorijevanje, Sl. Novine FBiH, 12/05, 2005.
3. * * *: Pravilnik o graničnim vrijednostima emisije u vazduh iz postrojenja za sagorijevanje, Sl. Glasnik Republike Srpske, 39/05, 2005.
4. * * *: Environmental Resources Management, Revision of the EC Emission Limit Values for New Large Combustion Installations (> 50MW_{th}), London, 1996.
5. * * *: World Bank Technical Paper, Clean Coal Technologies for

Okoliš, Energetski institut Hrvoje Požar, Zagreb, Hrvatska@Soluzionaria, Španija, Ekonomski institut, Banja Luka, RS-BiH@Rudarski institut, Tuzla, FBiH-BiH, 2008.

8. Z. Milovanović i drugi: Studija izvodljivosti o izgradnji sistema odsumporavanja dimnog gasa na termoelektrani Ugljevik u Republici Srpskoj, Institut za građevinarstvo „IG“ Banja Luka, PC Trebinje, 2008.
9. * * *: Studija izvodljivosti izgradnje sistema odsumporavanja dimnog gasa na termoelektrani Ugljevik u Republici Srpskoj, BiH; Mitsui&Co., Ltd. (MBK) Tokyo Electric Power Services Co., Ltd. (TEPSCO), mart 2005.

Opravdanost primene kogenerativnog postrojenja sa gasnim turbinama u toplani "Novi Beograd"

Rezime

Na levoj obali reke Save na Novom Beogradu, locirana je termoelektrana–toplana (TE-TO) koja pripada JKP "Beogradske elektrane". Na lokaciji TE-TO Novi Beograd instalisani toplotni izvori iznose 779 MW. Za potrebe daljinskog grejanja koristi se vrelovodni sistem temperaturnog režima 120/65 °C. TE-TO Novi Beograd je opremljena sa tri gasne turbine proizvođača "Fiat" (ukupnog kapaciteta 3 x 32 MW). Izduvni gasovi gasnih turbina, temperature 410 °C, koriste se za zagrevanje vode u kotlovima utilizatorima proizvođača "Simering-Gratz-Pauker" (ukupne toplotne snage 3 x 43 MW). Gasne turbine i kotlovi utilizatori su instalisani 1965. godine, te su zbog niskog stepena iskorišćenja od 26,5 % i skupog goriva (kerolin) imali veoma mali broj sati angažovanja. U ovom radu je prikazana analiza ekonomičnosti kogenerativnog postrojenja sa novim gasnim turbinama na području toplane Novi Beograd. Pri tome je finansijska analiza rađena sa aspekta rentabilnosti samog kogenerativnog objekta, dok je ekonomska analiza rađena sa aspekta ocene korišćenja resursa društveno-političke zajednice. JKP "Beogradske elektrane" imaju početne preduslove za relativno brzo uvođenje kogenerativnih postrojenja, s obzirom da se postojeće gasne turbine, koje nisu u funkciji, mogu u kratkom roku zameniti sa novim savremenim gasnim turbinama. Za proizvodnju toplotne energije mogli bi da se koriste postojeći kotlovi utilizatori. Pored kotlova utilizatora na raspolaganju je i mašinska sala na TO Novi Beograd, kao i drugi pomoćni i infrastrukturni sistemi. Analiza celokupne investicije od oko 83 miliona evra pri diskontnoj stopi od 10 %, za tri nove savremene gasne turbine (snaga svake turbine po 80 MW, tip GT 6FA od proizvođača "General Electric"), pokazuje da je period povraćaja investicije 7 godina. Cilj kombinovane proizvodnje je da se visoka radna sposobnost produkata sagorevanja koristi za proizvodnju električne energije, a izlazni gasovi za proizvodnju toplotne energije. Stepenn korisnosti ovakve kombinovane proizvodnje je oko 80%. Prednosti kombinovane proizvodnje su višestruke, a među najznačajnijim su smanjeno zagađivanje okoline štetnim gasovima i otpadnom toplotom i ušteda primarne energije.

Ključne reči: kogeneracija, gasna turbina, toplana, stepen korisnosti, životna sredina.

Justificatin for Implementation of the Cogeneration Facility with Gas Turbines in Generation Plant "Novi Beograd"

On the left bank of the river Sava at Novi Beograd, power and heat generation plant (TE-TO) is situated that belongs to Public Utility Company "Beogradske elektrane". At the location of TE-TO Novi Beograd installed heat capacity is 779 MW. For the need of district heating system hot water system is used with temperature regime of 120/65 °C. TE-TO Novi Beograd has three gas turbines manufactured by "Fiat" (with total capacity of 3 x 32 MW). Flue gases from gas turbine with temperature of 410 °C are used for heating the water in boiler – utilizers produced by "Simering-Gratz-Pauker" (with total capacity of 3 x 43 MW). Gas turbines and boiler – utilizers have been installed in 1965 and due to low efficiency of 26.5 % and expensive fuel (kerosene), they have had a little operating hours. This paper analyzes the economy of cogeneration facility with new gas turbines at the area of Generation Plant Novi Beograd. At that, financial analysis is worked from the profitability aspect of cogeneration object itself and economy analysis is made from the aspect of evaluation of using social and political community resources. PUC "Beogradske elektrane" has initial preconditions for relatively fast implementation of cogeneration facilities, considering that the existing gas turbines, which are not in function at the moment, can be in the short time period replaced with new modern gas turbines. The existing boiler – utilizers could be used for production of heating energy. Beside boiler – utilizers the machine shop is available at generation Plant Novi Beograd, as well as the other auxiliary and infrastructure systems. Analysis of total investment of cca 83 mil euros at discount rate of 10 %, for three new, modern gas turbines (power of each turbine is 80 MW, type GT 6FA manufactured by "General Electric"), shows that return on investment period is 7 years. Aim of combined production is to use high operation capacity of production products for power production, and output of flue gases for production of heating energy. Efficiency for this type of combined production is around 80% Advantages of combined production are multiple, and one of the most important benefits is reduction of environment pollution by noxious gases and heat waste and saving of primary energy.

Key words: cogeneration, gas turbine, generation plants, efficiency, environment.

1. Opšta razmatranja o gasno turbinskim i kombinovanim ciklusima

Kotlovi utilizatori na TO Novi Beograd imaju i dodatne gorionike za sagorevanje tečnog goriva, čime je njihov kapacitet povećan na 3x116 MW. Međutim, ukoliko se ne koriste gasne turbine, kapacitet kotlova je 3x105 MW. Kotlovi utilizatori rade na pritisku od 16,5 bar i temperaturi od 180 °C na izlazu iz kotla. Njihov stepen iskorišćenja iznosi 86 %. Svaki ima 8 gorionika tipa "Unitherm" i sagoreva mazut. U sistemu kombinovane proizvodnje električne i toplotne energije, kada su gasne turbine radile, ukupni stepen iskorišćenja TE-TO Novi Beograd u grejnom periodu je bio 67 %. Zbog brojnih razloga, a pre svega zbog isteka tehničkog i ekonomskog veka gasne turbine nisu u poslednjih deset godina dovoljno održavane i otpisane su za dalju primenu.

Analizirana je osnovna varijanta sa tri gasne turbine tipa GT 6FA, kapaciteta 3x80 MW, koje treba montirati u TE-TO Novi Beograd, na mestu postojećih, otpisanih gasnih turbina i uz korišćenje postojećih kotlova utilizatora (kapaciteta 3x100 MW). S obzirom na veliku energetska efikasnost kogenerativnog postrojenja pretpostavljeno je da će novo postrojenje raditi u baznom režimu, te da će imati maksimalni faktor opterećenja koji odgovara veličini toplotnog konzuma područja TO Novi Beograd. Predviđeno je da TE-TO radi 3.500 sati u grejnoj sezoni, sa punom proizvodnjom sve tri jedinice. Van grejne sezone postoji potreba da se jedna gasna turbina i jedan kotao utilizator koriste za pokrivanje konzuma sanitarne tople vode i vrlo verovatno energije za rashladne uređaje u periodu visokih spoljnih temperatura vazduha. Faktor angažovanja bloka za sanitarnu toplu vodu mogao bi da bude 80%.

Jedna od značajnih pretpostavki za finansijske i ekonomske analize je nabavna cena prirodnog zemnog gasa i prodajna cena električne i toplotne energije. Polazeći od realne situacije o usklađivanju cena električne energije na pragu elektrane, sa trendom porasta cena u zemljama Jugoistočne Evrope, kao i u EU, usvojena je cena od 50 €/MWh, dok je cena toplotne energije uzeta na nivou od 45 €/MWh, što približno odgovara današnjim troškovima proizvodnje toplote u Beogradu. Nabavna cena prirodnog zemnog gasa na pragu TE-TO Novi Beograd usvojena je na nivou 0,25 €/Nm³.

Kombinovana proizvodnja ili kogeneracija, predstavlja proizvodnju

dva različita vida energije u okviru jednog postrojenja. Jedan vid energije je uvek toplotna energija, a drugi vid može biti električna energija ili mehanički rad. U Srbiji se električna energija uglavnom proizvodi u konvencionalnim termoelekttranama, sa parnim turbinama i kotlovima na ugalj. Stepenn korisnosti ovakvog postrojenja je nizak i iznosi 30- 35 %.

Toplotna energija za potrebe grejanja se proizvodi u toplanama sa kotlovima na tečno gorivo i prirodni gas. Stepenn korisnosti proizvodnje toplotne energije u ovakvim konvencionalnim postrojenjima iznosi oko 85-90 %. Cilj kombinovane proizvodnje je da se visoka radna sposobnost produkata sagorevanja koristi za proizvodnju električne energije, a izlazni gasovi za proizvodnju toplotne energije. Stepenn korisnosti ovakve kombinovane proizvodnje je oko 80 %. Prednosti kombinovane proizvodnje su višestruke. Među najznačajnijim su smanjeno zagađivanje okoline štetnim gasovima (azotni oksidi, ugljen monoksid i ugljen-dioksid) i otpadnom toplotom i ušteda primarne energije. Koncentracija azotnih oksida i ugljen monoksida kod gasnih turbina je niža nego u konvencionalnim kotlovima zbog niže temperature sagorevanja i većeg koeficijenta viška vazduha, a zbog većeg ukupnog stepena korisnosti smanjena je potrošnja primarne energije.

Primena gasne turbine u proizvodnji električne energije je počela tridesetih godina prošlog veka, a već danas gasna turbina ima široku primenu u proizvodnji električne energije i u kombinovanoj proizvodnji. Osnovni elementi gasne turbine su: turbokompresor, grejna komora i turbina. Turbokompresor usisava vazuh iz okoline i sabija ga. Sabijeni vazduh se zatim odvodi u grejnu komoru, u koju se ubrizgava gorivo. Smeša goriva i sabijenog vazduha sagoreva zagrevajući radno telo, pri čemu se menjaju termodinamičke veličine stanja i hemijski sastav radnog tela. Produkti sagorevanja ekspandiraju u gasnoj turbini do približno atmosferskog pritiska. Mehanički rad koji se pri tome dobija, koristi se jednim delom za pokretanje generatora, a drugim za pokretanje turbokompresora.

Danas se za proizvodnju električne energije koriste sledeći tipovi gasnih turbina:

- gasne turbine izvedene od avionskih motora (aeroderivati),
- klasične industrijske turbine namenjene samo za stacionarnu primenu u energetici i industriji.

Gasne turbine su našle primenu zbog svojih sledećih karakteristika:

- niskih investicionih troškova izgradnje,
- brzog startovanja i zaustavljanja,
- brzog odziva na promenu opterećenja,
- visoke pouzdanosti u radu,
- kratkog vremna izgradnje,
- lakog i ekonomičnog održavanja,
- visokih temperatura izduvnih gasova što omogućava proizvodnju toplote visokih parametara,
- niske emisije štetnih gasova.

Aeroderivati su prerađeni avionski motori lake konstrukcije, većeg stepena korisnosti, ali obično i većih investicionih troškova u odnosu na klasične gasne turbine. Aeroderivati su pogodniji za promenljive uslove rada zbog bržeg startovanja i bržeg odziva na promenenu opterećenja. Veće jedinice su dostupne u snagama i do 100 MWe. Zbog visoke vrednosti stepena kompresije (obično oko 30) kod ovih turbina je potrebno primeniti dodatni kompresor za kompresiju gasa koji se dovodi grejnoj komori.

Temperatura produkata sagorevanja na izlazu iz gasne turbine je oko 450°–600 °C. Lopatice turbine izložene su visokim temperaturama produkata sagorevanja, što prouzrokuje njihovu koroziju ili eroziju. Visoka temperatura produkata sagorevanja na izlazu iz gasnih turbina omogućava proizvodnju vrela vode ili pare visokih parametara (pritiska i temperature). U cilju povećanja stepena korisnosti vrši se rekuperacija toplote izlaznih gasova. Rekuperacija povećava stepen korisnosti ali snižava temperature izduvnih gasova (prosečno 300 °C), tako da manje toplote ostaje na raspolaganju za eventualnu primenu u sklopu postrojenja za kombinovanu proizvodnju. Stepenn korisnosti gasnog ciklusa raste sa povećanjem temperature radnog tela na ulazu u turbinu. Zbog metalurških ograničenja ova temperatura je ograničena na vrednost do 1.300 °C. Za povećanje stepena korisnosti gasnog postrojenja koristi se toplota izduvnih gasova.

Atmosferski uslovi imaju veliki uticaj na stepen korisnosti. Proizvođači turbine obično definišu parametre postrojenja na temperaturi okoline od 15 °C, pri relativnoj vlažnosti 60 % na nadmorskoj visini 0 m (nivo mora), ISO uslovi. Temperatura okoline ima uticaj na stepen korisnosti gasnog ciklusa i sa njenim povećanjem stepen korisnosti opada. Nadmorska visina (pritisk i gustina) takođe utiču na stepen korisnosti gasnog ciklusa, tako na primer na svakih 300 m porasta

energija

nadmorske visine snaga bloka opada za 2-4 %. Vlažnost utiče na gustinu vazduha, a time i na maseni protok, odnosno na snagu gasnog bloka. Stepenn korisnosti se znatno menja i sa promenom opterećenja gasne turbine. Stepenn korisnosti gasne turbine male i srednje snage iznosi 25-35 % a za veće turbine može dostići vrednost od 38-40 %. Izuzetak su aeroderivati koji i za srednje snage mogu dostići vrednosti stepena korisnosti od 42 %.

2. Snabdevanje električnom energijom u Srbiji

Termoelektrane na uglj čine najveći udeo u ukupnim instalisanim kapacitetima EPS-a sa neto instalisanom snagom od 3.936 MW i učešćem u ukupno proizvedenoj električnoj energiji od 67 % u 2005. godini. Pored termoelektrana u termoenergetskom sistemu EPS-a postoje i tri termoelektrane toplane sa neto instalisanom snagom od 353 MW i učešćem u proizvodnji električne energije od 1 % u 2005. godini. Ukupno je izgrađeno šest termoelektrana na uglj i tri termoelektrane toplane na mazut/gas. Prosečna starost termoenergetskih jedinica na uglj iznosi 26 godina, a starost se kreće u rasponu od 15 do 50 godina.

Strategija razvoja energetike Republike Srbije do 2015. godine, predviđa izgradnju novih termoenergetskih postrojenja uvođenjem novih energetski efikasnijih i ekološki prihvatljivih gasnih tehnologija (kombinovani gasno-parni ciklus, kombinovana proizvodnja električne i toplotne energije).

Formiranjem zajedničkog energetskog tržišta na prostoru jugoistočne Evrope stvaraju se preduslovi za plasman viškova električne energije i na druga Evropska tržišta. Radi zauzimanje adekvatne pozicije na energetskom tržištu jugoistočne Evrope neophodna je intenzivna izgradnja novih savremenih ekološki i ekonomski prihvatljivih kapaciteta. Srbija se snabdeva prirodnim gasom iz sopstvenih izvora (do 10%) i iz međunarodnog gasovoda koji dolazi iz Rusije preko Ukrajine i Mađarske do Srbije (preko 90%). Pored količina prirodnog gasa koje se koriste za snabdevanje domaćih potrošača, gasovodnim sistemom Srbije, transportuje se i prirodni gas za BiH. Gasovodni sistem Srbije omogućava transport $3,7 \times 10^9$ m³ prirodnog gasa za Vojvodinu, $1,7 \times 10^9$ m³ za centralnu Srbiju kao i $0,7 \times 10^9$ m³ za zapadnu Srbiju i Bosnu i Hercegovinu što čini ukupno $6,1 \times 10^9$ m³ godišnje. Rekonstrukcijom kompresorske stanice u Batajnici omogućeno je povećanje

transportnog kapaciteta na $6,8 \times 10^9$ m³ godišnje. Gasovodni sistem Srbije se sastoji od magistralnih, dovodnih i razvodnih gasovoda i gradskih distributivnih mreža srednjeg i niskog pritiska, prijemnih i predajnih stanica za gas, glavnih razvodnih čvorova, kompresorske stanice, glavnih merno-regulacionih stanica (GMRS) i merno-regulacionih stanica (MRS). Sistem za transport prirodnog gasa je izgrađen od čeličnih cevi prečnika od 2" do 30". Starost gasovoda je između 10 i 40 godina. Magistralnim gasovodima u Srbiji se transportuje gas koji se preuzima na prijemnoj stanici u Horgošu i gas sa domaćih gasnih polja. Najveće količine gasa se transportuju magistralnim gasovodima na pravcu Horgoš-Batajnica. Radni pritisak u magistralnim gasovodima je maksimalno 50 bar. Najveća prijemna stanica je u Horgošu i koristi se za prijem uvoznog gasa. Ova stanica ima dva dela od kojih je svaki maksimalnog kapaciteta 420.000 m³/h. Maksimalni ulazni pritisak u ovu stanicu je 64 bar, a minimalni ulazni pritisak je 35 bar. Maksimalni izlazni pritisak iz stanice je 50 bar, a minimalni 35 bar. Gradske distributivne mreže srednjeg pritiska od čelika su namenjene za distribuciju gasa do industrijskih potrošača, komunalnih potrošača i stanica za snabdevanje gasom široke potrošnje. Maksimalni radni pritisak u distributivnim mrežama je 8-12 bar. Zimska potrošnja gasa je četiri puta veća nego letnja u gasovodnom sistemu Srbije. Treba očekivati da će veća potrošnja gasa u širokoj potrošnji dovesti do povećanja ove razlike, što predstavlja dodatni razlog da se ubrza završetak izgradnje podzemnog skladišta u Banatskom Dvoru.

U skladu sa sadašnjim predviđanjima potrošnje gasa, fizički kapacitet neće predstavljati ograničenja sigurno do 2015. godine pa i kasnije. Izgradnjom novih paralelnih gasovoda, ili kompresorskih stanica povećala bi se pouzdanost i sigurnost snabdevanja krajnjih korisnika. Ograničenja u gasnom sistemu Srbije ne leže u geometriji mreže (prečnici i dužine), već u limitiranim tranzitnim kapacitetima na Mađarskoj strani. Ova situacija nameće hitan završetak podzemnog skladišta u Banatskom Dvoru i izgradnju drugog priključka kod Dimitrovgrada na granici sa Bugarskom.

3. Kombinovani gasno parni ciklus

Da bi se povećao ukupni stepenn korisnosti, izlazni turbinski gasovi se uvode u kotao utilizator gde se hlade

i svoju toplotu predaju kotlovskom radnom mediju. Gasni ciklus se najčešće kombinuje sa parnim ciklusom. Temperatura produkata sagorevanja na izlazu iz gasne turbine se kreće u granicama od 450-600 °C što omogućava proizvodnju. Kombinovana proizvodnja ili kogeneracija, predstavlja proizvodnju dva različita vida energije u okviru jednog postrojenja. Jedan vid energije je uvek toplotna energija a drugi vid može biti električna energija ili mehanički rad.

U Republici Srbiji električna energija se uglavnom proizvodi u konvencionalnim termoelektranama, sa parnim turbinama i kotlovima na čvrsto gorivo. Stepenn korisnosti ovakvog postrojenja je nizak i iznosi 30-35%.

Toplotna energija za potrebe grejanja se proizvodi u toplanama sa kotlovima na tečno gorivo i prirodni gas. Stepenn korisnosti proizvodnje toplotne energije u ovakvim konvencionalnim postrojenjima iznosi oko 85-90%. Cilj kombinovane proizvodnje je da se visoka radna sposobnost produkata sagorevanja koristi za proizvodnju električne energije, a izlazni gasovi za proizvodnju toplotne energije. Stepenn korisnosti ovakve kombinovane proizvodnje je oko 80%. Prednosti kombinovane proizvodnje su višestruke. Među najznačajnijim su smanjeno zagađivanje okoline štetnim gasovima i otpadnom toplotom i ušteda primarne energije. Od štetnih gasova u produktima sagorevanja su prisutni azotni oksidi (NO_x), ugljen monoksid (CO) i ugljen-dioksid (CO₂). Koncentracija azotnih oksida i ugljen monoksida kod gasnih turbina je niža nego u konvencionalnim kotlovima zbog niže temperature sagorevanja i većeg koeficijenta viška vazduha, a zbog većeg ukupnog stepena korisnosti smanjena je potrošnja primarne energije. Primena gasne turbine u proizvodnji električne energije počela je tridesetih godina prošlog veka. Gasna turbina ima široku primenu u proizvodnji električne energije i u kombinovanoj proizvodnji.

4. Stepenn korisnosti gasnog bloka

Stepenn korisnosti gasnog ciklusa raste sa povećanjem temperature radnog tela na ulazu u turbinu. Zbog metalurških ograničenja ova temperatura je ograničena na vrednost do 1.300 °C. Za povećanje stepena korisnosti gasnog postrojenja koristi se toplota izduvnih gasova.

Atmosferski uslovi imaju veliki uticaj na stepenn korisnosti. Proizvođači turbine obično definišu parametre

energija

postrojenja na temperaturi okoline od 15 °C, pri relativnoj vlažnosti 60 % na nadmorskoj visini 0 m (nivo mora), ISO uslovi. Temperatura okoline ima uticaj na stepen korisnosti gasnog ciklusa, is a njenim povećanjem stepen korisnosti opada. Nadmorska visina (pritisak i gustina) takođe utiču na stepen korisnosti gasnog ciklusa, tako na primer na svakih 300 m porasta nadmorske visine snaga bloka opada za 2-4 %. Vlažnost utiče na gustinu vazduha a time i na maseni protok, odnosno na snagu gasnog bloka. Stepenn korisnosti se znatno menja i sa promenom opterećenja gasne turbine. Stepenn korisnosti gasne turbine male i srednje snage iznosi 25-35 % a za veće turbine može dostići vrednost od 38-40 %. Izuzetak su aeroderivati koji i za srednje snage mogu dostići vrednosti stepena korisnosti i od 42 %.

Isporučiocu gasnog postrojenja najčešće isporučuju samo osnovni paket (gasni set) koji čine:

- gasna turbina,
- reduktor,
- generator,
- usisni i izduvni sistem,
- filter za vazduh,
- uljni sistem,
- sistem za startovanje,
- sistem za upravljanje,
- prigušivači izduvnih gasova.

U zavisnosti od snage bloka cena osnovnog paketa elektromašinske opreme varira od 150 \$/kWh do 400 \$/kWh. Ukupni investicioni troškovi gasnog postrojenja osim troškova za osnovni paket treba da obuhvate i sledeće: kompresor gasa, kotao ulizator, sistem za kontrolu emisije štetnih gasova, oprema za povezivanje na elektro mrežu, dovod gasa, merno-regulaciona stanica, priprema gasa, dimnjak, projektovanje i inženjering, priprema zemljišta i građevinski radovi, pomoćni objekti, transport opreme, carina, porez i osiguranje, montaža, puštanje u pogon i probni rad, prijemna ispitivanja.

Vreme gradnje postrojenja sa gasnom turbinom je kratko i iznosi 6-12 meseci u zavisnosti od kapaciteta. Vreme gradnje kombinovanog postrojenja gasno-parna turbina je od 2-3 godine, s tim što postoje dve faze gradnje prvo se u rad pušta gasna turbina u periodu od 12-18 meseci, a dok je ona u pogonu instalira se ostatak opreme. Gasna turbina je pouzdan sistem koji u kontinualnom radu može raditi veliki broj sati. Raspoloživost gasne turbine koja radi u baznom režimu sa prirodnim

gasom može da dostigne vrednosti veće i od 95 %.

Vreme startovanja gasnog bloka je kratko i vreme do početka proizvodnje električne energije iznosi svega nekoliko minuta. Ako se proizvodi para ili topla voda u kotlu ulizatoru onda interval do početka proizvodnje pare ili tople vode traje duže, što zavisi od konkretnog slučaja.

Troškovi održavanja gasne turbine koje rade sa prirodnim gasom i imaju preko 1.000 sati rada godišnje su niski i kreću se u intervalu od 0,003 \$/kWh do 0,008 \$/kWh. Održavanje obuhvata nadgledanje rada, tekuće održavanje i planske male i velike remonte na svakih 12.000 do 50.000 radnih sati. Zamena kompletne gasne turbine može da traje od jednog do nekoliko dana u zavisnosti od kapaciteta. Gasne turbine koje rade u promenljivim uslovima ili veliki broj sati na opterećenju većem od nominalnog imaju povećane troškove održavanja. Većina gasnih turbina je projektovana da sagoreva ili tečno ili gasovito gorivo, ali postoje i turbine koje mogu da sagorevaju dve vrste goriva gde je moguće brzo prebacivanje sa jednog na drugo gorivo. Ukoliko je pritisak gasovitog goriva niži od pritiska vazduha u komori za sagorevanje gasne turbine se opremaju sa kompresorima gasa.

Pored kombinovane proizvodnje gasna turbina je našla primenu u proizvodnji električne energije u čisto gasnim ciklusima, i to u baznom i vršnom delu dijagrama. Toplane koje su priključene na mrežu zemnog gasa i imaju razvodno postrojenje zbog proizvodnje toplotne energije su potencijalno najinteresantniji korisnici gasnih turbina. Temperatura gasova na izlazu iz kotlova ulizatora, u slučaju sagorevanja zemnog gasa, iznosi 80-100 °C. Sagorevanje u grejnoj komori gasne turbine se vrši uz koeficijent viška vazduka 3-4, tako da izduvni gasovi turbine sadrže dosta kiseonika, do 15 %, i u slučaju dodatnog sagorevanja u kotlu ulizatoru ne mora da se dovodi svež vazduh.

Kotao ulizator u slučaju da mora raditi i bez rada turbine oprema se sa gorionicima za dodatno sagorevanje koji koriste svež vazduh. Kada je potreban rad turbine i bez rad kotla tada se primenjuje bajpasovanje kotla ulizatora izduvnim gasovima.

Snage gasnih turbina koje se primenjuju za kombinovanu proizvodnju se kreću do 300 MW. Stepenn korisnosti gasne turbine je oko 25-40 %. Ukupni stepenn korisnosti kombinovanog ciklusa je 60-80 %. Danas se grade kombinovana postrojenja snage do 900

MW po jednom bloku. Snaga bloka zavisi od snage gasne turbine, odnosno od protoka i temperatura produkata sagorevanja na izlazu iz gasne turbine. Produkti sagorevanja određuju produkciju kotla ulizatora, a time i snagu parne turbine.

Za kombinovane blokove najvećih snaga primenjuju se dve gasne turbine sa dva kotla ulizatora koji proizvode paru za jednu parnu turbinu. Snaga parnog dela postrojenja se može povećati uvođenjem dodatnog sagorevanja u kotlu ulizatoru. Za primenu gasnih turbina u toplanama primenjuje se kondenzaciona parna turbina. Deo pare se oduzima iz turbine za zagrevanje toplifikacionih izmenjivača toplote. Pritisak oduzimanja pare iznosi 1,5-2 bara. Zimi kada postoji potreba za grejanjem, para se oduzima za potrebe grejanja (toplifikacioni režim), a leti sva para ide u kondenzator (kondenzacioni režim). Ukupni stepenn korisnosti je veći u toplifikacionom režimu jer tada manja količina pare prolazi kroz kondenzator. Prednost postrojenja sa kondenzacionom parnom turbinom ogleda se u nezavisnosti proizvodnje električne energije od proizvodnje toplote. Radi boljeg iskorišćenja toplote u kotlu ulizatoru napojna voda se dovodi na različitim pritiscima (2 ili 3 različita nivoa). Proizvedena para se uvodi u parnu turbinu na različitim mestima.

Kombinacija gasne i parne turbine ima najveći stepenn korisnosti koji iznosi i do 80 %. Pri sniženim opterećenjima dolazi do smanjenja stepena korisnosti. Cena za gasnu turbinu ima veći udeo u ukupnoj ceni opreme u odnosu na parnu turbinu. Jedinična cena glavne mašinske i elekto opreme se kreće u granicama od 700 \$/kWh za postrojenja snage 50 MW do 250 \$/kWh za postrojenja snage 800 MW. Održavanje je slično kao za odvojene turbine. Godišnja raspoloživost je niža nego pojedinačno za svaku turbinu a pouzdanost oko 85-90 %. Radni vek postrojenja iznosi 15-30 godina. Danas se u svetu za proizvodnju električne energije grade blokovi samo sa gasnim turbinama ili kombinovana postrojenja gasne i parne turbine.

Gasne turbine se projektuju za rad od 2.500 do 3.000 sati godišnje na punoj snazi. U periodima van grejne sezone, gasna turbina služi kao rezervni i vršni agregat. Gasne turbine se priključuju na mrežu i leti kada cena električne energije može postići vrednosti i do 0,20 €/kWh, čime se ostvaruju veliki dodatni prihodi. U cilju smanjenja potrošnje električne energije koju

energija

troše bojleri, treba planirati opremanje zgrada instalacijama za toplu vodu, čime bi se sa minimalnim ulaganjima u podstanice (izmenjivač toplote za PTV, pumpa i cevi za dovod tople vode do domaćinstava) potrošnja električne energije znatno smanjila. Time bi se potrošnja električne energije smanjila za najmanje 400 MW uz minimalna ulaganja samo za područje TO Novi Beograd. Kombinovanjem sistema za pripremu tople potrošne vode i rashladnog sistema obezbedio bi se rad jedne gasne turbine i u letnjem periodu.

5. Stepeni korisnosti gasnog ciklusa

Stepen korisnosti gasne turbine proizvođača "General Electric" iznosi 35,4 %. U slučaju utilizacije turbinskih gasova u vrelovodnom kotlu utilizatoru stepen korisnosti iznosi:

$$\eta = \frac{Q_E + Q_t}{Q_G} = \frac{78,7 + 100}{223} = 0,8$$

Q_E - proizvedena količina električne energije u gasnoj turbini

Q_t - proizvedena količina toplote u kotlu utilizatoru

Q_G - sadržaj toplote u zemnom gasu na ulazu u grejnu komoru

U slučaju kombinovane proizvodnje električne energije u gasnoj i parnoj turbini:

$$\eta = \frac{Q_E + Q_{EP} + Q_t}{Q_G} = \frac{78,7 + 27,5 + 71}{223} = 0,79$$

Q_E - proizvedena količina električne energije u gasnoj turbini

Q_{EP} - proizvedena količina električne energije u parnoj turbini

Q_t - proizvedena količina toplote u kotlu utilizatoru

Q_G - sadržaj toplote u zemnom gasu na ulazu u grejnu komoru

6. Analiza isplativosti investicije u tri nove gasne trurbine na TO Novi Beograd

Pregled ulaznih podataka za finansijske i ekonomske analize dat je u *Tabeli 1.*

Pregled procene investicionih ulaganja dat je u *Tabeli 2.* o oceni investicionih

Tabela 2 Pregled investicionih ulaganja kompanije "General Electric"(u evrima) [1]

Poz.	Opis	2008.	2009.	Ukupno
1	Građevinski radovi	270.000	30.000	300.000
2	Oprema	46.230.000	74.070.000	120.300.000
2.1	Tri gasne turbine tipa GT 6FA	30.000.000	45.000.000	75.000.000
2.2	Adaptacija kotlova utilizatora	300.000	1.200.000	1.500.000
2.3	Veze usisnih filtera GT i kompresora	30.000	270.000	300.000
2.4	Elektro postrojenja i i MRU	10.800.000	16.200.000	27.000.000
2.5	Gasovod 6 km, MRS i kompresori	1.200.000	4.800.000	6.000.000
2.6	Transport osiguranje i carina	1.200.000	300.000	1.500.000
2.7	Montažni radovi	2.700.000	6.300.000	9.000.000
3	Nematerijalna ulaganja	3.750.000	3.750.000	7.500.000
4	Nepredviđeni investicioni troškovi	2.562.000	3.843.000	6.405.000
5	Ukupno osnovna sredstva	52.812.000	81.693.000	134.505.000
6	Obrtna sredstva		6.000.000	6.000.000
7	INVESTICIJE UKUPNO	52.812.000	87.693.000	140.505.000

Tabela 1. Ulazni podaci za proračune [1]

Broj	Parametar	Jedinica	Vrednost	Napomana
1	Snaga na generatoru (ISO uslovi)	MW	3 x 80 MW	3 gasne turbine tipa GT 6FA
2	Godina puštanja u pogon	godina	2010.	
3	Sopstvena potrošnja	MW	6,0	3 jedinice
4	Kapacitet kotlova utilizatora	MW	300	3 vrelovodna kotla
5	Kapacitet proizvodnje el. energije zimi	MW	234	3 gasne turbine
6	Kapacitet proizvodnje el. energije leti	MW	72	Jedna gasna turbina
7	Sanitarna topla voda van grejne sezone	MW	100	
8	Vreme angažovanja u grejnom periodu	h/godišnje	3.500	
9	Cena električne energije na pragu	€/ MWh	50	
10	Cena toplotne energije na pragu	€/ MWh	45	
11	Cena prirodnog gasa na pragu TE-TO	€/ m ³	0,25	Hd = 34,153 kJ/m ³
12	Troškovi pogona i održavanja GT	€/ MWh	2,50	Prema proizvodnji električne energije
13	Troškovi pogona i održavanja kotlova	€/ MWh	0,25	Prema proizvodnji toplote
14	Bruto LD pogonskog osoblja	1.000 €	475,2	800 € x 1,65 x12 x 30 zaposlenih
15	Potrošnja gasa po turbini	m ³ /h	23.506	Nominalna
16	Investiciona ulaganja	1.000 €	134.505	
17	Stopa osiguranja	%	1%	Na osnovna sredstva
18	Ostali troškovi	%	25%	Na iznos bruto LD
19	Stopa amortizacije osnovnih sredstava	%	5%	Na osnovna sredstva
20	Stopa amortizacije nematerijalnih ulaganja	%	20%	Na nematerijalna ulaganja
21	Porez na dobit	%	10%	Na bruto dobit
22	Ekonomski vek projekta	godina	20	
23	Diskontna stopa	%	10%	
24	Ostatak vrednosti projekta	%	5%	Od ukupnih investicija
25	Faktor korišćenja sanitarne tople vode	%	80%	

ulaganja kompanije "General Electric", a uz procenu troškova za isporuku nekih od sistema, kao i za cenu troškova pojedinih radova i dr.

8. Zaključak

Izgradnja kogenerativnih postrojenja je preporučljiva sa aspekta uštede primarne energije i smanjenja zagađenja životne sredine. To se prvenstveno odnosi na postrojenja sa prirodnim gasom, s obzirom na odsustvo sumpornih oksida i čestičnih zagađivača u dimnim gasovima, kao i uz znatno smanjenu emisiju azotnih oksida. Osim ovih zagađujućih materija emisije ugljen-dioksida su znatno niže nego kod korišćenja čvrstih i tečnih goriva. Zbog visoke cene prirodnog gasa, koja je vezana i za kretanje cena nafte na svetskom tržištu, potrebno je analizirati finansijsku i ekonomsku opravdanost primene kogenerativnih postrojenja.

JKP "Beogradske elektrane" imaju početne preduslove za relativno brzo uvođenje kogenerativnih postrojenja, s obzirom da se postojeće gasne turbine, koje nisu u funkciji, mogu u kratkom roku zameniti sa novim savremenim gasnim turbinama, dok bi se za proizvodnju toplotne energije koristili postojeći kotlovi utilizatori. Pored kotlova utilizatora na raspolaganju je i mašinska sala, kao i drugi pomoćni i infrastrukturni sistemi. U ovom radu je prikazana analiza ekonomičnosti kogenerativnog postrojenja sa novim gasnim turbinama na području TO Novi Beograd. Pri tome je finansijska analiza urađena sa aspekta rentabilnosti samog kogenerativnog objekta, dok je ekonomska analiza urađena sa aspekta ocene korišćenja resursa društveno-političke zajednice. Dinamička metoda vrednovanja investicije za tri nove savremene gasne turbine (snaga svake turbine po 80 MW, tipa GT 6FA od proizvođača "General Electric") je prikazana sa stanovišta društveno političke zajednice. Posmatrana je celokupna investicija koja se ulaže u izgradnju na TO Novi Beograd i analizirana je dinamika neto dobiti. Postignuta je neto sadašnja vrednost investicije od oko 83 miliona evra (pri diskontnoj stopi od 10 %), interna stopa povraćaja od preko 18 % i period povraćaja investicije od 7 godina [1].

Literatura

1. Preliminarna analiza izgradnje kogenerativnog postrojenja sa gasnim turbinama snage 3x80 MWe i 3x100 MWt na TE-TO "Novi Beograd", dokumentacija broj 10/07 firme "Tehnburo inženjering", Beograd, 2007.
2. Studija izvodljivosti kogenerativnog postrojenja na TO Novi Beograd, Worley Parsons, 2007.
3. Studija kogenerativnog postrojenja "Tehnoprom export", Moskva, 2003.

Aleksa Marković, dipl.el.inž, Miladin Čepić, dipl.maš.inž.

EPS, PD „Panonske TE-TO,, d.o.o. Novi Sad, TE-TO Zrenjanin

UDC: 621.311.22.004/.009 (497.11) "2008/2009"

Analiza rada TE-TO Zrenjanin u prethodnom periodu, sprovedene modernizacije 2008, radovi za povećanje snage 2009. i planirane naredne investicione aktivnosti

Rezime

Rad obrađuje konkretnu Termoelektranu-toplanu (u daljnjem tekstu TE-TO), tj. TE-TO Zrenjanin, iz aspekta proizvodnje toplotne i električne energije za lokalni i širi region.

Navode se projektovani parametri, kao i ostvareni rezultati u 20-godišnjem pogonu.

Ukazuje se na važne uloge TE-TO i to za: održavanje naponskih prilika u regionu, ulogu vršne elektrane u sistemu EPS-a i EMS-a, kao i regulaciju pritiska u mreži gasovoda „Srbijagas,, -a i uticaj na ekologiju.

Opisuju se realizovani poslovi modernizacije na sistemima upravljanja i akvizicije obavljani 2008.godine. U toku 2009.godine obaviće se radovi na modernizaciji turbine, kojim će se omogućiti povećanje snage za cca 30MW, što se takođe obrađuje u radu.

Za naredni period se analiziraju potrebe i mogućnosti za dogradnju gasno parnog bloka odgovarajuće snage.

Za izradu rada korišćeni su idejni i glavni projekti, pogonske knjige, dnevnicu radova i evidencije o ostvarenoj proizvodnji TE-TO.

Ključne reči: termoelektrana-toplana, energija, analiza, modernizacije, perspektive.

Abstract

The work deals with a specific power plant, Termoelektrana – toplana, (referred to as TE-TO in the following text), e.g. TE-TO Zrenjanin, from the aspects of producing heating and electrical energy for the local district and broader region. Design parameters and results achieved during the 20 years of operation are specified here.

The work points out the important roles of TE-TO in maintaining the voltage circumstances in the region, the role of a peak plant in the EPS and EMS and adjusting the pressure in the gas network of Srbijagas and its influence on the environment, as well.

Works performed on modernization of control and acquisition systems that have been done in 2008 are also described here. Turbine modernization works will be done in 2009 and that will enable power increase for approximately 30 MW.

Needs will be evaluated and possibilities analyzed in the forthcoming period in order to build an additional gas and steam unit of corresponding power. General designs and master projects, operational books and data on achieved production of the TE-TO were used in completing this work.

Key words: CHP plant, energy, analysis, modernizations, prospectives.

1. Opis objekta TE-TO

TE-TO Zrenjanin se nalazi u južnoj industrijskoj zoni grada Zrenjanina. Predstavlja postrojenje za kombinovanu proizvodnju električne energije, toplotne

energije za grejanje i tehnološke pare i sastoji se od glavnog pogonskog objekta (GPO) - blok A1 nominalne snage 120 MW, puštenog u pogon 1989. godine i pomoćnog pogonskog objekta

(PPO) - bivše energane industrijsko-poljoprivrednog kombinata IPK „Servo Mihalj“, izgrađene 1952. godine i obnovljene u periodu 1971.-1978. godine.

PPO je udaljen oko 1 km od glavnog pogonskog objekta i ima ukupno 5 parnih kotlova manjih kapaciteta od 12 do 75 t/h pare i 4 turbine od 2,5 do 8,5 MW, ukupne snage 25 MW. Svi parni kotlovi su u funkciji i uglavnom se preko njih obezbeđuje toplotna energija za daljinsko grejanje Zrenjanina i snabdevanje tehnološkom parom sadašnjih industrijskih potrošača, dok je od turbina raspoloživa samo turbina T1, nominalne snage 8,5 MW.

Povezivanje TE-TO Zrenjanin sa elektroenergetskim sistemom Srbije iz bloka A1 izvršeno je dalekovodima napona 110 kV (TS Zrenjanin 2 i TS Zrenjanin 4), a iz PPO na distributivni sistem Elektrovojvodine EV 35 kV.

TE-TO Zrenjanin kao gorivo koristi prirodni gas i mazut.

Broj sati rada kotlova i turbina glavnog pogonskog objekta i procenat iskorišćenja projektovanog resursa prikazan je u tabeli 1.

Na osnovu ovog pokazatelja moglo bi se zaključiti da su postrojenja odradila samo oko 4-14 % svog radnog veka, međutim, obzirom na starost postrojenja od oko 20 godina i činjenicu da su postrojenja u znatnom delu proteklog perioda bila van pogona (od 1993. ÷ 1998. godine), i pored konzervacije

postrojenja površinski aktivnom materijom oktadecilaminom (ODA) došlo je do ozbiljnih korozivnih oštećenja na vitalnim delovima kotlova i turbine (kiseonična korozija).

U periodu od 2002. do 2004. godine, u okviru remontnih aktivnosti, izvršena je delimična zamena cevnog sistema kotlova K1 (ekonomajzer) i K2 (pregrajač pare 2 i deo isparivača) čime je povećana njihova pouzdanost. To dokazuje činjenica da kotao K1 koji je radni, dok je K2 rezervni, nije imao od tad nijedno curenje na cevnom sistemu. Sem navedenog, na postrojenjima nije izvršena nikakva druga revitalizacija ili značajnija zamena opreme.

Visokopritisni deo turbine je prvi i poslednji put otvarani 2000. godine kada je vršeno čišćenje stupnjeva i otklanjanje značajnih korozivnih oštećenja sa grudnih i lednih površina i izlaznih ivica statorskih i rotorskih lopatica.

3. Osnovna problematika rada TE-TO Zrenjanin

TE-TO Zrenjanin je ambiciozno projektovana i izgrađena krajem 80-tih godina sa ciljem da snabdeva, u to doba moćnu i razvijenu industriju grada Zrenjanina tehnološkom parom, da grad snabdeva toplotnom energijom za grejanje, kao i da proizvodi električnu energiju koju predaje elektroenergetskom sistemu. Od tada su se uslovi poslovanja na tim prostorima

znatno promenili. Moćna industrija i brojni potrošači tehnološke pare koncentrisani oko IPK “Servo Mihalj” i Šećerane su prestali sa radom ili su se praktično ugasili. Privredni subjekti koji su ostali da rade, potražuju višestruko manje količine tehnološke pare od prvobitno planiranih. Široka i veoma razgranata izgrađena parovodna mreža je predimenzionisana za sadašnje uslove isporuke tehnološke pare obzirom da su tražene količine i do 30 puta manje od projektovanih.

Nepostojanjem ovih potrošača onemogućen je projektovani koncept kogeneracijske proizvodnje električne i toplotne energije.

Na slici 1. prikazana je projektovana i stvarna potrošnja tehnološke pare za 2005. i 2006. godinu.

U delu obaveze grejanja grada, neophodno je napomenuti da TE-TO Zrenjanin mora od prvog dana grejne sezone snabdevati grad toplotnom energijom obzirom da distributer toplotne energije nema sopstvene izvore toplote. Za ove potrebe, kad god nema zahteva dispečera EPS-a i EMS-a za proizvodnjom električne energije što podrazumeva rad glavnog pogonskog objekta, TE-TO Zrenjanin angažuje parne kotlove iz pomoćnog pogonskog objekta (PPO) koji po kapacitetu mogu pokriti tražene zahteve za toplotom u celom grejnom periodu.

U periodu 14 godina od 1989. do 2003. godine blok A1 je bio u radu 9 godina (ili bolje rečeno grejnih sezona) pri čemu je na elektroenergetskoj mreži bio 15.515 sati (646 dana i 11 sati). Pri ovom radu bilo je 173 pokretanja/zaustavljanja, od toga 44 pokretanja iz hladnog stanja. Prosečno godišnje angažovanje bloka A1 bilo je 1.940 sati/ godišnje (80 dana i 20 sati). Od 1993. godine do 1996. i 1998. godine blok A1 nije bio u pogonu zbog ekonomskih sankcija i embarga na uvoz gasa i nafte, pa je bio u pogonu samo pomoćni pogonski objekat.

Poslednjih 6 grejnih sezona blok A1 bio je u pogonu prema zahtevima dispečera, ranije EPS-a a sada dispečera i EMS-a, kako je prikazano u tabeli 2.

Iz tabele 2 je vidljivo da se angažovanje bloka A1 TE-TO Zrenjanin tokom prethodnih 6 grejnih sezona menjalo u opsegu od 1 do 4 meseca.

U grejnim sezonama blok A1 je ulazio u pogon po nalogu dispečera EMS-a i EPS-a u vreme samo

Tabela 1 Broj sati rada postrojenja i % iskorišćenja radnog veka glavne opreme GPO-a

Oprema	Nominalni radni vek u satima	Broj sati rada do 31.12.2008	Iskorišćenje projektovanog resursa
	h	h	%
Kotao K1	200.000	20.976	10,5
Kotao K2	200.000	7.312	3,6
Turbogenerator TG-1	200.000	27.795	13,9

Slika 1 Projektovana i stvarna potrošnja tehnološke pare za 2005. i 2006.

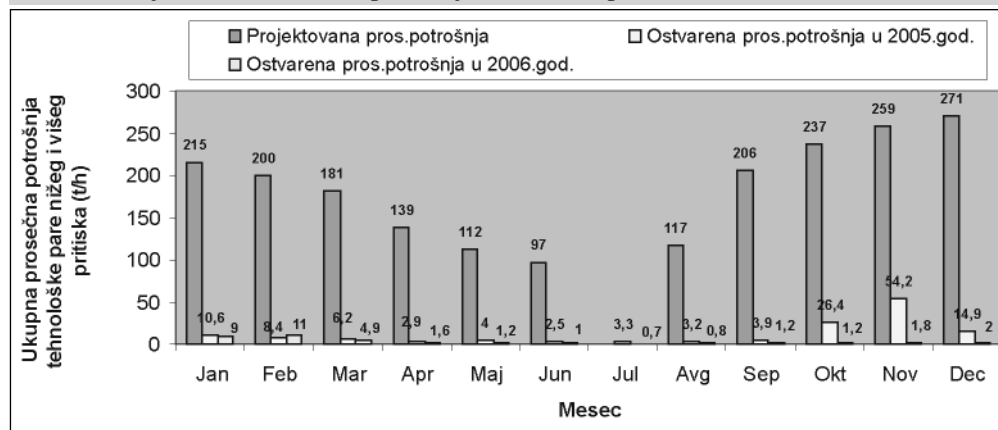


Tabela 2 Vreme rada bloka A1 na el. energetskej mreži

Period rada	Trajanje pogona			Trajanje ispada		
	Dana	Sati	Minuta	Dana	Sati	Minuta
Grejna sezona 2003/2004	119	20	18	1	4	54
	% RASPOLOŽIVOSTI:					99,01
Grejna sezona 2004/2005	93	13	21	0	21	19
	% RASPOLOŽIVOSTI:					99,06
Grejna sezona 2005/2006	30	3	45	0	7	19
	% RASPOLOŽIVOSTI:					99,00
Grejna sezona 2006/2007	34	23	18	0	10	0
	% RASPOLOŽIVOSTI:					98,82
Leto 2007	11	21	21	0	4	13
	% RASPOLOŽIVOSTI:					98,54
Grejna sezona 2007/2008	44	9	58	0	4	28
	% RASPOLOŽIVOSTI:					99,58
Grejna sezona 2008/2009	75	3	9	1	12	24
	% RASPOLOŽIVOSTI:					98,02
Ceo period 2003-2009	409	23	10	4	16	37
	% RASPOLOŽIVOSTI:					98,87

Tabela 3 Broj pokretanja bloka A1 na el. energetskej mreži

Period rada	Broj		
	Startova	Planskih zaustavljanja	Ispada
Grejna sezona 2003/2004	16	3	13
Grejna sezona 2004/2005	6	1	5
Grejna sezona 2005/2006	6	3	3
Grejna sezona 2006/2007	7	2	5
Leto 2007	3	1	2
Grejna sezona 2007/2008	5	3	2
Grejna sezona 2008/2009	17	3	14
Ceo period 2003-2009	60	16	44

jako hladnih dana, nestašice električne energije ili nestašice prirodnog gasa radi grejanja grada Zrenjanina na mazut i kvara trafostanice Zrenjanin 2 220/110 kV.

U tabeli 3 prikazan je broj pokretanja, zaustavljanja i ispada bloka A1 sa elektro energetske mreže.

Ako se kumulativno analiziraju tabele 2 i 3, da se zaključiti da se radi o objektu koji radi sa velikom pouzdanošću i malim brojem ispada.

4. Karakteristični rezimi rada

TE-TO Zrenjanin je nominalno projektovana da prvenstveno radi kao kombinovano postrojenje za proizvodnju električne energije, tehnološke pare i toplotne energije za grejanje. Za projektovani instalisani

električni kapacitet od 120 MW potrebna je proizvodnja tehnološke pare od 310 t/h i proizvodnja toplotne energije za grejanje od 94 MWt. Zbog drastično smanjenog konzuma tehnološke pare (projektovani kapacitet tehnološke pare je 310 t/h, a stvarni 1-10 t/h) i delimično smanjenog toplotnog konzuma grada Zrenjanina (od projektovanih 140 MWt stvarni toplotni konzum je oko 70 MWt), TE-TO Zrenjanin ne može da dostigne projektovanu električnu snagu od 120 MW, nego radi sa maksimalnom električnom snagom od oko 60 MW.

Projektno rešenje turbine omogućava i proizvodnju električne energije bez proizvodnje tehnološke pare i toplotne energije (rad turbine u kondenzacionom režimu). Međutim, s obzirom na očekivanja u doba projektovanja

i izgradnje elektrane, kada se predviđala značajna, celogodišnja potrošnja tehnološke pare, ovaj režim se smatrao manje realnim, te je projektovana i izgrađena turbina (sa pratećom opremom - kondenzatorom) koja ima značajno manju snagu u kondenzacionom režimu, svega 51 MW.

Prikazi različitih dnevnih režima rada bloka A1, dati su na slikama 2, 3, 4 i 5. Odabrani su pojedini karakteristični dani rada, koji najslikovitije prikazuju proizvodnju električne i toplotne energije i vodene pare. U nastavku se daje kratak opis pojedini režima rada.

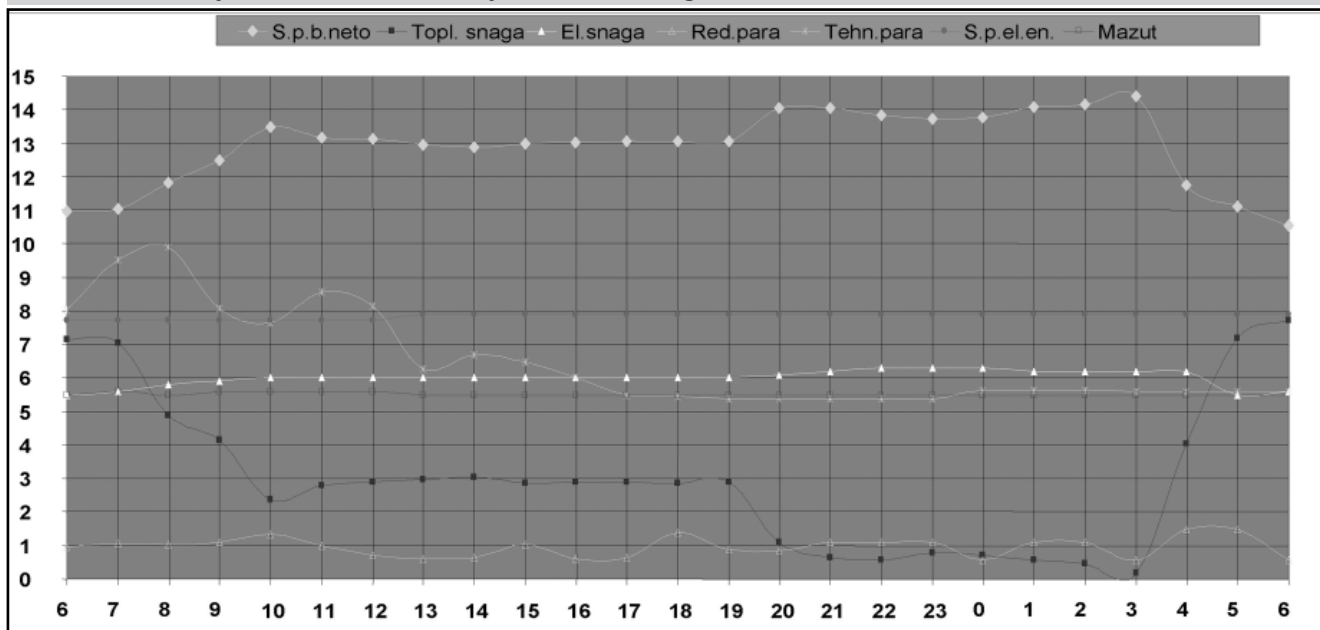
Režim rada sa slike 2. prikazuje stabilnu proizvodnju električne energije, sa istovremenom proizvodnjom toplotne energije i tehnološke pare pri radu kotla na mazut.

Režim rada sa slike 3. prikazuje stabilnu proizvodnju električne energije, sa istovremenom proizvodnjom toplotne energije i tehnološke pare pri radu kotla na gas.

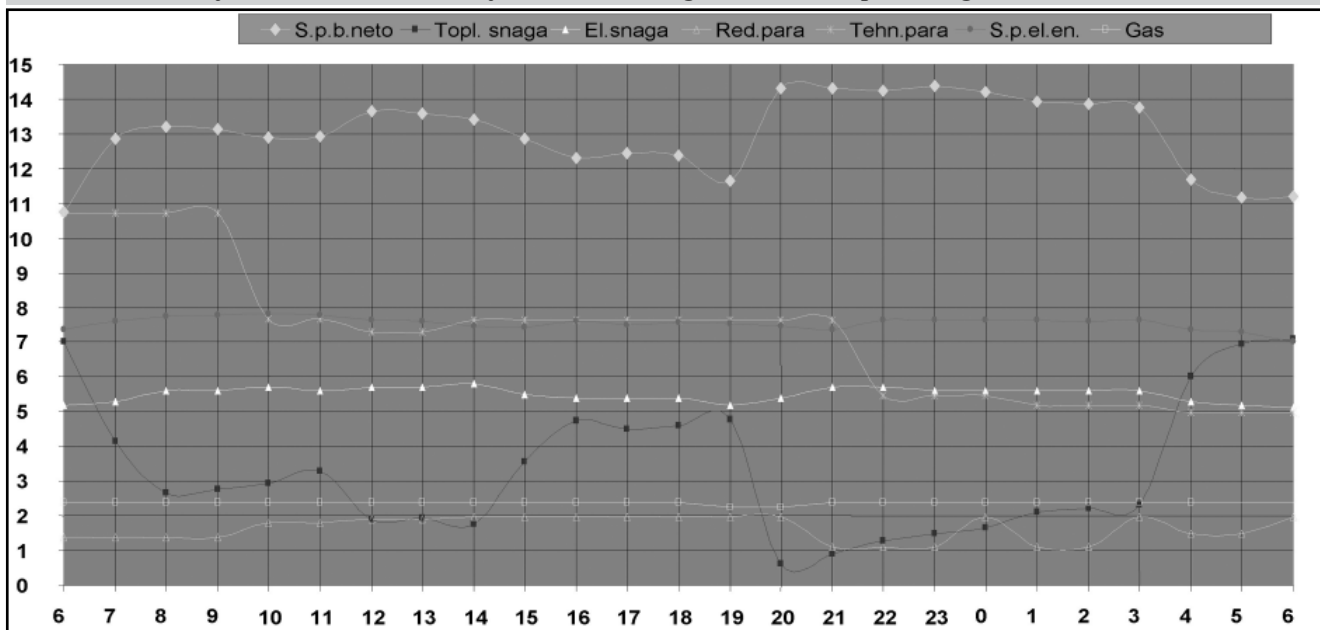
Režim rada sa slike 4. prikazuje stabilan rad toplotnog sistema grejanja, a odslikava potrebu za hitnom proizvodnjom reaktivne električne energije, radi održavanja naponskih prilika u mreži regiona.

Režim rada sa slike 5. prikazuje režim rada TE-TO, kada se proizvodi minimalna količina reaktivne električne energije, jer zbog dobrih naponskih prilika ista nije potrebna.

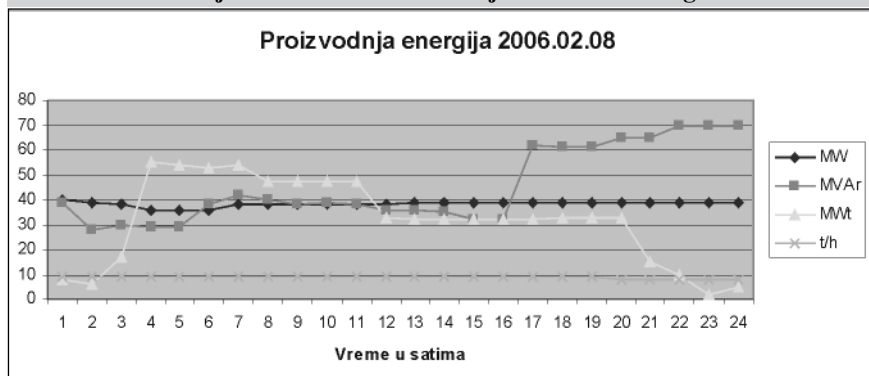
Slika 2 Proizvodnja bloka A1 TE-TO Zrenjanin 18.02.2005. godine – rad na mazut



Slika 3 Proizvodnja bloka A1 TE-TO Zrenjanin 25.02.2005. godine – rad na prirodni gas



Slika 4 Proizvodnja bloka A1 TE-TO Zrenjanin 08.02.2006. godine



5. Energetska efikasnost i ekonomičnost rada

Najekonomičniji režim rada postiže se pri proizvodnji svih oblika energije i to u što većem obimu. Specifična potrošnja toplote za proizvodnju električne energije zadnjih godina rada kretala se u opsegu od 12.500 do 14.000 kJ/kWh.

Uzevši u obzir sadašnju cenu gasa bez PDV-a od 29,5 din./stm³, mazuta od 29 ÷ 33 din./kg sa transportnim troškovima bez PDV-a i kursa dinara 95 din./euro, prosečna cena proizvedenog kWh električne energije u januaru 2009.

Slika 5 Proizvodnja bloka A1 TE-TO Zrenjanin 17.02.2008. godine

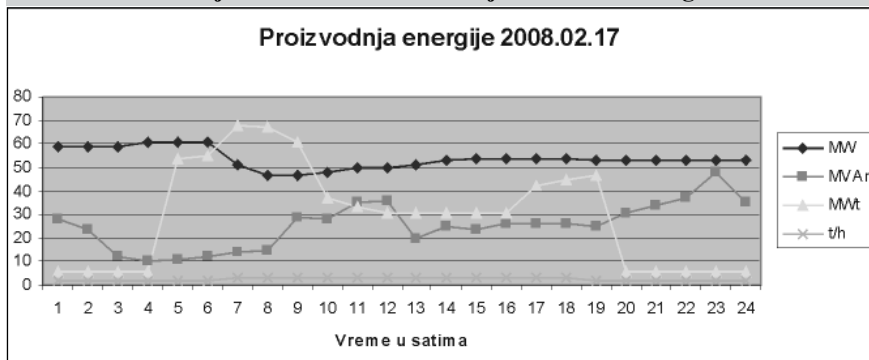


Tabela 4

	Cena goriva	Cena kWh u €cent	
		12500 kJ/kWh	14000 kJ/kWh
Prirodni gas Hd = 33.338 kJ/st m ³	29,5 din./stm ³	11,64	13,04
Mazut Hd = 41.000 kJ/kg	29 din./kg	9,30	10,42
	33 din./kg	10,60	11,86

godine je oko 12,3 €centi/kWh pri radu na gas i 10,5 €centi/kWh pri radu na mazut. Prikazani iznosi za proizvedeni kWh električne energije u Tabeli 4. predstavljaju samo trošak goriva.

6. Uloga i značaj TE-TO Zrenjani u novonastalim uslovima rada

- Vršna proizvodnja električne energije u zimskom periodu u slučaju da

postojeći kapaciteti ne mogu da podmire potrošnju;

- Delimična rezerva i ispomoć u slučajevima ispada ili kvara nekog od velikih blokova za šta uvek postoji realna mogućnost;
- Rad u letnjem periodu, prouzrokovan značajnim porastom potrošnje električne energije uz istovremenu neraspoloživost proizvodnih termo

i hidro kapaciteta zbog remonta opreme i nepovoljne hidrologije;

- Proizvodnja reaktivne energije i održavanje potrebnog naponskog stanja u mreži EMS-a u regionu čime se smanjuju gubici u prenosu električne energije;
- Angažovanje od strane EMS-a zbog problema u radu trafostanice TS Zrenjanin 2 220kV / 110kV;
- Održavanje pritiska gasa u magistralnom gasovodu JP Srbijagasa promenom količine za sagorevanje uz supstituciju gasa mazutom i obrnuto (situacija se ponavljala svake zime);
- Rad isključivo na mazut u slučaju nestašice gasa, obezbeđenje potrebne količine toplotne energije za sistem daljinskog grejanja Zrenjanina i tehnološke pare za industrijske potrošače uz istovremenu proizvodnju električne energije (situacija iz januara 2009.)
- Ekoliški značaj tj. manji uticaj na zagađenje životne sredine višestruko nižom emisijom CO₂, SO₂ i praškastih materija sagorevanjem prirodnog gasa i niskosumpornog mazuta u odnosu na ugalj.

7. Realizovane modernizacije u 2008.

U cilju efikasnijeg praćenja rada postrojenja, upravljanja energetskim tokovima i mogućnosti pravovremenog

Tabela 5

PROIZVODNJA EL. ENERGIJE	GODINA	2003.	2004.	2005.	2006.	2007.	2008.	2009.	2010.
Plan proizvodnje na pragu na osnovu EEB EPS-a	MWh	106.000	95.000	199.000	0	0	22.000	81.440	
Ostvarena proizvodnja na pragu	MWh	110.654	105.859	110.521	35.268	50.069	101.259		70.015
Ostvarenje plana	%	104	111	56	#DIV/0!	#DIV/0!	460		
Bruto proizvedeno	MWh	126.214	123.607	122.163	39.842	54.012	109.347		74.100
Prosečna snaga na generator	MW	36,8	54,2	57,0	41,9	52,5	51,1		78,0
Ostvaren broj sati na mreži	h	3.432	2.280	2.145	951	1.028	2.139		950
Godišnja ušteda gasa zbog niže spec.potrošnje za 1.000 kJ/kWh	stm ³								2.222.690
Cena gasa	din.								29,5
Ušteda	din.								65.569.320
Kurs evra	din./evro								95
Ušteda	evro								690.000
Ukupna vrednost radova	evro								2.817.120
Vrednost kapitalnog remonta VP rotora	evro								1.264.140
Vrednost rekonstrukcije i modernizacije NP rotora-investicija	evro								1.552.980
Period otplate investicije	god.								2,2

⇒ energija

vršenja potrebnih korekcija u realnom vremenu radi ostvarivanja maksimalne energetske efikasnosti bloka A1, u TE-TO Zrenjanin su 2008. godine realizovani poslovi modernizacije sistema praćenja rada.

Obzirom da je merenje potrošnje i određivanje kvaliteta gasovitog i tečnog goriva koje se sagoreva u kotlovima, moguće vršiti u realnom vremenu sa velikom tačnošću, uvođenjem potrebnih signala u implementirani SCADA sistem, prati se specifična potrošnja bloka A1 u realnom vremenu.

8. Modernizacije ugovorene u 2009.

U cilju prilagođavanja promenjenim uslovima rada, u 2009. godini će biti urađena rekonstrukcija i modernizacija turbine radi:

- povećanja električne snage u kondenzacionom režimu TE-TO Zrenjanin sa 51 na 81 MW,
- tehničke modernizacije i poboljšanja efikasnosti (smanjenje specifične potrošnje za 1000 kJ/kWh) i pouzdanosti rada turbine u TE-TO Zrenjanin,
- povećanja proizvodnje i raspoloživosti ukupnog elektroenergetskog sistema Srbije,
- poboljšanja ekonomskih efekata rada TE-TO Zrenjanin i PD Panonske TE-TO.

Povećanje instalisane električne snage u kondenzacionom režimu rada iznosi 30 MW (sa 51 MW na 81 MW).

Ukupni procenjeni troškovi za rekonstrukciju i modernizaciju NP dela turbine iznose 1.552.980 €.

Jedinična cena instalisanog novog MW električne snage u TE-TO Zrenjanin iznosi 51.766 €/MW.

Imajući u vidu da se kod novih investicija cena jednog instalisanog MW električne snage kreće oko 600.000-800.000 €/MW, očigledno je da će se u TE-TO Zrenjanin, kroz rekonstrukciju i modernizaciju i relativno mala ulaganja, dobiti značajno povećanje električne snage.

Ako pretpostavimo da će narednih godina broj sati na mreži turboagregata PT-120 u TE-TO Zrenjanin biti na nivou 2006. i 2007. godine od 951 do 1028 časova (usvojeno 950 časova što je 40 dana) sa prosečnom snagom na generatoru 78 MW, period otplate rekonstrukcije i modernizacije NP dela turbine iznosi 2,2 godine.

Pregled broja sati rada na mreži TE-TO Zrenjanin od 2003. ÷ 2008. po godinama, očekivano angažovanje u 2010. i period otplate investicije dat je u *Tabeli 5*.

Potpisivanjem strateškog ugovora sa ruskom stranom, i liberalizacijom tržišta naftnih derivata 2010. godine, očekuje se smanjenje cene goriva, prevashodno mazuta, što bi uz povećanje tržišne cene električne energije i nedostatka proizvodnih kapaciteta u odnosu na porast potrošnje, u bliskoj budućnosti dovelo do mnogo većeg angažovanja TE-TO Zrenjanin i bržeg povraćaja uloženi sredstava od 2,2 godine.

Na osnovu svega izloženog, ulaganje u rekonstrukciju i modernizaciju TE-TO Zrenjanin u cilju povećanja snage u kondenzacionom režimu sa 51 MW na 81 MW je opravdano i korisno za PD Panonske TE-TO i JP Elektroprivreda Srbije.

9. Daljna perspektiva TE-TO

Za naredni period se analiziraju potrebe i mogućnosti za izgradnju gasno parnog bloka odgovarajuće snage. U 2009. godini planirana je izrada prethodne studije opravdanosti sa generalnim projektom rekonstrukcije ili izgradnje novog gasno-parnog postrojenja u TE-TO Zrenjanin.

Uticaj tehnologije vanjske otpreme i deponovanja elektrofilterskog pepela TE Gacko na smanjenje stakleničkih gasova odnosno CO₂

Staklenički gasovi i efekat staklene bašte

Odvajkada u atmosferi, pored vodene pare, nalaze se u malim koncentracijama ugljen dioksid (CO₂), metan (CH₄) i azot suboksid (N₂O) koji sa ostalim gasovima u atmosferi čine vazdušni toplotni omotač oko Zemlje.

Taj omotač sprečava gubitak toplotne energije u svemir i doprinosi da je klima na Zemlji povoljna za život. Bez omotača od stakleničkih gasova površina Zemlje bi bila za 33°C hladnija nego što je danas, nepovoljna za živa bića, hladna i beživotna poput površine Marsa.

Sunce zagrijava površinu Zemlje, a ona emituje toplotno zračenje, koje iznosi oko 70% sunčevog zračenja dospjelog na njezinu površinu. Staklenički gasovi u atmosferi apsorbiraju dio tog zračenja čime dolazi do zagrijavanja atmosfere, što se naziva „**efekat staklene bašte**“

Gasovi staklene bašte se razvrstavaju u tri grupe:

- direktni gasovi staklene bašte (GHG) - CO₂, CH₄, N₂O,
- novi gasovi - hidrofluorogljjenik (HFCS), perfluorogljjenik (PFCS) i sumporheksafluorid (SF₆)
- indirektni gasovi staklene bašte (GHG) - prekursori ozona, koji potpomažu efekte staklene bašte,
- CO, NO_x, NMVOC (nemetanske organske isparljive materije).

Ipak posljednjih godina EPA je kao najbitnije GH-gasove označila: **CO₂, CH₄, N₂O, HFCS, PFCS i SF₆.**

Ugljen dioksid utiče na životnu sredinu preko djelovanja na bilans energije sistema zemljina površina-atmosfera, odnosno preko efekta staklene bašte. Računa se da ovaj gas učestvuje sa

Rezime

U ovom radu se prikazuje kako određena tehnologija može da utiče na smanjenje stakleničkih gasova, čija nekontrolisana emisija stvara fenomen stakleničke bašte i ugrožava civilizaciju na Zemlji.

U TE Gacko 1x300MW je zbog nepoznavanja specifičnih hemijsko fizičkih osobina elektrofilterskog pepela dovelo do promašaja tehnologije vanjske otpreme i deponovanja pepela.

Obzirom da su nastali veliki problemi u radu TE pristupilo se obimnim istraživanjima kako uopšte o pepelu i njegovim osobinama vezano za mogućnost njegovog iskorištenja kao korisne sirovine, tako i na rješavanju i instalisanju sigurne tehnologije vanjske otpreme i deponovanja pepela.

Kao rezultat istraživanja usvojena je tehnologija hidrauličkog transporta i deponovanja pepela, čiji je autor Rudarski institut - Beograd, Zavod za pripremu mineralnih sirovina, kojom se ostvario siguran rad TE u ovom segmentu tehnološkog procesa proizvodnje električne energije.

Ovo tehnološko rješenje je, osim sigurnog rada TE, omogućilo da se na osnovu hemijskog sastava pepela ostvari smanjenje CO₂ u okolnom vazduhu.

Abstract

In this work it is showed how certain technology can affect reduction of greenhouse gases, whose uncontrolable emission creates greenhouse phenomenon and threatens to civilization on the Earth.

In TPP Gacko 1x300MW, due to ignorance of specific chemical and physical characteristics of electrostatic precipitator, it came into failure of technology regarding outside delivery and ash disposal.

Concerning the fact that there were serious problems in TPP operation it came to comprehensive research of ash and its features in relation to possibility of its utilization as commercial raw material, as well as solution and installation of safe technology regarding outside delivery and ash disposal.

As a result of research, hydraulic transport and ash disposal technology was adopted, whose author is Mining Institute – Belgrade, Institution for preparation of mineral raws, by which the safe operation of TPP was achieved in this segment of technology process related to electricity production.

This technology solution, beside safe operation of TPP, enabled, based on the chemical composition of ash, accomplishment of CO₂ reduction in surrounding air.

50% u antropogenom efektu staklene bašte, a oko tri četvrtine antropogenih emisija ovog gasa nastaje izgaranjem **fosilnog goriva**, odnosno proizvodnjom električne energije. Njegove koncentracije u atmosferi su se naročito povećale u zadnjim decenijama (od

175 do danas za 31%, prema izvještaju IPCC iz 2001 godine).

Elektrofilterski pepeo TE „Gacko“

Elektrofilterski pepeo termoelektrane Gacko(1x300MW)(u daljem tekstu

Slika 1



Ovakav pepeo, koji sadrži do 45% slobodnog CaO (živog kreča), ne može se bez opasnosti odlagati u prirodi, jer reaguje sa vodom. Nastali Ca(OH)₂ - gašeni kreč - topljiv je u vodi (1,66 g/l na 20°) i voda postaje bazična sa pH = 12,5. Ovakve vode su opasne za floru i faunu.

Hemijski sastav utvrđen analizom velikog broja uzoraka pepela pokazuje da je pepeo TE „Gacko“ jedna vrsta hidrauličnog kreča.

Hidraulični kreč čini prelaz između masnog kreča i cementa.

Tabela 1 Hemijske analize uzoraka EFPG TE Gacko

Komponente	Sadržaj %
SiO ₂	3,55 - 16,90
Al ₂ O ₃	2,25 - 11,62
CaO	48,72 - 69,68
Fe ₂ O ₃	0,33 - 4,48
CaS	0,00 - 0,90
SO ₃	10,08 - 16,00
MgO	1,10 - 5,88
TiO ₂	0,06 - 0,39
Na ₂ O	0,37 - 0,60
K ₂ O	0,41 - 0,93
gubitak žarenj.	6,26 - 10,50
CaOslobod.	32,00 - 44,40

Tabela 2 Hemijski sastav elektrofilterskih pepela nekih TE iz bivše SFRJ

TE	Komponente					
	gubici žarenj.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	SO ₃
Kolibara	3,06	52,97	20,64	9,58	7,88	1,25
Kostolac I	7,15	49,48	22,40	10,72	5,90	1,04
Kostolac II	3,90	50,10	21,72	10,77	6,30	2,72
Trbovlje	8,30	47,62	24,54	11,06	9,25	1,05
Šoštanj	1,03	43,50	23,89	13,36	3,56	1,99
Tuzla	3,35	48,40	18,69	9,15	14,46	-

SFRJ (tabela 2.), a prema dostupnim literaturnim podacima i od pepela u svijetu (slika 1). Na primjer, elektrofilterski pepeli termoelektarna u SAD u kojima izgara lignit, sadrže maksimalno do 18% CaO.

U tabeli 3 je dat prikaz hemijskog sastava pepela iz termoelektarne „Gacko“ i standardnog sastava hidrauličnog kreča i cementa.

Ispitivanjem su utvrđene i slijedeće osobine bitne za rješavanje problema transporta i deponovanja pepela i to:

- specifična gustina $\gamma = 2860 \text{ kg/m}^3$
- nasipna gustina $\gamma_n = 880 \text{ kg/m}^3$
- zapreminska gustina (u zbijenom stanju) $\gamma_z = 1380 \text{ kg/m}^3$ (50%Č)

Analize granulometrijskog sastava pepela pokazale su da se radi o veoma sitnom materijalu kod kojeg je učešće čestica sitnijih od 74 mikrometra više od 92%. Ovakav granulometrijski sastav pepela idealan je za spravljanje mješavina za hidraulični transport. Moguće je ostvariti i male ekonomične brzine protoka mješavine bez opasnosti od sedimentacije u cijevima.

EPFG je nisko radioaktivan. Mjerenjem radioaktivnosti pomoću poluvodičkog Ge(Li) detektora i 4096 višekanalnog analizatora dobivena je radioaktivna analiza prikazana u tabeli 4.

Po članu 12. Pravilnika o maksimalno dozvoljenim granicama radioaktivne kontaminacije čovjekove okoline (Sl.list SFRJ broj 32/79), koji se odnosio na maksimalno dozvoljene granice radioaktivne kontaminacije građevinskog materijala postavljao je uslov:

Cu - koncentracija urana (Bq/kg)

Tabela 3

Komponenta	Pepeo %	Hidraulični kreč %	Cement %
SiO ₂	3,55 - 16,90	4 - 23	18 - 27
Al ₂ O ₃	2,25 - 11,62	1 - 15	4 - 11
CaO	48,72 - 69,68	60 - 90	48 - 67
Fe ₂ O ₃	0,33 - 4,48	-	2 - 5
CaS	0,00 - 0,90	-	-
SO ₃	10,08 - 16,00	0,1 - 3,5	1,5
MgO	1,10 - 5,88	0 - 6	2
Na ₂ O	0,37 - 0,60	-	-
K ₂ O	0,41 - 0,93	-	-
gubitak žarenjem	6,26 - 9,80	-	3,0
CaO slobodan	32,00 - 44,40	-	-

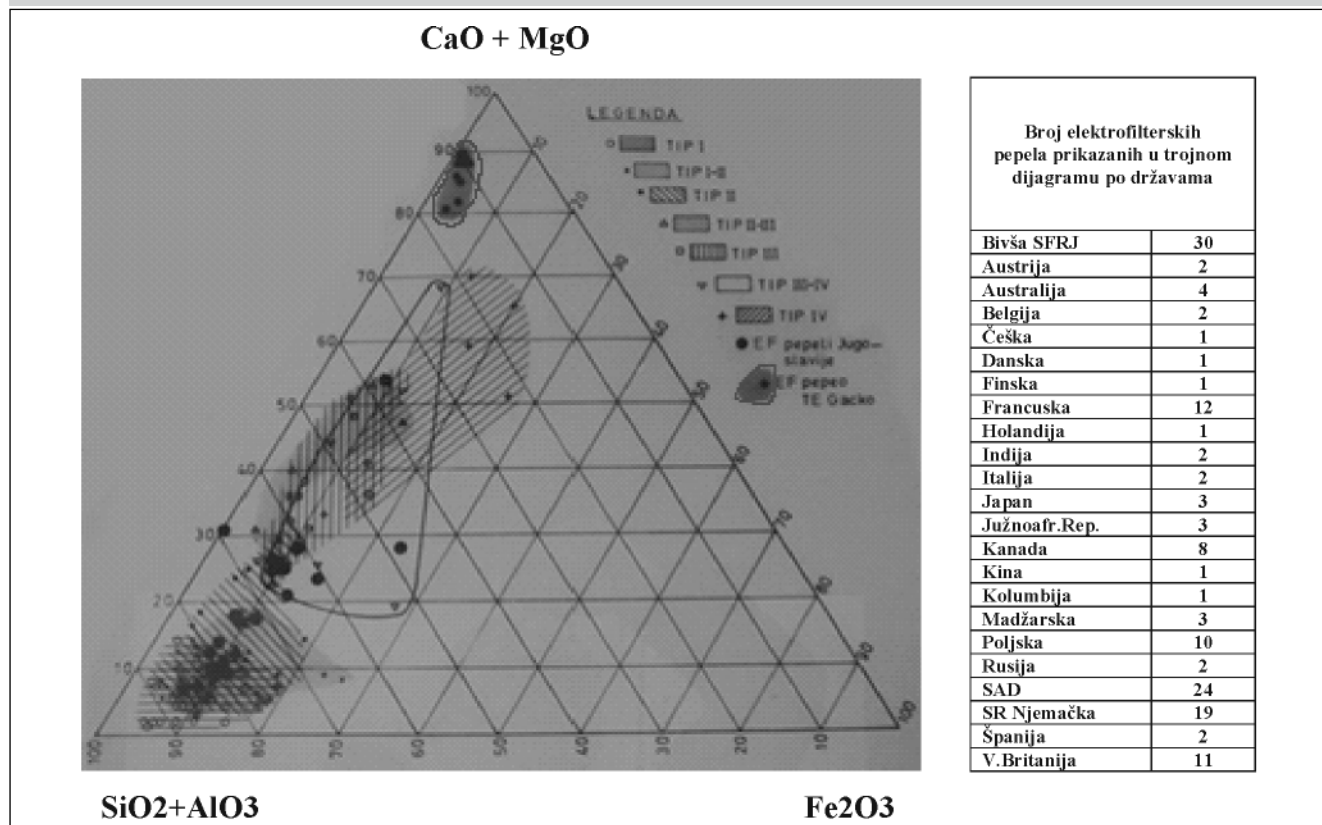
EPFG) vrlo je specifičan po sastavu (tabela 1.) i mnogo se razlikuje od pepela termoelektana bivše države

pojednim uzorcima i do 80%. Analize uzoraka pepela pokazuju da je učešće aktivnog kalcijuma do 45%.

Tabela 4 Radioaktivna analiza EFPG

	Cena goriva	Cena kWh u €cent	
		12500 kJ/kWh	14000 kJ/kWh
Prirodni gas Hd = 33.338 kJ/st m ³	29,5 din./stm ³	11,64	13,04
Mazut Hd = 41.000 kJ/kg	29 din./kg	9,30	10,42
	33 din./kg	10,60	11,86

Slika 1 Trojni dijagram sastava EFP različitih termoenergetskih objekata iz bivše SFRJ (30 EFP) i svijeta(115 EFP) razvrstanih po tipovima (klasifikacija po S.Droljcu)



CTh - koncentracija torija (Bq/kg)

CK - koncentracija kalija (Bq/kg)

SGDK - srednjagodišnjakonzentracija

CO - koncentracija ostalih umjetnih radionuklida (Bq/kg)

EPFG ovaj uslov zadovoljava i naprijed navedena formula ima vrijednost **0,35**.

Iz ovoga proističe zaključak da sa stanovišta radioaktivnosti uskladištenje EPFG ne predstavlja opasnost za čovjekovu okolinu.

Analize granulometrijskog sastava pokazale su da se radi o veoma sitnom materijalu kod kojeg je učešće čestica sitnijih od 74 mikrometra više od 92%.

Obilježeni dio u vrhu trougla je područje EFP TE Gacko. Po karakteristika najslbližnji je pepeo lignita iz rudnika sa Kosovo i Metohije, koji ima do 50% CaO(slobodnog i vezanog).

Iz navedenog prikaza vidljivo je da je ogromna većina EFP tzv. kiseli pepeo sa većinskim sadržajem SiO₂.

Osnovno tehnološko rješenje

Prvo tehnološko rješenje otpreme pepela koncipirano je na slijedeći način:

- poslije odvajanja čestica pepela u elektrofilterskom postrojenju isti je pneumatskim putem transportovan u silos(dva bunkera) u kojim je deponovan;

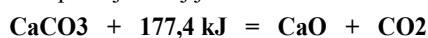
- u silosu ispod bunkera instalirani su peletalizacioni tanjiri u kojim se pepeo vlažio vodom i stvarala se gusta masa ;
- takva gusta masa, kao tijesto, istresala se u otvorene kamione i vozila se na deponiju,
- međutim tako slabo ovlažen pepeo nije stizao do deponije nego je ostajao na putu i pored puta do deponije;

• Zašto ?

Zato što je dolazilo do stvaranja „gašenog pepela“ tj.dolazilo je do reakcije kao kod gašenog kreča, jer ovaj pepeo sadrži do 45% slobodnog CaO.

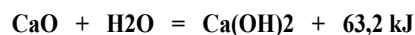
Reakcija koja nastaje sasvim je poznata i jasna.

- CaO nastaje u ložištu kotla termičkom razgradnjom kalcijevog karbonata CaCO₃ , koji se nalazi u jalovini. Razgradnja kalcijevog karbonata endotermna je reakcija i odvija se na temperaturi iznad 900° C po slijedećoj jednačini.



- oslobođeni CO₂ dekarbonizacijom CaCO₃ i nastali CO₂ izgaranjem lignita odlaze sa dimnim gasovima u atmosferu. Dimni gasovi sadrže oko 15% CO₂.
- kada nastali CaO u pepelu dođe u dodir sa vodom odvija se poznata

reakcija hidratacije odnosno gašenja kreča



Reakcija hidratacije je egzotermna.

Obzirom da je pepeo slabo ovlažen reakcijom hidratacije stvorena energija djeluje tako što dovodi do „eksplozija“ uslijed kojih je pepeo ispadao iz kamiona.

Rezultat rada ovog postrojenja je da se ono moralo napustiti, jer se nije mogao ovako ovlažen transportovati i na kraju bi se zatrpao put do deponije i stvarali su se veliki ekološki problemi, jer je nastali Ca(OH)₂ topiv je u vodi, a takva je voda bazična do pH=12,5.

Zašto je došlo do promašaja tehnologije?

Postoje dva moguća razloga ili se radilo po inerciji računajući da je u pitanju kiseli pepeo(veliki sadržaj SiO₂) ne vodeći računa o hemijskom sastavu pepela ili se nije vodilo računa o mogućoj reakciji i ako se znao hemijski sastav.

Problemi su nastali i na razne načine se rješavao problem vanjskog transporta pepela. Problem je bio i taj što se pojavila još jedna specifičnost, a to je da je odnos elektrofilterskog pepela i šljake oko 10:1, odnosno velika količina pepela, koju je trebalo deponovati i zaštititi okolinu od negativnog

energija

uticaja odloženog pepela. U drugim termoelektranama ovaj odnos je uglavnom obrnut.

Novo tehnološko rješenje

Obimnim istraživanjima, u kojima su učestvovala mnoge naučne institucije iz bivše SFRJ, prišlo se obimnim istraživanjima EFP i njegovog iskorištenja kao korisne sekundarne sirovine u građevinarstvu, poljoprivredi i slično.

Međutim, osnovni zadatak je bio istraživanje na rješavanju sigurne tehnologije vanjskog transporta i bezbjednog deponovanja pepela i kao najbolje rješenje, koje je i usvojeno, ponudio je Rudarski institut-Beograd, Zavod za pripremu mineralnih sirovina.

U procesu utvrđivanja i definisanja nove tehnologije pošlo se od obimnih istraživanja prema usvojenom programu istražnih radova u saglasnosti sa tehnologijom pripreme hidromješavine (pulpe), njenog transporta i deponovanja.

Program istražnih radova obuhvatio je slijedeće istraživanje i određivanje : **granulometrijskog sastava, hemijskog sastava, specifične gustine, nasipne gustine, zapreminske gustine, brzine vezivanja vode u fazi pripreme, transporta i deponovanja, gubitka mase nakon vezivanja vode, hidraulične zbijenosti, debljine sloja deponovanog pepela, mogućnosti dodatnog vezivanja vode, pH vrijednosti vode nakon kontakta sa pepelom i osnovnih geomehaničkih parametara.**

Određeni podaci ovih istraživanja su dati u prethodnim poglavljima.

U cilju naprijed navedenih istraživanja prvo su izvedeni opiti koji su trebali da pokažu uslove u fazi pripreme guste pulpe za hidraulički transport. Opiti su rađeni kondicioniranjem pri različitim gustinama pulpe i došlo se do zaključka da industrijski proces treba voditi pri gustinama **40-60 %Č.**

Kako je naprijed navedeno kontaktom pepela sa vodom dolazi do hemijske reakcije između CaO i vode i dobija se Ca(OH)₂ i oslobađa se toplota 63,2 kJ, koja obezbjeđuje isparavanje vode. Reakcija se nastavlja ukoliko se veže CO₂ iz vazduha. Utvrđeno je da se nakon kondicioniranja, obzirom da u cjevovodu nema prisustva CO₂, transport pulpe obavlja u obliku Ca(OH)₂ i neće doći do formiranja CaCO₃ odnosno do stvrdnjavanja.

Prilikom reakcije CaO i vode dolazi do gubitka mase i za 24h za maseni odnos pepela i vode 1:1,5 gubitak je 12,78%,

za odnos 1.1 gubitak je 8,41% i za 1:0,67 gubitak je 9,69% .

Interesantan je bio i podatak laboratorijskog ispitivanja o brzini vezivanja vode u slojevima deponovane hidromješavine i rezultati su prikazani na grafikonu 1.

Iz navedenog grafika vidljivo je da je za

svaki novi sloj

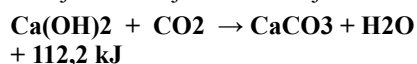
potrebno kraće vrijeme vezivanja vode.

Pri gustini hidromješavine 40-60%Č (Č : T = 1:1,5 do 1-0,67) potpuno vezivanje tehnološke vode se ostvaruje u periodu od 50 minuta.

Isticanjem pulpe u obliku hidromješavine kalcijevog hidroksida na deponiju ona dolazi u kontakt sa vazduhom odnosno sa CO₂ iz vazduha.

Da bi se ostvarila potpuna reakcija potrebno je bilo ispitati koja je optimalna debljina odloženog pepela. Rezultati ispitivanja su pokazali jednoznačno da se deponovanje treba vršiti u tankom sloju oko 10-20 cm kako bi se obezbjedio potpuni kontakt Ca(OH)₂ i CO₂ iz vazduha i kako bi došlo do formiranja CaCO₃.

Razlijevanjem hidromješavine u tankim slojevima na deponiju dolazi do hemijske reakcije karbinizacije



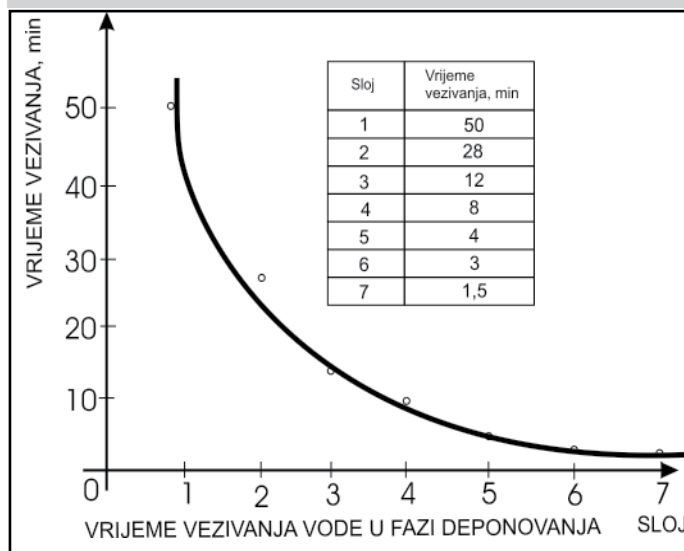
Reakcija hidratacije i karbonizacije su egzotermne tj. termodinamički favorizovane.

Kalcijum hidroksid reaguje, zajedno sa prisutnim bikarbonatima, sa ugljen dioksidom iz vazduha i gradi nerastvorljiva i kompaktna jedinjenja prvenstveno kalcijum karbonat (kalcit ili aragonit) i druge karbonate (magnezit, natrijev karbonat, siderit i druge).

Karbonati su minerali koji sadrže anion (CO₃)²⁻. Struktura karbonat aniona je planarna, gdje je ugljikov atom okružen sa tri oksigenova atoma.

Najpoznatiji karbonat u prirodi je kalcijum karbonat. Kalcijev karbonat u prirodi ulazi u sastav stijena i minerala i pojavljuje se pod nazivom krečnjak, kalcit, aragonit, kreda, mramor. Svi ovi materijali imaju isti hemijski sastav samo su različitog izgleda. Osobine

Grafikon 1



kalcijum karbonata su: bijeli prah, molarne mase 100.087 g/mol, agregatno stanje čvrsto, gustoća 2,83 g/cm³, tačka topljenja 825°C, tačka ključanja raspada se, ne rastvara se u vodi.

Novo usvojeni tehnološki proces vanjske otpreme pepela i njegovog bezbjednog deponovanja obavlja se na slijedeći način.

Kao i u prvom tehnološkom rješenju suh pepeo, ispod elektrofiltera, pneumatski se transportuje u silos i smješta u dva bunkera. U bunkerima se pepeo održava u fluidiziranom stanju pomoću komprimiranog vazduha.

Ispod bunkera su instalirana dva kondicionera i formiraju se dvije neovisne tehnološke linije. One su međusobno nezavisne u pogledu snabdijevanja pepelom, u pogledu pripreme hidromješavine i njenog transporta i odprašivanja.

Snabdjevanje sirovom vodom je zajedničko, a obezbjeđeno je dovođenjem cjevovodom iz rezervoara hemijske pripreme vode i preko ugrađenih mjerača protoka i pritiska kontrološe se funkcionisanje ovog dijela procesa.

Kondicioner je uređaj u kome se vrši priprema hidromješavine i predstavlja čeličnu posudu snabdjevenu robusnim mješaćem i pogonskom grupom. Zadatak kondicionera u čitavom procesu je da omogući kontakt svakog zrna pepela sa vodom, a za to je potrebno 3 minuta.

U kondicioner se pepeo i voda dovode po strogo određenom redosljedju i to najprije se dodaje voda, a potom suhi pepeo gravitaciono iz bunkera preko nasipne vage. Ovaj redosljed se mora poštovati, jer bi zamjena dovela do havarije. Zadati maseni odnos između

energija

pepela i vode je 1:1. Formirana hidromješavina ima učešće čvrste faze od 50%, odnosno gustinu od 1481 kg/m³.

Mjerenje i upravljanje procesa se vrši putem aplikativnog softvera za PLC i nadzorni računar.

Transport hidromješavine do deponije vrši se u početnom periodu deponovanja gravitaciono, a zatim prinudno radom muljnih pumpi.

Proces kondicioniranja, transporta i deponovanja je kontinuiran i hidromješavina se u slojevima razlijeva po deponiji.

Deponovanje pepela se vrši u slobodnom (otkopanom) prostoru površinskog kopa Gračanica.

Sušтина je da se hidromješavina razlijeva u slojevima maksimalno do 20 cm. Smanjenjem debljine sloja, pri deponovanju, ubrzava se proces očvršćavanja, a time i postojanost odložene mase, dok se povećanjem debljine sloja postižu suprotni efekti.

Posmatranjem reakcije deponovanog pepela može se zaključiti da u slojevima do 20 cm sa gustinom (masena gustina) iznad 45% čvrstog dolazi do potpunog vezivanja vode i to za gustinu od 60% Č poslije 25 minuta, a za gustinu od 45% Č poslije 120 minuta. U početku se po tom materijalu bez slobodne vode ne može hodati bez upadanja noge u smješu, ali nakon 2-3 časa slobodno se može hodati bez upadanja u smješu i bez ostavljanja otisaka obuće.

Navedeno rješenje je nastalo na osnovu detaljnih laboratorijskih ispitivanja karakteristika pepela, poluindustrijskih ispitivanja formiranja pulpe, transporta i deponovanja, kao i industrijskih ispitivanja na terenu, te na bazi stručnih i naučnih dostignuća sa sličnim sirovinama i tehnološkim procesima.

U bivšoj SFRJ nije bilo termoelektrane gdje se pepeo transportovao i deponovao na ovaj način, a isto tako nije bilo poznato ni u svijetu ovakvo rješenje. **Specifičnost ovog rješenja je, u svakom slučaju, što nije bilo poznato da u svijetu postoji pepeo sličnih karakteristika.**

Značajno za ovaj novi sistem otpreme pepela je i taj što je znatno smanjio troškove proizvodnje električne energije u ovom dijelu proizvodnog ciklusa rada TE.

Uticaj i efekti novog tehnološkog rješenja vanjske otpreme i načina deponovanja pepela na zaštitu životne sredine.

Deponovanje pepela vrši se u slobodnom (otkopanom) prostoru površinskog kopa Gračanica.

Na tom prostoru pripremljena je akumulacija za deponovanje pepela ograničena zemljanim nasipom visine ≈ 2,0 m oko cijele deponije. Zadatak tog nasipa je da spriječi svako eventualno prodiranje pepela i zagađene vode (alkalne) van zauzetog prostora. Dno tog uređenog prostora, kao i unutarnje strane nasipa su obložene vodonepropusnom folijom. Između zemljanog nasipa i područja gdje se deponuje hidromješavina (pulpa) oko cijele deponije sa unutrašnje strane urađen je kanal dubine od 1,0 m i širine dna oko 2,0 m i koji se takođe oblaže vodonepropusnom folijom. Zadatak ovog kanala je da prikupi atmosfersku vodu, koja se sliva sa očvršle površine odloženog pepela.

Površina zauzetog prostora je oko 50 ha i podijeljena je na pet sektora.

Veličina zauzetog prostora uslovljena je hidrološkim prilikama područja i težnjom da bilans vode bude takav da uvijek postoji manjak tehnološke vode.

Unutar svakog sektora tokom eksploatacije se buldozerom rade kasete. Cilj ovih kasete je da omogućе i obezbjeđe deponovanje pepela u tankom sloju te da se omogući vrijeme potpunog završetka hemijske reakcije. Formiraju se po 4 kasete. Svaka kasete je aktivna tokom jednog radnog dana, a sljedeća tri dana služi za završetak hemijske reakcije i formiranje mase pogodne za razgrtanje buldozerom i formiranje obodnih nasipa (visine oko 0,5 m).

Pepeo se u deponiju odlaže u obliku pulpe sa gustinom 40-60% Č (pepeo). Ako je taj odnos 50Č-50T onda godišnje u deponiju stiže oko 360.000 t pepela i 360.000 m³ vode. Ispitivanja su pokazala, a sada i praktično, da pepeo veže svu vodu do gustine od 40% Č tj. 360.000 t pepela hemijski veže 540.000 m³ vode što znači da pepeo dodatno veže oko 180.000 m³ atmosferske vode.

Ako se usvoji da je, prema meorološkim podacima, isparavanje na području Gacka oko 50%, utvrđeno je da deponovani pepeo, sve dok je deponija aktivna, može još da primi dodatne količine atmosferskih padavina i to:

- godine sa velikim padavinama oko 65.000 m³
- godine sa najmanjim padavinama oko 118.000 m³
- godina sa prosječnim padavinama oko 95.000 m³.

Rezultat ispitivanja, a potom i praktičnih pokazatelja je konstatacija da u svim slučajevima pepeo ostaje nezasićen i da može akumulirati sve atmosferske padavine.

U vrijeme velikih voda sigurno je da pepeo neće trenutno moći da veže svu

vodu, a istovremeno je jasno da će znatne količine vode preko očvršle kore deponovanog pepela da otiču ka nižim kotama. Da bi se i te vode kontrolisale na najnižim kotama deponije grade se prelivni šahtovi, koji prihvataju te vode, a koje zatim mogu muljnim pumpama da se odvede preko obodnog kanala i koriste za ponovno kondicioniranje.

Izgradnjom ovakve deponije u kojoj deponovana hidromješavina - pulpa očvršne, pri čemu višak vode ispari, predstavlja siguran sistem deponovanja.

Osim toga, deponovani pepeo naknadne atmosferske padavine u znatnoj mjeri upije izuzev u ekstremnim slučajevima velikih padavina kada se višak vode skuplja u obodnim kanalima i šahtovima. Ta voda može da se vrati ponovo u ciklus za spravljanje pulpe čime se obezbjeđuje potpunu sigurnost i potpuna zaštita životne sredine od nekontrolisanog isticanja alkalnih voda opasnih za okolinu.

Po završetku deponovanja pepela neophodno je izvršiti rekultivaciju područja deponije što je i zakonska obaveza. U ovom slučaju zbog osobina pepela motiv i zahtjev za rekultivacijom i zaštitom zauzetog područja je jači od samih zakonskih obaveza.

Obzirom da deponovani pepeo ipak posjeduje ograničenu moć vezivanja vode, da je plastičnom vodonepropusnom folijom spriječeno oticanje voda u podzemlje, te da na području Gacka veći priliv padavina nego što voda uspije da ispari to je neophodno spriječiti kontakt trajno deponovanog pepela i novih količina vode. Da bi se to postiglo potrebno je kompletan deponovani pepeo po prestanku deponovanja istog obložiti vodonepropusnom folijom. Na ovako izolovani pepeo treba nasuti sloj humusa određene debljine i formirati bio pokrivač.

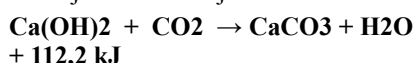
Opisana nova tehnologija otpreme i deponovanja pepela je istražena i koncepcijski i projektno utvrđena početkom devedesetih godina prošlog vijeka i u realizaciju se pošlo 1991. godine. Međutim, zbog ratnih dešavanja, a kasnije zbog nedostatka finansijskih sredstava i drugih razloga realizacija projekta se odužila i projekat je završen i pušten u pogon u ljeto 2007. godine. Postrojenje je potpuno automatizovano i radi bez problema i zastoja.

U *tebeli 5* su prikazani osnovni parametri proizvodnje električne energije i pokazatelji rada novog postrojenja otpreme i deponovanja pepela nakon godinu dana rada.

Tabela 5

Godina 2007/2008	Proizvodnja el.energije na generatoru MWh	Potrošnja uglja t	Proizvodnja pepela t	Odnos pepela i spaljenog uglja %	Voda utrošena u proizvodnji hidromješavine m ³	Odnos pepela i vode Č : T %	Broj dana rada postrojenja u mjesecu
septembar	145.299,5	181.774	12.819,00	7,05	17.223,0	42,67:57,33	15
oktobar	162.807,5	196.489	25.717,00	13,09	31.487,3	44,96:55,04	28
novembar	156.151,5	198.850	23.275,80	11,71	30.406,8	43,36:56,64	25
decembar	175.189,0	219.460	26.192,40	11,93	35.752,4	42,28:57,72	26
januar	148.619,5	191.462	22.526,25	11,76	30.420,6	42,55:57,45	28
februar	174.921,5	204.361	29.445,70	14,41	40.652,3	42,00:58,00	29
mart	145.615,0	164.050	23.151,20	14,11	33.788,3	40,66:59,34	27
april	163.982,5	191.481	27.606,50	14,42	37.677,9	42,29:57,71	29
maj	163.542,0	183.331	26.872,00	14,66	36.475,2	42,42:57,58	29
jun	153.955,0	181.300	25.935,80	14,31	37.938,0	40,60:59,40	28
jul	161.950,0	207.195	41.017,40	19,80	59.653,8	40,75:59,25	30
avgust	176.146,5	203.517	35.062,50	17,23	54.720,4	39,00:61,00	31
UKUPNO	1.928.179,5	2.323.270	319.621,55	13,76	446.196,0	41,74:58,26	

Kako je naprijed navedeno prilikom isticanja hidromješavine u slojevima debljine do 20 cm nastaje slijedeća reakcija karbonizacije



i iz koje je jasno vidljivo da se u tom procesu iz vazduha apsorbira određena količina CO₂.

Obzirom da je CO₂ (t) osnovni staklenički gas i da se preko njega kao CO₂ eq (t) preračunavaju ostali staklenički gasovi to je bitan i značajan doprinos nove tehnologije otpreme i deponovanja pepela zaštitu životne sredine, jer apsorbira ugljen dioksid iz atmosfere

Pri sagorijevanju uglja u ložištu kotla oko 98% ugljenika iz uglja se oksiduje u CO₂, koji putem dimnih gasova odlazi u atmosferu. U cilju smanjenja efekta staklene bašte, danas se u svijetu ulažu maksimalni naponi za smanjenje koncentracije njenog glavnog aktera, ugljendioksida.

Veoma se cijene ponori CO₂ u okeane i šume ali se razvijaju i tehnologije za njegovo hvatanje.

Krajem 2008. godine u Evropskom parlamentu su usaglašeni stavovi o donošenju direktive kojom se obezbjeđuje pravni okvir za novu tehnologiju sakupljanja i skladištenja ugljen dioksida (CCS). Ova direktiva predstavlja regulatorni okvir za sigurno i trajno podzemno skladištenje CO₂. U EU je planirana izgradnja 9 ili 10 komercijalnih CCS demonstrativnih projekata širom Evrope u narednom periodu.

U TE Gacko hvatanje CO₂ u odloženi pepeo je vrlo vrijedan pažnje i predstavljaju značajno prirodno skladište.

U periodu koji je posmatran u ovom radu, od septembra 2007.

do avgusta 2008. u TE Gacko je proizvedeno 319.621,55 t pepela, a kako pepeo sadrži 45% slobodnog CaO to znači da je ukupna količina slobodnog CaO iznosila 143.829,69t. Odloženi pepeo apsorbira CO₂ po naprijed navedenoj reakciji i ako pretpostavimo da se reakcija odigrava u prinosu od 80%, stehiometrijski proračun pokazuje da se u ovom periodu iz atmosfere apsorbiralo 90,407GgCO₂.

Ovolika količina CO₂ nastaje pri sagorijevanju 113,52 kt gatačkog uglja po osnovu proračuna prema IPCC direktivi, defolt emisionom faktoru za lignit i toplotnoj moći uglja 8,03TJ/kt.

„Energija i ekologija“ – Beograd, 10-12. decembra 1986. godine,

- **Industrijska ispitivanja pripreme, transporta i deponovanja pepela teroelektrane „Gacko“ Tehnološki istražni radovi - Rudarski institut, Zavod za pripremu mineralnih sirovina, Beograd jul 1988. godine,**
- **Glavni projekat pripreme i transporta pepela TE Gacko u vidu guste hidromješavine, Knjiga 1. Sveska 1., Priprema i transport pepela - Rudarski institut - Beograd, juli 2005. godine**
- **Podaci o proizvodnji električne energije, potrošnji uglja i proizvodnji pepela, kao i potrošnji vode su dobijeni iz ZP Rudnik i TE Gacko, oktobar 2008. godin**

Literatura

- **Studija o istraživanju mogućnosti primjene elektrofilterskog pepela TE Gacko u građevinarstvu. Karakteristike elektrofilterskih pepela termoelektranih objekata u Jugoslaviji i svijetu i dosadašnja istraživanja i iskustva o njegovom korištenju u građevinarstvu - Dr Vinko Rogić, Dane Dasović, Građevinski fakultet- Mostar, 1988. godina**
- **Hidraulični transport i deponovanje pepela - Konceptijsko rješenje – Rudarski institut, Zavod za pripremu mineralnih sirovina, Beograd, jul 1986. godine,**
- **Neutralizacija elektrofilterskog pepela teroelektrane Gacko - Dr Vinko Rogić, Nerkez Mačkić, Boris Matković, Matija Paljević, Branko Grk, Dragomir Glogovac Jugoslovenski komitet svetske konferencije za energiju, Stručni skup**

Eksploatacija i sagorevanje niskokaloričnih ugljeva izradom vodouglijene emulzije

1.0. Uvod

Cilj ovog rada je opis tehnologije pripreme i sagorevanja ugljeva dobijanjem potpuno novog goriva za sagorevanje u termoelektranama i toplanama. Takvo gorivo je emulzioni energent nazvan vodouglijena emulzija (VUE). Vodouglijena emulzija se dobija „mešanjem“ vode i uglja u ultrazvučnim uslovima proizvodnje gde se dobija potpuno novo gorivo koje pri sagorevanju u potpunosti rešava tehničke, ekonomske i ekološke probleme. Voda u vodouglijenim emulzijama pri sagorevanju nije balast već katalizator procesa, zbog toga vodouglijene emulzije sagorevaju kao svaki drugi tečni energent.

Vodouglijene emulzije mogle bi da budu idealna zamena za homogenizaciju pri kovanju niskokaloričnih ugljeva kojih će u narednom periodu na našim kopovima biti sve više.

Vodouglijene emulzije su naučno i teoretski potpuno dokazani energenti koji su u masovnoj upotrebi u Americi i Rusiji.

Ovakvi energenti su sigurno budućnost u sagorevanju svih organskih ugljovodonika jer se dobijaju izuzetni ekonomski i ekološki efekti koji su neuporedivi u odnosu na klasično sagorevanje.

Primena vodouglijenih emulzija kod sagorevanja u postojećim termoelektranskim postrojenjima je moguća uz minimalne rekonstrukcije i minimalna ulaganja.

2.0. Osnovne karakteristike lignita

Goriva su primarni oblici energije u kojima se energija sastoji u hemijskom ili nuklearnom obliku. Oslobođanje

Rezime

U radu je dat opis izrade modela za dobijanje visoko demineralizovane vodouglijene emulzije od niskokaloričnih lignita. Ovako dobijeno energetsko gorivo kod sagorevanja u termoelektranama uspešno rešava niz tehničkih, ekoloških i ekonomskih problema. U radu je dat predlog načina primene u postojećim termoelektranama uz minimalna prilagođavanja postojećeg sistema pripreme i sagorevanja uglja.

Ključne reči: ligniti, sagorevanje, vodouglijene emulzije, demineralizacija.

Exploitation and Combustion of Coal by Water-Coaly Emulsion

Within a paper has been described a model for providing of high demineralised water-coaly emulsion from low heating coal values. In such a way provided energy fuel during combustion thermal power plants with success resolves series of technical, environmental and economic issues. In this paper has been given proposal regarding its application at existing thermal power plants with minimal adjustments of current system for preparation and coal combustion.

Key words: lignite, combustion, water-coaly emulsion, demineralization.

energije goriva vrši se kroz proces sagorevanja čime se povećava unutrašnja energija radne mase koja se koristi za dobijanje rada odnosno toplotne energije. Najviše se koriste fosilna goriva (ugalj, nafta, zemljani gas i sl.) a u ovom radu razmatraćemo čvrsta goriva i to lignit koji se sagoreva u ložištima termoelektrana u EPS-u. U zavisnosti od područja nastanka i geološke starosti ugljevi se mogu podeliti u četiri grupe čije su karakteristike date u tabeli 1.

Osnovne karakteristike lignita u EPS-u date su u tabeli 2.

2.1. Hemijski sastav uglja

Pri proračunu sagorevanja uglja u ložištima TE u EPS-u i pravilnom izboru parnih kotlova i sistema za prečišćavanje dimnih gasova neophodno je poznavati hemijski sastav uglja odnosno rezultate tehničke i elementarne analize.

Elementarna analiza je ustvari hemijska analiza koja obuhvata ukupnu masu uglja. Ona se može izraziti:

Tabela 1 Klasifikacija i osnovne karakteristike ugljeva

Vrsta uglja	Vlaga (maseni udeli) (%)	Donja toplotna moć (MJ/kg)	Ispaljive komponente (maseni udeli) (%)	Ukupni ugljeni maseni udeli (%)
Lignit	35 – 75	6,700 – 19,250	53 - 62	60 – 70
Smeđi ugalj	10 – 40	18,850 – 26,800	45 – 53	67 – 77
Kameni ugalj	3 – 10	23,900 – 35,400	10 – 50	77 – 92
Antracit	< 3	> 35,400	< 10	> 91

Tabela 2 Osnovne karakteristike lignita u EPS-u

	Kolubara	Kostolac	Kosovo
Tehnička analiza (maseni udeli,%)			
Vlaga, W	47,50	46,10	46,01
Pepeo, A	16,45	18,04	15,31
Sumpor ukupni, S	0,55	0,95	0,95
Koks, K	31,08	31,91	28,36
Fiksni ugljenik, C _{fix}	14,38	13,87	13,05
Isparljivo, id	21,42	21,99	25,63
Sagorljivo, Vg	36,05	35,86	38,68
Gornja toplotna moć uglja, kJ/kg	9701	9502	9227
Donja toplotna moć uglja, kJ/kg	8039	7863	7649
Elementarna analiza (maseni udeli, %)			
Ugljenik, C	23,86	23,42	23,31
Vodonik, H	2,11	2,16	2,06
Sumpor sagorljivi, S _{sag}	0,25	0,31	0,16
Azot + kiseonik, (N+O)	9,83	9,97	13,16

$$S + N + O + N + S + A + W = 100 \% \quad (1)$$

gde su C, H, O, N, S, A, W maseni udeli ugljenika, vodonika, kiseonika, azota, sumpora, pepela i vlage u radnoj masi uglja izražena u %.

Elementarna analiza osušenog uglja (W=0) definiše hemijski sastav sveden na suhu masu uglja. Ona je određena izrazom:

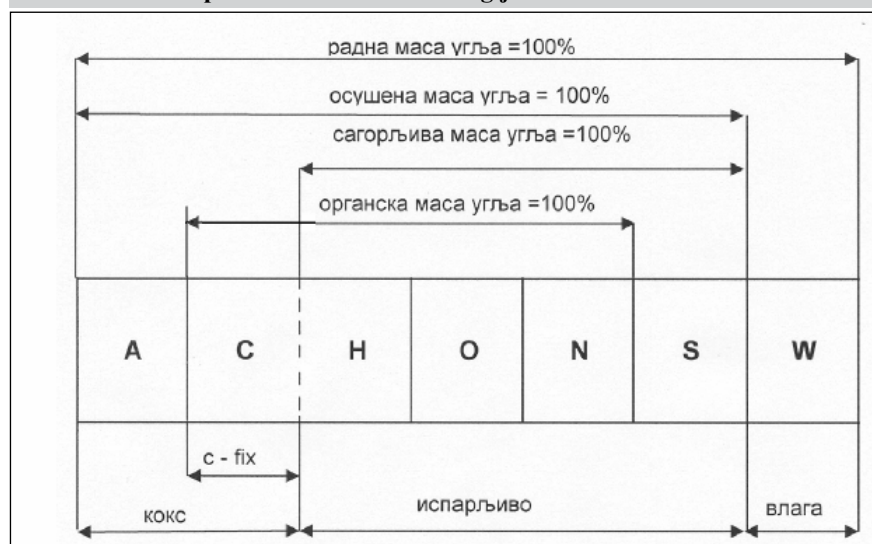
$$C + H + O + N + S + A = 100 \% \quad (2)$$

gde su C, H, O, N, S, A maseni udeli ugljenika, vodonika, kiseonika, azota, sumpora i pepela u sivoj masi uglja izražena u %.

Elementarna analiza sagorljive mase uglja određena je izrazom

$$C + H + O + N + S = 100 \% \quad (3)$$

Slika 1 Grafički prikaz tehničke analize ugljeva



gde su C, H, O, N, S - maseni udeli ugljenika, vodonika, kiseonika, azota i sumpora u sagorljivoj masi uglja u %.

Elementarna analiza organske mase uglja data je izrazom:

$$C + H + N = 100 \% \quad (4)$$

gde su C, H, N - maseni udeli ugljenika, vodonika i azota u sagorljivoj masi uglja u %.

Na slici 1 dat je grafički prikaz tehničke analize ugljeva

U tabeli 3 dati su faktori konverzije za prelaz iz jedne analize u drugu.

2.2. Mineralni deo materije u lignitima

Mineralni deo uglja predstavlja neorgansku odnosno nesagorivu masu. Ona predstavlja balast u uglju, jer njihovo prisustvo smanjuje sadržaj sagorljivih sastojaka u uglju a time i njegovu toplotnu moć.

Ispitivanjem je utvrđeno da se 95% mineralnih materija u uglju sastoji od karbonata kalcijuma, magnezijuma, zatim alumosilikata i sulfida.

Pri sagorevanju uglja od mineralnog dela nastaje šljaka i pepeo. Kod naših lignita sadržaj mineralne materije iznosi od 7-20%. Obzirom na period u kom su dospеле u ugalj, mineralne materije se dele na primarne, sekundarne i tercijarne.

Primarne ili unutrašnje mineralne materije potiču iz doba deponovanja organskih materija. One su vezane sa procesima fermentacije, saponifikacije i aminofikacije drvenastih delova biljaka zbog čega su prilično ravnomerno raspoređene u uglju. One se vrlo teško mogu izdvojiti iz uglja a sam proces je vrlo skup.

Sekundarne ili spoljašnje mineralne materije u ugalj su dospеле ili srastanjem sa maceralima u uglju ili naizmeničnim taloženjem organske zatim neorganske materije kao i usled tektonskih poremećaja. Poznati su kao proslojci u ugljenoj seriji.

Tercijalne mineralne sirovine su grube mehaničke nečistoće u uglju a produkt su primene neadekvatne tehnologije otkopavanja uglja ili njegovog prljanja u transportu ili preradi.

Spoljašnje mineralne materije (sekundarne i tercijarne) neophodno je izdvojiti iz uglja kako bi se postiglo potpuno sagorevanje organske materije i povećali efekti korišćenja uglja. To je moguće postići na više načina ali kao ekonomski i ekološki najprihvatljiviji je sistem drobljenja i pranja uglja. Nakon pranja u uglju ostaje samo sagorljiva organska masa uglja koja se

Tabela 3 Faktori konverzije elementarne analize

Masa zadanog goriva	Masa traženog goriva			
	Organska	Sagorljiva	Osušena	Radna
Organska	1	$\frac{100-(S^s)}{100}$	$\frac{W_o-(S^s-A^s)}{100}$	$\frac{100-(S+A)}{W} \cdot 100$
Sagorljiva	$\frac{100}{100-S^s}$	1	$\frac{100-A^s}{100}$	$\frac{W_o-(A+W)}{100}$
Osušena	$\frac{100}{100-(S^s+A^s)}$	$\frac{100}{100-A}$	1	$\frac{100-W}{100}$
Radna	$\frac{100}{100-(S+A+W)}$	$\frac{100}{100-(A+W)}$	$\frac{100}{100-W}$	1

melje do odgovarajuće krupnoće. Tako samlevena mikronizirana masa uglja postaje odlična sirovina za pravljenje vodougljene emulzije.

3.0. Teoretske postavke sagorevanja emulzionih energenata

Jedan od glavnih problema u energetskom sektoru je racionalno korišćenje energetskih resursa i ekološka zaštita životne i radne sredine u mestu sagorevanja.

Jedan od načina da se uspešno reše ovi a i niz pratećih problema je korišćenje emulzionih energenata kao potpuno novog goriva za sagorevanje u termoenergetskim postrojenjima. U slučaju lignita to je sagorevanje uglja u vodougljenoj emulziji.

Emulzioni energenti nastaju tako što se u specijalnim uređajima uz primenu ultrazvučne tehnologije vrši „spajanje“ vode sa energetskim nosiocima (mazut,

ugalj, dizel gorivo, benzin i sl.). Dodavanje vode u energent mora biti strogo kontrolisano tako da se voda i energent „spoje“ na molekularnom nivou jer tada voda postaje katalizator procesa sagorevanja a ne balast. Sadržaj vode zavisi od vrste energenata i kreće se od 12-17% a u posebnim slučajevima i od 20-35%. U termoenergetici interesantne su vodougljene emulzije (VUE), vodomazutne emulzije (VME) i vodougljne emulzije (VOE).

Da bismo objasnili kako sagoreva vodougljena emulzija (VUE) i kakve efekte dobijamo u odnosu na klasično sagorevanje uglja posmatračemo šta se dešava sa jednom kapljicom vodougljene emulzije u trenutku ulaska u ložište. U užarenom ložištu kapljica se trenutno cepa na vodeni i ugljeni deo. Vodeni deo se trenutno pretvara u vodenu paru koja se širi po celom ložištu po principu 1:1260 puta. Sa trenutnom promenom zapremine šire se i mikronizirane čestice uglja.

Cepanje kapljice vrši se u delovima sa tzv. mikroeksplozijama gde ugljene čestice dobijaju dodatnu kinetičku energiju i trenutno se raspadaju u kotlu. Tako se uvećava disperzija ugljenih čestica u ložištu i naglo povećava površina kontakta goriva sa vazduhom. Praktično se poboljšava stihometrijski odnos ugljenih čestica i vazdušne smeše što omogućava gotovo trenutno sagorevanje energenta. Kao rezultat mikroeksplozija u mestu sagorevanja čestice pojavljuju se žarišta turbulentnih pulsiranja koja uvećavaju broj elementarnih kapljica VUE. Zbog toga se plamen uvećava po obimu i ravnomernije popunjava komoru sagorevanja (ložišta). To dovodi do ujednačavanja temperaturnog polja grejanja uz smanjenje lokalnih maksimalnih temperatura i uvećanja prosečne temperature ložišta. Zato pri sagorevanju VUE plamen ima jako svetlu boju u odnosu na tamnu boju plamena kod klasičnog sagorevanja čestica uglja. Ta intenzivno svetla boja plamena znak je da je sagorevanje energenta (čestica VUE) potpuno i da nema potrebe u ložište dodavati dodatni vazduh. Manja količina vazduha automatski smanjuje gubitak toplote u ložištu i povećava stepen iskorišćenja kotla. Kod smanjenja koeficijenta dodatnog vazduha za 0.1% stepen iskorišćenja kotla se povećava za 1%. Na slici 2. prikazana je uveličan izgled segmenta VUE.

Kod potpunog sagorevanja čestica uglja dešavaju se i razne katalitičke reakcije koje znatno smanjuju emisiju štetnih produkata iz ložišta.

Brzina sagorevanja čestica VUE se znatno povećava što prati manje izdvajanje čvrstih produkata sagorevanja.

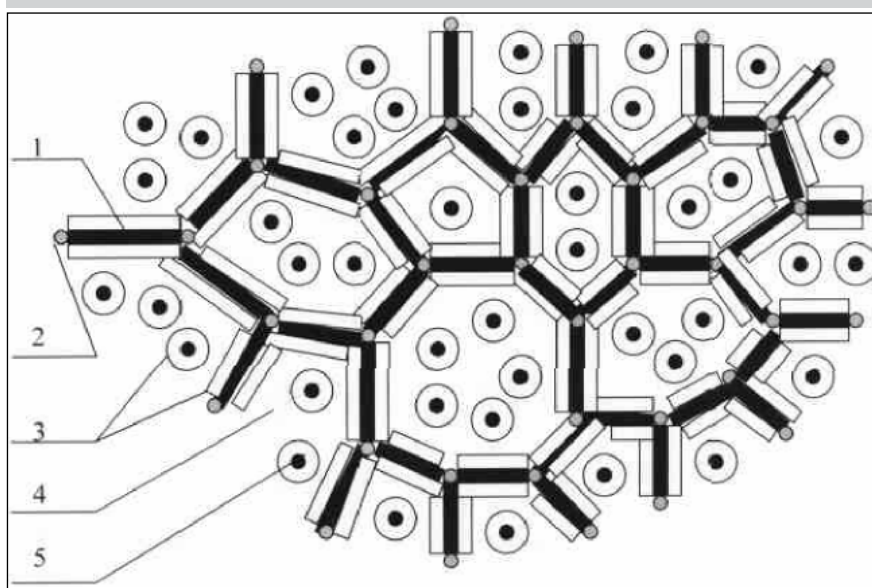
Važna pojava koja se uočava pri sagorevanju VUE je čišćenje kotla i kotlovskih cevi od starih i sprečavanje formiranja novih naslaga čađi i ostalih produkata sagorevanja. Ovo se objašnjava činjenicom da deo čestica VUE ulazi u ložište i tu eksplodiraju. Kao produkt mikroeksplozija imamo odvajanje nataloženog materijala na kotlovskim cevima. Time se smanjuju potrošnja goriva za 30-55% zbog zaprljanosti ložišta.

Dostizanjem navedenih parametara u procesu sagorevanja VUE bez preduzimanja bilo kakvih dugih aktivnosti u startu dobijamo sledeća poboljšanja:

Ekološki efekti

- smanjenje emisije NO_x i do 50%
- smanjenje SO_2 i do 3 puta
- smanjenje SO u proseku za 50%

Slika 2 Prostorni model strukture VUE



1-krupnije čestice uglja, 2-prisustvo strukture bez površinski aktivnog uticaja, 3-prisustvo strukture sa aktivnim površinskim uticajem, 4-prostor zapunjen emulzionim sredstvom, 5-malene čestice uglja

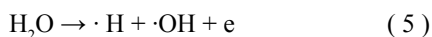
⇒ energija

- smanjenje CO₂ za 1,5 do 2 puta
- čađi za 2-3 puta
- ako se u vodenu masu dodaju rastvori SaO i MgO ili ako ovih jedinjenja zaostane posle pranja uglja dobićemo potpunu neutralizaciju ekološki neprihvatljivih oksida S.
- kod proizvodnje VUE u vodenu masu mogu se dodati sve otpadne vode i organska ulja koja će pri sagorevanju pomagati proces.

4.0. Tehnologija dobijanja vodougljenih emulzija (VUE) iz lignita

Bazno svojstvo svih ugljovodonika pa i lignita omogućava da se u postupku hidrogenizacije može izvršiti „spajanje“ vodonika sa atomima ugljenika. To je moguće izvesti na dva načina. Prvi je pod veoma visokim pritiskom od 700 - 800 bara i visokom temperaturom od 400-500 ° S. Drugi način je korišćenje ultrazvučnih efekata gde se pored hemijskog sjedinjavanja mogu postići i efekti zamene, spajanja i raspada molekula . U ultrazvučnim uređajima na molekularnom nivou stvaraju se uslovi za za odvijanje procesa hidrogenizacije i drugih fizičko – hemijskih procesa koji dovode do sonolize vode.

Ultrazvučni režim dovodi do pojave radikalnih čestica sa reakcionom sposobnošću. U slučaju vode karakteristične radikalne čestice nose atom vodonika i hidroksilni radikal :



U vodenoj sredini koja se nalazi u ultrazvučnom kolebanju prisutne su hidroksilne, peroksidne i druge radikalne čestice i jedinjenja.

Hidroksil radikal je najjači oksidans koji može da postoji u vodi i ima jako visok oksidacioni potencijal. Zbog toga je sposoban oksidovati praktično sva organska jedinjenja, jer lako kreće u reakciju sa molekulima koji sadrži aromatični prsten.

Pre dovođenja uglja u ultrazvučne uređaje mora se izvršiti priprema uglja. Priprema uglja podrazumeva demineralizaciju odnosno odstranjivanje iz uglja mineralnih nesagorivih materija.

Demineralizacija uglja može se vršiti flotiranjem ili pranjem uglja. Flotiranjem uglja odstranjuju se i spoljašnje i unutrašnje mineralne materije iz uglja, ali je taj postupak izuzetno skup i ne koristi se kod masovne proizvodnje.

Pranjem uglja mogu se odstraniti spoljašnje mineralne materije iz uglja što je za naše uslove sasvim prihvatljiv stepen čišćenja uglja. Pre

pranja ugalj je potrebno izdrobiti. I kod klasičnog sagorevanja ugalj se drobi u dробilanama na frakciju – 0 + 40 mm odnosno – 0 + 30 mm. Kapacitet drobljenja u našim dробilanama je 1000 – 1200 t/h ulazne sirovine po jednom mlinu. Broj mlinova na dробilanama obezbeđuje potrebne količine uglja za pojedina postrojenja. I kod pravljenja vodougljenih emulzija ovaj proces bi se zadržao jer frakcija koja se dobija nakon drobljenja odgovara uređajima za pranje uglja. Izdrobljeni ugalj bi se pre odlaganja na deponiji termoelektrane ili pre utovara u vagone podvrgao procesu pranja u centrifugalnom separatoru.

4.1. Pranje uglja

Pri izboru postupka i uređaja za demineralizaciju uglja vodilo se računa o efektima, tehnookonomskoj opravdanosti, kapacitetu postrojenja i mogućnosti primene u postojećim uslovima. Analizirajući sve postupke za uslove EPS-a najprihvatljiviji postupak demineralizacije uglja je pranje uglja u centrifugalnom separatoru uz hidrauličnu klasifikaciju dvokomponentne smese u ulazu. Kao medij za odvajanje koristi se voda u zatvorenom sistemu rada postrojenja i cirkulacije.

Hidraulički separator u svom radu koristi sledeću energiju kod razdvajanja mineralne (jalovine) od organske (ugljene) materije u ulaznoj sirovini:

1. energiju vode koja kontrolisanim pritiskom i količinom konstantno cirkuliše kroz rotacioni bubanj separatora. Mesto ulaska ove količine vode je podešavajuće a izlazak je na najnižem (desnom) kraju bubnja. Sa tom energijom razdvojićemo frakciju I od frakcije III iz VD dijagrama hidraulične klasifikacije.

Na levoj strani spirale (jalovinska) izdvojiće se frakcija I koju čine čestice isključivo veće specifične težine (jalovina) prečnika d3 do d2 i brzine taloženja od V2 do V2'.

Na desnoj strani spirale (ugljena) energija vode izneće frakciju III gde se nalaze čestice isključivo manje specifične težine prečniks od d1 do d4 i brzinnje taloženja od V1' do V1.

2. Dodatnu energiju vode koja se uvodi na mestu ulaska sirovine u vodeno ogledalo u bubnju. Zadatak te vode je da sa podešavajućim pritiskom i količinom razdvojimo mešovitu frakciju II iz VD dijagrama. U toj frakciji nalazi se deo čestica veće gustine (jalovina) dimenzija d1 do d3 i deo čestica manje gustine (ugalj) dimenzija d2 do d4 a koje imaju zajedničku brzinu taloženja od

V1 do V2'. Dodatna voda se može kontrolisati.

3. Podešavajući obrtnu brzinu i prečnik bubnja kojom se uz visinu spirale (h) i odgovarajući kvalitet razdvajanja može postići zahtevani kapacitet pranja.
4. Viskozitet suspenzije u kojoj se vrši razdvajanje stalno se povećava. Pošto se radi u zatvorenom sistemu cirkulacije vodene suspenzije poboljšava se kvalitet razdvajanja.

Na osnovu ovih kriterijuma konstruisan je poseban uređaj za pranje.

Centrifugalni separator je ustvari blago nagnuta okrugla cev osnovnog prečnika D koji se na krajevima cevi završava konusno na prečnik d. Sa unutrašnje strane cevi ugrađene su dve spirale pod uglom od 45° u odnosu na zid cevi.

Leva spirala okrenuta je na gore i ona nakon taloženja iznosi jalovinu koja ima veću specifičnu težinu od uglja. Desna spirala okrenuta je na dole i ona van bubnja iznosi ugalj kojeg će u taj deo spirale doneti energija osnovne i dodatne vode. Kroz separator struje dve vrste vode. Osnovna koja se ubacuje sa gornje strane i ona obzirom da je postrojenje pod nagibom stalno cirkuliše kroz separator. Ona na svom putu kroz uređaj iznosi sve čestice uglja i taloži ih u donjem delu separatora gde ih ugljena spirala iznosi van uređaja. Dodatna voda odnosno njena energija koristi se za razbijanje ulazne sirovine na mestu istovara vibro dozatora i razdvajanje mešovite frakcije. Zbog toga se dodatna voda odnosno njena energija može kontrolisano usmeravati u željenom pravcu. Energiju ove vrste vode moguće je kontrolisati u zavisnosti od kapaciteta i prečnika čvrstih čestica uglja i prateće jalovine, odnosno u razlici njihovih specifičnih težina.

Ulazna sirovina, odnosno izdrobljeni rovni ugalj se u bubanj ubacuje preko vibrododavača sa raspodelnom pločom na kraju. Zadatak vibrododavača i ploče je kontinuiran i ravnomeran raspored rovnog uglja u vodenom ogledalu bubnja. Zbog toga je kapacitet vibrododavača podešavajući a oblik ploče na kraju izmenljiv.

Ovo su pored navedenih vrlo važna dva faktora koja direktno utiču na kapacitet i kvalitet razdvajanja. Sa dolaskom u vodenu sredinu u bubnju ulazna sirovina kreće sa razdvajanjem mineralnog od organskog dela koristeći njihovu razliku u specifičnim težinama i kontrolisanom dotoku vode koja se konstantno ubacuje u bubanj. Zahvaljujući nagibu obrtnog bubnja voda stalno cirkuliše u jednom smeru i u tom smeru sa sobom iznosi lakši (organski) deo materije u uglju.

energija

Energija osnovne i dodate vode je kontrolisana u zavisnosti od gornje granične krupnoće ulazne sirovine. Krupnije frakcije uglja koja ne može da iznese energija vode istaložiće se na dnu cevi gde se nalazi ugljena spirala koja će ih izneti van bubnja. Ugalj će se od vode odvojiti sistemom sita gde se ugalj deponuje na deponiju ili ide na mlevenje a voda preko taložnika dovodi na jedno mesto i ponovo vraća u sistem. Neorganski (teži) mineralni deo u ulaznoj sirovini će se brže istaložiti na mestu dodira sa vodenim ogledalom zbog veće specifične težine od organskog dela. Na tom delu ga prihvata jalovinska spirala koja ga izbacuje van bubnja a odatle sistemom traka na odlagalište.

Da bi se postigli maksimalan kapacitet i kvalitet razdvajanja vrlo je važno pravilno usaglasiti mesto istovara vibrododavača i ravnomeran raspored ulazne sirovine sa energijom vode i veličinom čestica koje se razdvajaju.

Još jedan parametar koji se podešava je brzina obrtanja bubnja koja se postiže preko motora reduktora i zupčanika po obimu bubnja. Brzina obrtanja bubnja i visina spirala u direktnoj su proporciji kapaciteta separatora.

Primenom ovakve tehnologije pranja, odnosno demineralizacije uglja dobijaju se sledeći efekti:

- ne remeti se postojeća tehnologija rada rudarskih i termoenergetskih postrojenja.

- najveći deo jalovine u uglju (85–90 %) se odstranjuje pre mlevenja i
- povećava se kalorična vrednost uglja za 35 – 40 % a time i efekti u termopostrojenjima
- omogućava se korišćenje niskokaloričnih ugljeva i njihova potpuna valorizacija preko vodougljenih emulzija uz smanjenje šljake i pepela za 25–30 %
- smanjuju se troškovi transporta i ukupni troškovi u termorudarskom sektoru

4.2. Tehnologija pripreme stabilne vodougljene emulzije u ultrazvučnim uređajima

Sušтина tradicionalne pripreme vodougljene emulzije (VUE) sastoji se u tanko disperzionom mlevenju uglja, njegovom mešanju sa vodom i po potrebi dodavanju različitih hemijskih dodataka radi povećanja fluidnosti i stabilnosti dobijene emulzije. Zbog čega se kao tečna faza mogu koristiti sve vrste industrijskih otpadnih voda i ulja organskog porekla. Odnos uglja i tečnosti u VUE keće se od 50 % : 50 % do 75 % : 25 %.

Mlevenje uglja može se vršiti u svim vrstama mlinova u kojima je moguće dobiti frakciju od 0-800 μ U toj frakciji potrebno je imati najmanje 50 % frakcije od 0-300 μ . Tako samlevena frakcija sa potrebnom količinom vode upućuje se u ultrazvučni uređaj u kom se završava proces fizičko-hemijskih transformacija dugačkih ugljenih

molekula u lakša jedinjenja na bazi reakcija strukture uglja i vode. Ovako pripremljeno gorivo nema potrebe za bilo kakvim dodacima jer ne dolazi do njegovog raslojavanja u periodu od 6 meseci, lako se transportuje kroz cevovod do mesta sagorevanja, tu se intenzivno raspršava i u potpunosti sagoreva.

Na slici 4 prikazan je ciklus proizvodnje uglja, VUE, toplotne i električne neregije.

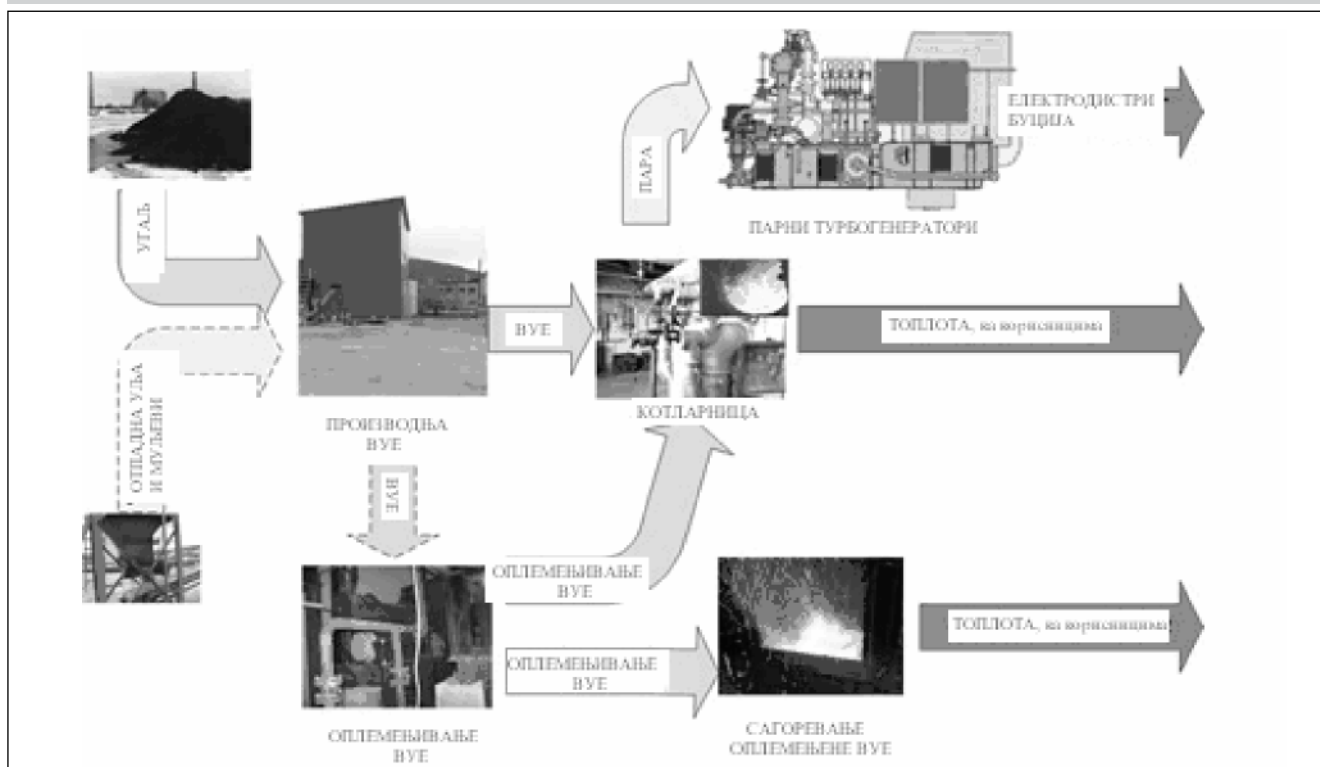
Slika 4 Ciklus proizvodnje uglja, VUE, toplotne i električne energije.

Na osnovu podataka i svetskih iskustava prelaz sa klasičnog sagorevanja uglja na vodougljenu emulziju u termoenergetskim i komunalnim postrojenjima pri sagorevanju mazuta i uglja znatno se poboljšavaju ekološki i ekonomski efekti.

Za primenu ove tehnologije u postrojenjima EPS-a nije potrebno menjati postojeću tehnologiju rada u odnosu na sadašnji način kopanja, pripreme i sagorevanje uglja. Eventualne izmene se sastoje u sledećem:

1. Posle drobljenja ugalj se podvrgava pranju u centrifugalnom separatoru. Kapacitet jednog separatora mora biti prilagođen kapacitetu jednog mlina na drobilani.
2. Posle finog mlevenja uglja isti se umesto u ložište ventilatorskim mlinovima usmerava u ultrazvučne uređaje gde se „sedinjuje“ sa vodom

Slika 3 Geopolitički rizik snabdevanja energijom za 2008. godinu



i dobija vodougljena emulzija. Ta emulzija se pumpama transportuje do ložišta i kao svako tečno gorivo sagoreva. Tako pripremljena vodougljena emulzija može u potpunosti zameniti tečne energente kako pri sagorevanju postrojenja, tako i pri proizvodnji električne energije.

Kapacitet ultrazvučnog uređaja moguće je prilagoditi potrebnom kapacitetu postrojenja.

Zbog toga je potrebno uraditi odgovarajuću dokumentaciju prilagođavanja postojećih postrojenja nakon obilaska sličnog kapaciteta koji je u radu.

5.0. Zaključak

Na osnovu iznetog moguće je zaključiti sledeće:

1. Vodougljene emulzije (VUE) su potpuno novo ekološki i ekonomski potpuno prihvatljivo energetske gorivo koje pri sagorevanju u potpunosti može zameniti mazut ili klasično sagorevanje uglja u termoenergetskim postrojenjima.
2. Kvalitet vodougljenih emulzija moguće je postići i pri otkopavanju niskokaloričnih ugljeva kojih će u Srbiji u narednom periodu biti na svim kopovima uglja. Predložena tehnologija je zamena za tehnologiju homogenizacije uglja koja se planira uvesti na našim površinskim kopovima. Predložena tehnologija je ekološki, ekonomski i tehnički neuporedivo bolja u odnosu na klasičnu homogenizaciju uglja kojom se ne rešavaju osnovni problemi u procesu pripreme i sagorevanja uglja.
3. Primena predložene tehnologije u sadašnjim uslovima rada termoenergetskih i rudarskih postrojenja u EPS-u moguća je u potpunosti uz minimalna ulaganja u rekonstrukciju pojedinih delova u sistemu. Potpunom primenom predložene tehnologije moguće je u kratkom roku rešiti sve ekološke probleme sagorevanja uglja uz minimalna ulaganja čimebi EPS u potpunosti ispunio sve kriterijume koji se međunarodnim sporazumima zahtevaju.
4. Primena ultrazvučne tehnologije u industriji je nova stvar i još je u razvoju ali svetska naučna iskustva se uveliko primenjuju u svim industrijama pa i u energetici. Zbog toga smatramo da bi i EPS mogao da ovoj tehnologiji posveti posebnu pažnju i u skorije vreme je primeni u svojim postrojenjima.

Bogdan Radošević, Milan Radunović, Branimir Popović

Univerzitet SINGIDUNUM, Fakultet Futura

Branislav Radošević

„Advanced Systems“, Beograd

UDC: 622.33 : 504.12

UGALJ - Neizbežni, važan energent budućnosti i njegova koegzistencija sa životnom sredinom

Rezime

Ugalj, prirodni fosilni energent, je kao takav poznat čovečanstvu više od jednog milenijuma. Njegov pun procvat počinje sa Industrijskom Revolucijom da bi se od tada njegova upotreba neprekidno povećavala. Na taj način je postao ne samo neizbežan, već za mnoge zemlje, nezamenljiv izvor energije. U novije vreme, napretkom nauke i tehnologije, javljaju se mogućnosti dobijanja energije i iz drugih izvora. Iako su ove tehnologije znatno čistije i manje devastirajuće po životnu sredinu značaj uglja se ni najmanje nije promenio. Naprotiv, sva su predviđanja da će njegovo prisustvo kao energenta biti u nesmanjenom porastu ali uz određene korekcije u tehnologijama kako bi mogao „prijateljski“ da koegzistira sa životnom sredinom. U Srbiji, koja poseduje značajne rezerve ove prirodne sirovine, takodje se očekuje porast upotrebe uglja kao energenta, liberalizacijom istraživanja mineralnih sirovina i privatizacijom postojećih rudnika. U tom kontekstu Srbiji predstoji takođe put ka „prijateljskoj“ koegzistenciji uglja i životne sredine jer se u bliskoj budućnosti očekuje i povećanje energetske objekata koji koriste ovu sirovinu.

Abstract

Coal, natural fossil energy source, is known as such for more than a millenium. Its full prosperity starts with the Industrial Revolution, to be in constant use increase from then to recent. In that way it became not only inevitable but for most countries irreplaceable source of energy. Recently, with the advance of science and technology, we have possibility of obtaining energy from various other sources. Although these technologies are far cleaner and less devastating to the environment the significance of coal is more or less unchanged. On the contrary, the predictions are that its source as energy will be in undiminished increase but with certain corrections in technologies so that it could coexist in a „friendly“ manner with the environment. In Serbia, which possesses significant quantities of this natural resource, increase of coal use for energy generation is also expected after liberalization of mineral exploration and privatization of existing coal mines. In that sense there is a road ahead for Serbia to also find a way for „friendly“ coexistence of coal and the environment as in near future number of power plants that use this energy source is also expected to increase in near future.

1. Uvod

Ugalj je organski sediment koji nastaje putifikacijom/raspadanjem organskih ostataka biljnog porekla flore, odnosno rastinja u stajaćoj vodi močvara. Za bujnu vegetaciju uz veoma intenzivne padavine i gomilanje ostataka šuma i drugog rastinja stvaraju se preduslovi za truljenje u močvarnoj sredini uz određene temperature i sadržaj

određenih gasova i uz relativno slab priliv prašinih i glinovitih i peskovitih sedimenata. Ugljeni sedimenti su nadjeni praktično na svim kontinentima i različitim poglavljima (periodama) zemljine istorije.

Početak stvaranja uglja je naravno nagomilavanje treseta koji se kasnijim procesima transformišu u različite tipove uglja različitih energetske vrednosti. U

svetu su uobičajene podele ili kategorisanja uglja prema metričkom sistemu mera i njegova energetska vrednost se izražava u kalorijama ili kilokalorijama (Džul (Cal.) ili Kdžul (Kcal.)) na drugoj strani, prema Anglo-Američkim merim jedinicama ove vrednosti se iskazuju u BTU (British Thermal Units). Na isti način se i klasifikuju različite vrste ugljeva. Metrička podela je sledeća: Antracit, Kameni ugalj, Mrki ugalj, Lignit i Treset, a prema drugoj navedenoj: Antracit, Sub Antracit, Bituminozni, Sub Bituminozni, Lignit ili Mrki Ugalj i Treset. U kategorizaciji uglja treba navesti i da se ovim redom povećava sadržaj ugljenika a smanjuje sadržaj isparljivih komponenti.

Ugalj ima vrlo dugu istoriju upotrebe, verovatno više milenijuma. Postoje određeni arheološki dokazi da se ugalj koristio još u Bronznom dobu (2000-3000 p.n.e.) u ritualima spaljivanja mrtvaca. U Neolitu, u Kini, ugalj se upotrebljavao za pravljenje ukrasnih predmeta. Prema zapisima iz kineske istorije moguće je da se ugalj upotrebljavao u procesu kovanja novca još pre više ili oko hiljadu godina. Takođe se slično govori da je još Aristotel pominjao ugalj. Dalji istorijat upotrebe uglja javlja se i u rimskim zapisima uz dalje korišćenje uglja u proizvodne i verovatno i ogrevne svrhe. Veća upotreba uglja zabeležena je tokom Industrijske Revolucije u 18-tom i 19-tom veku, po tom i sve do današnjih dana sa nesmanjenom upotrebom, već i sa znatnim povećanjem potrošnje.

U Srbiji su na raznim lokalitetima identifikovana ležišta i/ili pojave svih navedenih varijeteta ugljenih tipova. Najpoznatija ležišta i su u okolini Kolubare i Kostolca koja obezbeđuju najveći deo uglja za proizvodnju električne energije. U regionu Južnog Balkana (Albanija, Bosna i Hercegovina, Hrvatska, Makedonija, Crna Gora, Srbija i Slovenija) Srbija je lider po proizvodnji uglja za proizvodnju energije (Tabela 1). U skorijoj budućnosti se očekuje još veća proizvodnja otvaranjem ležišta u okloni

Kovina i u Dragačevskom basenu za potrebe planiranih termoelektrana što će verovatno učvrstiti Srbiju kao lidera u proizvodnji uglja u Južno Balkanskom regionu.

2. Upotreba uglja i zamena za ugalj

Ako bi se pobrojale sve upotrebe uglja stekao bi se utisak da je ova sirovina u širokoj upotrebi u velikom dijapazonu primene. Međutim, u osnovi ugalj ima veliku primenu samo kao ulazna sirovina za termo elektrane i topionice, dok su sve ostale primene manje više zanemarive.

Termoelektrane

Najveći deo proizvedenog uglja širom sveta završi u termoelektranama. U nekim zemljama taj procenat je veoma visok kao na primer SAD gde skoro 90 % potrošenog uglja konzumiraju termoelektrane (National Academy of Sciences, 1995).

Topioničarstvo

Značajnija upotreba uglja je i u topioničarskoj grani industrije. Čak 70 % proizvedenog čelika potiče iz visokih peći zagrevanim putem uglja (WORLD COAL INSTITUTE, 2007b).

Ostalo

U novije vreme, ugalj je još zastupljen i u proizvodnji cementa, farmaceutske proizvodnje, pri izradi i proizvodnji ugljeničkih vlakana, učestvuje u minimalnim količinama kao aditiv i sl., no to su praktično minimalne količine. Nešto veća upotreba je u domaćinstvima za grejanje i kuvanje u slabije razvijenim zemljama koje nemaju dobro razvijenu električnu mrežu i gasifikaciju.

Zamene za ugalj

Kao što je ranije rečeno zamene za ugalj kao potrebnog energenta postoje kao što su nuklearna energija, vodena/rečna energija, energija vetra, sunčeva energija, energija plime i oseke, biomasa i još neki eksperimentalni pokušaji, ali i pored svega upotreba uglja kao energenta zasada nadmašuje sve ostale (National Academy of Sciences, 1995;

Johansson & Goldemberg, 2004; Massachusetts Institute of Technology, 2007; Energy Information Administration, 2008).

3. Odnos rezervi uglja u odnosu na druge energente

U 19-tom veku uz razvoj električne energije i sve veću upotrebu uglja, ugalj se postavlja na prvo mesto na listi korisnih energenata. Tokom 60-tih godina 20-og veka pored sve veće upotrebe nafte i gasa ugalj je zadržao primat među energentima sa 23,5 % učešća u ukupnoj proizvodnji električne energije kao i drugoj upotrebi u industriji, da bi u 2003-oj dostigao učešće u proizvodnji električne energije od 39 %, a u proizvodnji čelika čak 64 % u svetskoj proizvodnji čelika, a ukupna potrošnja uglja (Energy Information Administration, 2008) je dostigla 2008-e ukupno 22,5 kvadriliona BTU dok se 2020 godine očekuje da će dostići 27,5 kvadriliona BTU.

Ovaj navod ukazuje na činjenicu da će ugalj pojedinačno po potrošnji nadmašiti druge energente, kao što su prirodni gas, hidro električnu energiju, nuklearnu energiju dok će tečna goriva imati blagu prednost.

Slična predviđanja o događajima na svetskom tržištu uglja prikazana su i u publikaciji Svetskog instituta za ugalj (WORLD COAL INSTITUTE, 2005a; 2005b) gde se navodi da je sadašnja proizvodnja uglja 4050 Mt. sa očekivanjem veće proizvodnje u budućnosti. Proizvodnja uglja se najbrže povećava u Aziji, dok se u Evropi beleži smanjenje proizvodnje. Može se napomenuti da su pet glavnih proizvođača uglja u svetu sledeći: Republika Kina, Sjedinjene Američke Države, Indija, Australija i Južno Afrička Republika, a zatim veliki broj manjih proizvođača. Važna je činjenica da se glavni deo proizvodnje uglja koristi u zemljama proizvođačima, a da se samo oko 18 procenata pojavljuje na svetskom tržištu.

Deo popularnosti uglja leži i u činjenici se ugalj u svetu nalazi skoro svuda i da su trenutno poznate rezerve velike (998 milijardi tona) koje da mogu da podmire trenutne svetske energetske potrebe u narednih 57 godina (Energy Information Administration, 2008).

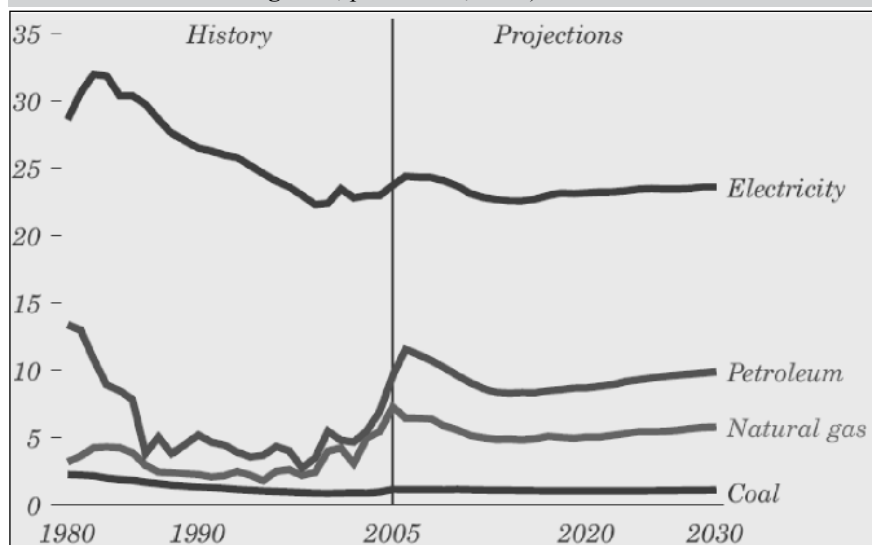
4. Cene uglja, varijacije i stabilnost ponude na svetskom tržištu

Glavni faktor popularnosti uglja i njegove rasprostranjenosti je veoma stabilna i niska cena (slika 1) koja odražava sadašnju i buduću ulogu uglja u korišćenju u svetskim okvirima (Energy Information Administration, 2008). Zbog toga je ugalj već dugo vremena, a

Tabela 1 Proizvodnja uglja u hiljadama tona Južno Balkanskom regionu
(Prema Steblez, 2008)

Zemlja	Vrsta uglja	2002	2003	2004	2005	2006
Albanija	Lignit	20.300	18.000	12.600	13.100	13.00
B i H	Mrki ugalj i lignit	7.799	9.006	8.896	9.000	9.96
Hrvatska	-	-	-	-	-	-
Makedonija	Lignit	8.640	8.360	8.500	6.880	6.65
Crna Gora	Lignit	1.751	1.618	1.514	1.288	1.50
Srbija	Mrki ugalj i lignit	33.488	34.994	35.594	34.993	36.78
Slovenija	Mrki ugalj i lignit	4.787	4.830	4.809	4.439	4.52

Sluka 1 Cene energenata u periodu 1980-2005 godine i njihove predviđene cene do 2030 godine (US\$/milion BTU, svedeno na realnu vrednost dolara u 2005. godini, prema EIA; 2008)



biće i u budućnosti, jedan od praktično nezamenljivih energenata koji ima i veliki broj prednosti.

Pogodnost se sastoji u činjenici da ga imaju u stvarno velikim količinama, kako razvijene zemlje tako i zemlje u razvoju. Ugalj se na bezbedan način može i transportovati i skladištiti. Takođe se može gomilati na mestu rudnika, na lokaciji termo elektrana ili na medju lokacijama. Električnu energiju proizvode veoma organizovane termocentrale, koje su sasvim pouzdane. I na kraju liste ugalj može da se skladišti bez obzira na klimu i vremenske uslove.

Danas se u svetu potroši godišnje cca 4.030 miliona tona uglja godišnje. U poslednjih dvadeset godina potrošnja uglja je porasla za 38 procenata, a predviđa se da će se ta potrošnja oko 2030 povećati na 7 milijardi tona/god. Interesantno je pogledati pregled Energy Information Administration, 2008 (Sl. 1) gde je prikazan dijagram koji može samo osnažiti pristalice upotrebe uglja u budućnosti sa značajnim godišnjim porastom potreba. Prikazani dijagram je više nego instruktivan i pokazuje kolike su razlike u cenama drugih energenata u periodu 1980-2006 sa projekcijom potrošnje do 2030. Dok su cene nafte i gasa (verovatno i zbog slabije isporuke intenzivno uticale na cenu električne energije, cena uglja je prikazana praktično horizontalnom linijom. Cenu uglja na mestu isporuke i/ili skladištenja nije moguće uzeti zbirno, pošto na cenu uticu dugi transporti morem, željeznicom ili drumskim transportom. Uzmimo na primer samo Australiju koja je jedan od najvećih izvoznika uglja u svetu (Department of Industry, Tourism & Resources, 2005). Tada u cenu ulazi

prekomoorski transport, zatim pretovar i na kraju suvozemni transport uz potrebne operacije pre skladištenja ili upotrebe. Uz sve napred navedeno, ugalj je i dalje najjeftiniji i najpouzdaniji energent. Slična je situacija i u Srbiji tako da ugalj ima sličnu važnost kao i u svetu.

Ako govorimo o proizvodnji i korišćenju uglja u Srbiji možemo reći da su lokacije gde su nadjene naslage uglja brojne i da se radi o ugljevima različitog kvaliteta odnosno od antracita do treseta. Ova nalazišta su istraživana još od pre drugog svetskog rata, a istražuju se i danas. Zabeležen je i registrovan čitav niz lokacija koje su toku celog ovog perioda, kao i u sadašnje vreme okarakterisane prema intenzitetu istraživanja u one koje se smatraju pojavama do onih koje se mogu smatrati resursnim (po JORC-u) i na kojima se aktivno radi na daljem istraživanju ili su radovi za sada u mirovanju dok se ne steknu uslovi za dalja istraživanja ili pak za otvaranje novih eksploatacionih objekata odnosno rudnika.

Sadašnje poznavanje situacije u faktografskom pogledu može samo da se uobliči u jedan verovatni zaključak, da će snabdevanje ugljem potrošača u Srbiji u dovoljnim količinama biti obezbeđeno duži niz godina. Takođe je verovatno da će kategorije uglja veće kalorične vrednosti prve smamjivati isporuke no sasvim sigurno ne u neposrednoj budućnosti, ali će verovatno napredovati tehnologije kojima će se putem pogodnih tehničko-hemijskih procesa (Natural Resources Canada, 2006) i ugalj nižih kaloričnih vrednosti moći koristiti i u proizvodnji čelika i u topioničarstvu i verovatno još nekim proizvodima koji su već u proizvodnji ili će tek biti u budućnosti.

Ovo što je rečeno u gornjem tekstu, ne može se smatrati kao stoprocentni podatak, no imajući u vidu i način pojavljivanja uglja i razvoj tehnologija različitih namena ipak ukazuje da ugljene kriza u Srbiji ne može da se očekuje u bliskoj budućnosti.

5. Korišćenje uglja i uticaj procesa eksploatacije i korišćenja na životnu sredinu

Ugalj ima specifičan odnos ka životnoj sredini u odnosu na druge energente. Zbog toga je predmet proučavanja toga odnosa intenzivan već decenijama (WORLD COAL INSTITUTE, 2005b; 2006a; 2007a; 2007c) kako bi se pronašlo najoptimalnije rešenje za koegzistenciju uglja i životne sredine.

Ugljeni sedimenti ili naslage, zabeleženi su širom sveta, odnosno na svim kontinentima. Nalazišta uglja ili pojave zauzimaju ogromne prostore, kako na površini (odnosno i veoma plitko ispod površine gde se otvaraju dnevni kopovi) tako i nešto dublje gde se organizuje podzemna eksploatacija. Kolika su to prostranstva navešćemo jedan od mnogih primera. Ovaj primer je vezan za Afrički Kontinent, a radi se o uglju koji se nalazi u okviru unutar Karoo formacije. Ova formacija, u kojoj su zabeležene naslage uglja i desetak m debele, nalazi se u tektonskoj dolini kroz koju protiče reka Zambezi. Pojave uglja su praćene na zapadu nešto nizvodno od Viktorijinih vodopada i registrovani su u Južnoafričkoj republici, Zimbabveu, Svazilandu južno od reke Zambezi, kao i u Zambiji i Mozambiku severno od Zambezija. Teritorija je ogromna a slično je i u Zapadnoj Australiji, Sjedinjenim Američkim Državama, Kini, Ukrajini, Rusiji i Kanadi. Metode otkopavanja dnevnim kopom ili podzemno proizvode, kao i ona manja ležišta n.pr. u Srbiji i drugim zemljama praktično iste posledice (uz izvesne varijacije) za prirodnu sredinu ili postojeći eko sistem pa ćemo se zato osvrnuti na sve vrste degradiranja ekosistema bez obzira na kojima se lokacijama dešavaju.

Ugalj, njegova proizvodnja i upotreba nesumnjivo daju ogroman doprinos ekonomskom i društvenom razvoju zajednice kako u lokalnom, tako i regionalnom i državnom razvoju. Međutim, pored pozitivnih efekata postoje i posledični efekti koji nesumnjivo narušavaju ekološku ravnotežu. Identifikacija je jednostavna:

- dnevni kopovi zahtevaju znatne površine koje će sigurno tokom korišćenja degradirati ove površine,
- moguća erozija, prašina, zagađenje

energija

- vode, pepeo i buka,
- negativan uticaj na floru i faunu,
- širenje zaraznih bolesti prvenstveno u slabije razvijenim područjima ili bolje rečeno - kontinentima.

Prema napred navedenom, sigurno je da se moraju preduzimati mere da se ublaži uticaj rudarske aktivnosti, u svim fazama operacija, od pripremnih radova, do iskopavanja, korišćenja odlagališta, pred radova za smanjenje sadržaja pirita, usitnjavanja, skladištenja i transporta (Ferrante & Thor, 1980). Na prvo mesto moprmo istaći neophodnu brigu i pažnju vlasnika rudnika, zatim kupaca, transportera, skladištara i kupaca, koji moraju voditi računa o daljem tretiranju uglja i upotrebi u industriji.

Naveli smo u prethodnom tekstu koji su sve agensi koji utiču na degradaciju stanja eko sistema a u svetu postoje mere koje se preduzimaju da bi se sprečila ili bar ublažila degradacija eko sistema:

- buka se može smanjiti upotrebom modernije ili najmodernije opreme, upotrebom zvučnih barijera, kao i pažljivom odredjivanju radnog vremena u smenama,
- u pogledu korišćenja i pomeranja površinskih sedimenata, potrebno je preduzimanje mera koje moguće nadprosečno koštaju tu se sanacija sastoji u prskanju vodom transportnih puteva, rekultivaciji površine putem pošibljanja ili zatravljanja ili čak i manjih zemljanih radova,
- u pogledu flore i faune putem monitoringa uz detaljno praćenje promena prouzrokovanih rudarskim i pratećim radovima moguće je na vreme izvršiti izmeštanje staništa, kako flore, tako i faune tamo gde neće biti locirani novi radovi,
- što se tiče zagađenja kako površinske tako i podzemne vode, dreniranjem u površinske ili podzemne vode sa sadržajem metala u česticama ili u rastvoru u ovom slučaju je poznat proces kojima se mogu odstraniti štetne materije,
- nije posebno navedeno, ali je poznato da u zemljama sa visokom temperaturom dolazi do samozapaljivanja uglja uskladištenog na otvorenom prostoru no u većini slučajeva se ostavlja da se tinjanje zaustavi samo od sebe

Na kraju je neophodno naglasiti da u svim zemljama gde postoji proizvodnja i upotreba uglja postoje zakoni, propisi i uputstva kojima se zahteva da se radi prema legislativi. Nažalost evidentno je da se u razvijnim zemljama zakoni poštuju, dok se u nerazvijenim uglavnom ne poštuju. Obzirom na

troškove koji prate poštovanje zakona malo je zemalja u svetu koje se striktno pridržavaju zakona a to su na prvom mestu Australija i Kanada. U Australiji se kao primer obrazuju nasadi eukaliptusa kako bi se stanište koala izmestilo bez bilo kakvih problema. Sa druge strane u zemljama Afrike i pored ne mnogo intenzivne zdravstvene edukacije zakoni iz ove oblasti se uglavnom ne poštuju. Ni u Srbiji stanje nije ništa bolje i zakoni se uglavnom ne poštuju.

6. Nepoželjne i štetne materije (zagađivači) u uglju

U ranijem tekstu smo pomenuli negativan uticaj prilikom proizvodnje uglja na ekosistem. Medjutim, postoje i drugi negativni faktori koji se mnogo naglašenije javljaju na površini zemlje, kao i atmosferi. Ovde se radi o prisustvu metana, azotnog oksida, sumpornog oksida, ugljen dioksida i ponekih elemenata koji se ne javljaju u većim količinama i ne u svim regionalnim otkopavanjima uglja. Samo po sebi je dovoljno jasno da su štetne emanacije veliki problem za planetu Zemlju kao i za atmosferu. Ipak ćemo ponoviti još jednom zašto ipak ne možemo da se odrekemo uglja kao važnog, praktično i neizbežnog energenta koji će se sasvim sigurno naći i dalje u upotrebi pri daljem razvoju zemlje:

- uglj učestvuje sa preko 40 % u proizvodnje električne energije u svetu,
- pomoću uglja se proizvodi 70% čelika u svetu,
- koristi se u industriji cementa, još nekim industrijama, domaćinstvima i kao tečno gorivo,
- upotreba uglja se povećava svake godine za preko 6,0 %.

Sasvim je jasno da štetne emanacije zagađuju životnu sredinu a i atmosferu. Najveću zabrinutost izaziva globalno otopljenje i efekat staklene bašte. U skladu sa tim degradiranjem ne samo na zemlji nego i u atmosferi, većina proizvođača uglja, proizvođača opreme pri korišćenju uglja, a i naučni i tehnički instituti, preduzeli su opsežne korake da što više redukuju štetne emanacije, pogotovu CO₂ (Stangeland, 2007, WORLD COAL INSTITUTE/ IEA GREENHOUSE GAS R&D PROGRAMME, 2007, WORLD COAL INSTITUTE, 2007a; 2007c; 2008, European Technology Platform for Zero Emission Fossil Fuel Power Plants (ZEP), 2008, Romeo, et al., 2008) sa pozitivnim rezultatima:

- redukcija emanacije oksida sumpora i azota se sada svela na količinu blisku 0%,
- u toku su razne vrste prečišćavanja

- uglja koji se koristi u termoelektrana- ma bilo putem usitnjavanja, ili putem filtriranja pri sagorevanju uz upotrebu elektrostatičkih filtera, kako i onih od drugih materijala,
- uvodi se u upotrebu likvescirani ili tečni uglj,
- u pogledu metana, koji zbog mogućnosti izazivanja eksplozije, mora da se ventilacijom izbacuje iz podzemlja ali može i da se hvata,
- naravno najveći izazov za korišćenje uglja je emanacija CO₂.

Iako ovde prvenstveno želimo da govorimo o međunarodnim i pojedinačnim naporima da se što efikasnije sprovede smanjenje emanacije CO₂ ipak ćemo pomenuti još jednom i one emanacije koje nemaju tako veliki štetan uticaj a koje su poimenično navedene u Kjoto protokolu (United Nations, 1998) kao što su metan (CH₄) azot dioksid (N₂O), vodonični fluor ugljenici (HFC), perfluor ugljenici (PFC) i sumpor heksafluorid (SF₆). Navedene materije se javljaju u gasovitim emanacijama i predstavljaju kontaminacije sporednog obima. Sve te okolnosti potstiču celokupnu svetsku zajednicu za iznalaženje zamene za uglj kao energenta. Za sada se javljaju već navedene mogućnosti koje ne mogu po svojoj proizvodnji da zamene uglj. Najdalje se otišlo u ispitivanju mogućnosti upotrebe vodonika u skorjoj budućnosti, ali ne kao potpune zamene. Svetski potrošači nemaju zajedničku strategiju (verovatno zbog glomaznosti bilo kakvog formiranog tela) ali se formiraju razne vrste regionalnih dogovora o potrebnim akcijama (n.pr. Azijsko-Pacifički dogovor, SAD- Kina, Australija na neki način samostalno, EU i druge države) u sklopu saniranja navedenih problema. Do sada, koliko je nama poznato, predložena je upotreba gasificiranog uglja u integrisanom-kombinovanom sistemu, koji je po opštem mišljenju pravi put da se obezbedi emanacija blizu nule, koja u velikom delu radi na ovom i drugim metodama sa rokom oko 2020 godine. Mnogo šire prihvaćena je metoda hvatanja CO₂ u samom ležištu. U literaturi se navode mogućnosti CCT (Clean Coal Technology) i već se pominju i uredjaji kojima bi se takve operacije izvodile a ujedno se proizvođači takvih uredjaja već ireklamiraju.

Uz napredovanje ovakvih ideja-predloga, za koje se može unapred reći da se ne mogu izbeći, već se razmišlja i lokalitetima kao i vrsti i strukturi deponija uhvaćenog gasa CO₂. Kao pogodni se ubrajaju:

- napuštene i iscrpljene naftne bušotine,
- napuštene bušotine iz kojih je eksplo- atisan gas,

energija

- potporni stubovi u rudnicima uglja ostavljneme i sastavljenim od uglja prema rudarskim propisima,
- tene ispod nivoa mora, zaslanjene i poželjno sa mogućem smeštanju gasa.

Verovatno će se u daljem traganju naći još takvih ili sličnih objekata primalaca pa ćemo u budućnosti i njih navoditi kao primere. Sve ove vrste objekata namenjenih skladištenju gasa, prema oblozima zidovima ili strukturom obećavaju vrlo dugo skladištenje bez opasnosti od iscurivanja.

7. Svetski dogovori o saniranju postojećeg stanja (Kyoto protokol 1998, i Konferencija o Održivom Razvoju, Johanenburg, 2002) i određene kontroverze prema rešavanju ovih problema.

Na kraju storije o važnosti uglja za svetsku ekonomiju i pratećih uticaja na promene i negativne efekte upotrebe uglja moramo pomenuti i na neki način nevezane ali ipak na neki način združena svetska razmatranja budućnosti planete na dva odvojena, ali ipak povezana svetska skupa: konferencije u Kjotu i u Johanenburg. Na izgled teme nisu bliske prema naslovima ovih visoko senzusnih sastanaka, jer su glavne rasprave vodjene prema tematici i ciljevima navedenih u samim naslovima, ali pri detaljnijem razmatranju osnovnih odrednica tih sastanaka ipak je jasno da su veze između njih veoma jake ali na neki način i neusaglašene. Naime, u osnovi oba sastanka se nalazi tretiranje upotrebe uglja u svetskoj privredi bez posebnog naglaska u naslovu. Ovde nudimo i objašnjenje zašto ih povezujemo koje u najkraćim crtama glasi: kao ranije održanu opisaćemo konferenciju u Kjotu. Na konferenciji je usaglašen stav, da su promene u atmosferi zabrinjavajuće i da je veoma važno da se usaglase stavovi prisutnih naravno konsenzusom. Da je potrebno preduzeti određene mere koje će se u budućnosti poštovati. Protokol sadrži 28 članova u kojima se navode mere opažanja, praćenja, informisanja i drugih relevantnih podataka, uz navodjenje i/ili identifikovanje nepoželjnih i štetnih emanacija. Ovaj protokol je potpisalo 39 predstavnika prisutnih zemalja koje su se obavezale da preduzimaju usaglašene mere i rokove. Ovde je važno pomenuti da među zemljama potpisnicama nema Republike Kine i Indije pošto su stanovništvo, grubo interpretirano, siromašni ne treba da zajedno učestvuju u preduzimanju mera za sanaciju stanja i zemlje u razvoju, bez značajnih industrijskih kapaciteta sa onima razvijanima koji su i doveli

do kritičnog zagađenja atmosfere i refleksije na površini zemlje. Treba napomenuti da među zemljama potpisnicama nema Srbije (u ono vreme SRJ).

Sve usvojene odrednice su na neki način restriktivne, a samim tim i uslovljavanjem ili skupih tehnologija hvatanja CO₂ ili alternativnijim pogodnijim tehnologijama od kojih neke ne mogu zadovoljiti potražnju, ili nuklearnom energijom koja je ipak skuplja u odnosu na sve druge i koju većina zemalja sveta ne mogu sebi priuštiti.

U pogledu konferencije u Johanenburgu (2002) koja tretira održivi razvoj, što je neobično važno za nerazvijene zemlje, gde stanovnici žive u uslovima krajnjeg siromaštva, gladi, neškolanosti, bolesti, nehigijene i veoma, veoma daleko od dostignuća savremene tehnologije (kućnih aparata i sl.). Ove zemlje su daleko od mogućnosti da učestvuju u merama protiv emanacija koje stvaraju efekte staklene bašte, i drugih nepoželjnih emisija. Za ove zemlje je za sada kao prelazno rešenje upotreba uglja kao najjeftinijeg energenta pitanje biti ili ne biti.

Na ovoj konferenciji je zaključeno da je održivi razvoj osnova svega i da se taj razvoj ni od koga unutrašnjeg karaktera ili spoljnih faktora ne sme ni usporavati i/ili zaustavljati. U ovo naravno spada i pitanje upotrebe uglja. Ono što na kraju možemo reći, odnosi se prvenstveno na svetski ekološki trend očuvanja prirode, retke faune i flore zapostavljajući pitanja egzistencije siromašnih stanovnika planete

8. Zaključak

Kao zaključak može se reći da je uglj neizbežni energent budućnosti i da će se njegova upotreba i primena konstantno povećavati u budućnosti. Njegova koegzistencija sa životnom sredinom će biti rastrzana između želje bogatih i mogućnosti siromašnih. Međutim, novim tehnologijama i dokazanim principima iz prakse u proseku će se u budućnosti i „prijateljsko“ koegzistiranje sa životnom sredinom takođe povećavati. Što se tiče Srbije, treba takođe očekivati sličan trend proizvodnje i potrošnje, kao i u svetu, uz konstantno blago poboljšanje efekata potrošnje uglja.

9. Literatura

- Department of Industry, Tourism & Resources, (2005): AUSTRALIA'S EXPORT COAL INDUSTRY. Resources Development Branch. Australian Government. -Seventh edition 2005.
- Energy Information Administration, (2008): Annual Energy Outlook 2008.
- European Technology Platform for Zero Emission Fossil Fuel Power Plants (ZEP), (2008): The EU Flagship Programme for CO₂ Capture and Storage (CCS). ZEP Recommendations: Implementation and Funding.
- Ferrante, L. M., Thor, E. C., (1980): Predicting Events in the Development of a Coal Surface Mine in the West. United States Department of Agriculture. Forest Service. Pacific Southwest Forest and Range Experiment Station. General Technical Report PSW-41.
- Johansson, T., B., Goldemberg J. (editors), (2004): **World Energy Assessment Overview: 2004 Update**. UNDP, United Nations Development Programme. United Nations Department of Economic and Social Affairs. World Energy Council. Bureau for Development Policy, One United Nations Plaza, New York, NY 10017.
- Natural Resources Canada, (2006): CANADA'S CLEAN COAL TECHNOLOGY ROAD MAP. CANMET ENERGY TECHNOLOGY CENTRE. CLEAN ENERGY TECHNOLOGIES.
- Massachusetts Institute of Technology, (2007): The Future of Coal. OPTIONS FOR A CARBON-CONSTRAINED WORLD. An Interdisciplinary MIT Study.
- National Academy of Sciences, (1995): Coal: Energy for the Future. Committee on the Strategic Assessment of the U.S. Department of Energy's Coal Program. Board on Energy and Environmental Systems. Commission on Engineering and Technical Systems. National Research Council. NATIONAL ACADEMY PRESS, Washington, D.C. 1995. pp 5.
- Romeo, L.M., Abanades, J.C., Escosa, J.M. et al., (2008): Oxyfuel carbonation/calcination cycle for low cost CO₂ capture in existing power plants. Energy Conversion and Management. 49(10): 2809-2814.
- Stangeland A., (2007): A model for the CO₂ capture potential. International Journal of Greenhouse Gas Control. Volume 1, No. 4, October 2007. Elsevier. pp 418-429.

- Steblez, W., G., (2008): 2006 Minerals Yearbook. SOUTHERN BALKANS. U. S. Department of the Interior. U. S. Geological Survey. The Mineral Industries of the Southern Balkans. Albania, Bosnia and Herzegovina, Croatia, Macedonia, Montenegro, Serbia, and Slovenia. September 2008.
- United Nations (1998): KYOTO PROTOCOL TO THE UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE.
- United Nations (2002): JOHANNESBURG SUMMIT 2002. WORLD SUMMIT ON SUSTAINABLE DEVELOPMENT. 26 AUGUST - 4 SEPTEMBER 2002.
- WORLD COAL INSTITUTE, (2005a): THE COAL RESOURCE. A COMPREHENSIVE OVERVIEW OF COAL. Cambridge House, 180 Upper Richmond Road, Putney, London SW15 2SH, United Kingdom.
- WORLD COAL INSTITUTE, (2005b): COAL: SECURE ENERGY. Cambridge House, 180 Upper Richmond Road, Putney, London SW15 2SH, United Kingdom.
- WORLD COAL INSTITUTE, (2006a): COAL: MEETING GLOBAL CHALLENGES. 2nd Floor, 22 The Quadrant, Richmond TW9 1BP, UK. Richmond TW9 1BP, United Kingdom.
- WORLD COAL INSTITUTE, (2006b): COAL: LIQUID FUELS. 2nd Floor, 22 The Quadrant, Richmond TW9 1BP, UK. Richmond TW9 1BP, United Kingdom.
- WORLD COAL INSTITUTE, (2007a): COAL: DELIVERING SUSTAINABLE DEVELOPMENT. 2nd Floor, 22 The Quadrant, Richmond TW9 1BP, UK. Richmond TW9 1BP, United Kingdom.
- WORLD COAL INSTITUTE, (2007b): COAL & STEEL. 2nd Floor, 22 The Quadrant, Richmond TW9 1BP, UK. Richmond TW9 1BP, United Kingdom. pp 3.
- WORLD COAL INSTITUTE, (2007c): COAL MEETING THE CLIMATE CHALLENGE. TECHNOLOGY TO REDUCE GREENHOUSE EMISSIONS. 2nd Floor, 22 The Quadrant, Richmond TW9 1BP, UK. Richmond TW9 1BP, United Kingdom.
- WORLD COAL INSTITUTE, (2008): CCS & THE CLEAN DEVELOPMENT MECHANISM. A SUBMISSION ABOUT CARBON DIOXIDE CAPTURE AND STORAGE IN GEOLOGICAL FORMATIONS AS CLEAN DEVELOPMENT -MECHANISM ACTIVITIES. 2nd Floor, 22 The Quadrant, Richmond TW9 1BP, UK. Richmond TW9 1BP, United Kingdom.
- WORLD COAL INSTITUTE/IEA GREENHOUSE GAS R&D PROGRAMME, (2007): STORING CO₂ UNDERGROUND. Orchard Business Centre, Stoke Orchard, Cheltenham, Glos. GL52 7RZ, United Kingdom.

Neiskorišćeni hidroenergetski potencijal reke Drine

Rezime

Kao što je poznato u vreme raspisivanja tendera za realizaciju projekta HE Buk Bijela (KNU 500 mm), Vlada Republike Crne Gore je, pod pritiskom nevladinih organizacija za zaštitu reke Tare, odlučila da obustavi sve dalje aktivnosti na realizaciji ovog projekta. Tako je najatraktivniji hidropotencijal u regionu ostao neiskorišćen. U cilju iskorišćenja ovog potencijala elektroprivrede Srbije i Republike Srpske su potpisale Protokol o razumevanju, a uskoro će potpisati i ugovor o formiranju zajedničkog preduzeća HE „Gornja Drina“. U Energoprojektu i Institutu „Jaroslav Černi“ urađeno je Idejno rešenje i Prethodna studija opravdanosti korišćenja hidroenergetskog potencijala Gornje Drine i Sutjeske na teritoriji Republike Srpske. Ovim projektom je predložena realizacija HE Buk Bijela sa nižom kotom čiji uspor ne ulazi na teritoriju Crne Gore, HE Foča, HE Paunci i HE Sutjeska, a Prethodnom studijom je potvrđena ekonomska opravdanost ovih hidroelektrana. Predloženi projekti realizacije hidroelektrana na potezu Gornje Drine su najatraktivniji projekti. Na potezu Srednje Drine su izgrađene četiri hidroelektrane (HE Višegrad, HE i RHE Bajina Bašta i HE Zvornik), a za korišćenje preostalog raspoloživog potencijala postojeća investiciono-tehnička dokumentacija je neaktuelna. Potez Donje Drine je neiskorišćen, a s obzirom da je dokumentacija urađena pre 20 godina treba je aktuelizovati. Korišćenjem hidroenergetskog potencijala obezbeđuje se čista električna energija iz obnovljivih izvora, bez emisije štetnih gasova, kao i drugi brojni direktni i indirektni pozitivni efekti.

Ključne reči: hidroenergetski potencijal, hidroelektrana, proticaj, zapremina akumulacije, Kjoto protokol, gasovi sa efektom staklene bašte, ekonomska opravdanost.

Abstract

At the time when the tender for the implementation of HPP Buk Bijela project (with the normal water level of 500 masl) was launched, the Government of the Republic of Montenegro was forced to suspended all further activities on the implementation of this project under pressure of non-governmental organizations for the protection of the Tara river. As a result, the most attractive hydropower potential in the region remained unexploited. For the purpose of exploiting this potential, the Electric Power Industries of the Republic of Serbia and Republic of Srpska signed a Protocol of Understanding and in the near future they will also sign a contract for forming a joint enterprise called HPP “Gornja Drina”. Energoprojekt and “Jaroslav Černi” Institute prepared a preliminary design and pre-feasibility study of exploitation of the Upper Drina and Sutjeska hydropower potential in the territory of the Republic of Srpska. In this Preliminary Design, construction of HPP Buk Bijela, with a lower water level that will not submerge land in the Republic of Montenegro, HPP Foca, HPP Paunci and HPP Sutjeska was proposed and the Pre-Feasibility Study confirmed the economic feasibility of these hydropower plants. The proposed projects of hydropower plants in the Upper Drina course are the most attractive projects. Four hydropower plants (HPP Visegrad, HPP and RHPP Bajina Basta and HPP Zvornik) have already been constructed on the Middle Drina course but the existing investment-technical documents related to the exploitation of the remaining hydropower potential is obsolete. The Lower Drina stretch has remained unexploited and having in mind that the related documents were prepared 20 years ago they need to be updated. Exploitation of hydropower potential provides clean electric power from renewable sources without emission of harmful gases and produces many other positive direct and indirect effects.

Key words: hydropower potential, hydro power plant, discharge, storage capacity, Kjoto protocol, Greenhouse gasses, economic justifiability.

Uvod

Reka Drina sa pritokama drenira oko 20 000 km² i donosi Savi prosečno 400 m³/s vode. Ova količina predstavlja četvrtinu vode sa petine sliva reke Save. Drina nastaje od njenih sastavnica Pive i Tare

kod Šćepan polja na koti 432 mnm, a u Savu se uliva kod Rače na koti 75 mnm, posle 346 km toka. Prosečan proticaj kod Šćepan polja je oko 150 m³/s, što znači da sa neposrednog sliva otekne prosečno 250 m³/s, ili skoro 8 milijardi m³ vode godišnje. Ovako visoka

vrednost proticaja u njenom gornjem toku je vrlo retka i predstavlja značajnu vodoprivrednu i energetsku prednost. Specifični oticaj sa sliva Drine je 22 L/s km⁻¹, ili 2,2 puta je veći u poređenju sa Dunavom.

Tabela 1 Osnovni tehnički pokazatelji HE na Drini

HE	Бук Бијела	Фоча	Паунци	Устиколина	Садба	Горажде	Вишеград	Б. Баша	В. Тегаре	М. Дубравица	Зворник	Козлук	Дрина 1	Дрина 2	Дрина 3
Fsliva (km ²)	4 033	4 533	5 530	5 720	5 831	5 871	13 934	14 797	16 006	16 530	17 866	18 373			
Q ср (m ³ /s)	169,4	186,3	207,8	214,0	214,0	214,0	342,0	349,0	372,1	380,1	388,0	388,0	388,0	388,0	388,0
Vgod (hm ³)	5 550	6 099	6 736	6 736	6 736	6 736	10 875	11 006	11 734	11 987	12 236	12 236	12 236	12 236	12 236
Vkor (hm ³)	12,8	2,7	2,9	6,6	4,0	0,9	101,0	218,0	240,0	60,0	23,0				
Qinst (m ³ /s)	450,0	450,0	450,0	450,0	450,0	450,0	800,0	600,0	1 000,0	800,0	600,0	800,0	800,0	800,0	800,0
Ninst (MW)	114,6	51,7	36,6	43,2	43,2	20,7	311,0	320,0	388,0	105,0	96,0	93,4	93,4	93,4	93,4
Esr (GWh/god)	369,4	183,6	154,1	147,4	140,4	73,1	1 108,0	1 621,4	1 207,0	431,0	527,0	396,5	396,5	396,5	396,5
ниво обраде техничке документације	идејно решење, 2008.														
	актуализ. идејних решења, 1990.														
	у експлоатацији														
	студија за међ.банку, 1987.														
	ОП ХЕ>10MW, 1986.														
	у експл. студија, 1991.														

Klimatske karakteristike i uslovi oticaja u slivu Drine uslovljavaju veoma neravnomeran vodni režim. Najveći opaženi protok kod Zvornika je 9.000 m³/s, a najmanji 42 m³/s. Ova neravnomernost može se delimično ublažiti samo izgradnjom akumulacija, za čiju izgradnju ima sve manje mogućnosti.

Raspoloživi hidroenergetski potencijal Drine

Vodnost i relativno veliki padovi duž rečnog toka Drine predstavljaju značajan hidroenergetski potencijal. Zbog toga je Drina sa pritokama bila predmet mnogih studija, a izgrađena su značajna hidropostrojenja na njenom glavnom toku (HE Zvornik, HE i RHE Bajina Bašta, HE Višegrad) i pritokama (HE Piva, HE Uvac, HE Kokin Brod, HE Bistrica, HE Potpeć, brane Otilovići i Radojnja).

Poslednja sveobuhvatna analiza hidroenergetskog potencijala Drine i njenih pritoka urađena je 1976. godine u elaboratu „Dopunska investiciono-tehnička dokumentacija o uređenju sliva Drine, Tare, Pive, Lima i Morače“.

U kasnije rađenoj dokumentaciji, parcijalno i na različitim nivoima obrade, razmatrano je hidroenergetsko rešenje glavnog toka Drine i dato kroz petnaest pribranskih hidroelektrana, od kojih su četiri u eksploataciji. Osnovni tehnički parametri HE u glavnom toku Drine su prikazani u tabeli, a situacija i poduzni profil postojećih i planiranih HE u slivu na grafičkim pregledima.

Preostali tehnički iskoristiv potencijal u postojećoj dokumentaciji i potreba njegovog inoviranja

Ukupan hidropotencijal osnovnog toka Drine, prema

morfološkim karakteristikama moguće je podeliti na Gornju, Srednju i Donju Drinu.

Potez Gornje Drine predstavlja potez od sastava Pive i Tare do uspora HE Višegrad. Najnovija investiciono-tehnička dokumentacija razmatrala je iskorišćenje dela ovog potencijala kroz tri pribranske hidroelektrane u glavnom toku Drine na području Republike Srpske (Buk Bijela, Foča i Paunci). U ovim postrojenjima moguća je proizvodnja od oko 700 GWh energije prosečno godišnje, instalisana snaga 200 MW, a ukupne investicije su oko 370 miliona evra, sa cenama iz avgusta 2008. godine. Ovde bi trebalo skrenuti pažnju na HE Sutjeska na istoimenoj reci, akumulaciono-derivacionu hidroelektranu sa mogućnošću sezonskog izravnjanja voda i pozitivnim uticajem na nizvodnu HE Buk Bijela i ostale HE na Drini. Ovo je potrebno naglasiti zbog veoma skromnih mogućnosti formiranja akumulacija u glavnom toku Drine, a koje su joj dragocene, s obzirom na vrlo neravnomeran režim voda. Nizvodno od HE Paunci su HE Ustikolina, HE Sadba i HE Goražde, za koje se investiciono-tehnička dokumentacija radi u Federaciji BiH.

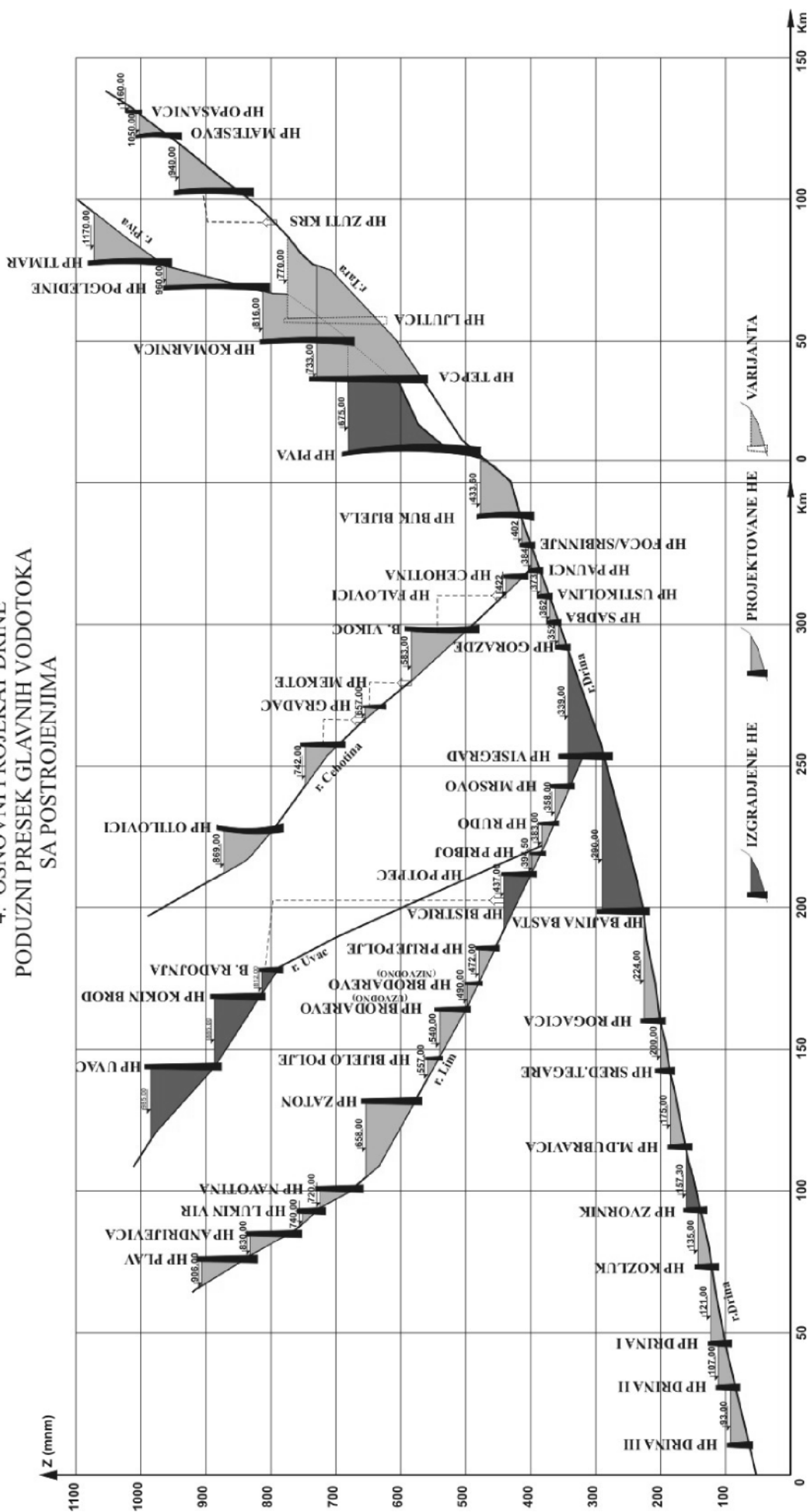
Potez Srednje Drine je područje koje je do sada rešavano kroz pet pribranskih postrojenja: Višegrad, Bajina Bašta, Tegare, Dubravica i Zvornik. Koliko je ovaj potencijal značajan potvrđuje i činjenica da je od pet stepenica tri izgrađeno (HE Višegrad, HE Bajina Bašta, HE Zvornik), kao i RHE Bajina Bašta. Ukupna instalisana snaga izgrađenih HE na Srednjoj Drini iznosi 727 MW i preko 3.250 GWh energije prosečno godišnje. Investiciono-tehnička dokumentacija za iskorišćenje preostalog hidropotencijala na Srednjoj Drini neaktuelna je po više parametara i neophodna je njena aktuelizacija, uzimajući u obzir sve promene koje su se desile u ovom području, naročito sve strožije ekološke zahteve i ograničenja u prostoru. Postojeća rešenja korišćenja hidropotencijala kroz HE Tegare i HE Dubravica apsolutno su neodrživa, jer nije sačuvan prostor za izgradnju ovih akumulacija.

Donja Drina je neiskorišćeni deo vodotoka od HE Zvornik do ušća. Postojećom investiciono-tehničkom dokumentacijom iskorišćenje ovog poteza predviđeno je kroz četiri tipske pribranske stepenice: HE Kozluk i HE Drina 1, 2 i 3. Takođe treba istaći da je od izrade ove dokumentacije prošlo skoro 20 godina, da su se i u ovom delu sliva desile promene, pa bi i ovu dokumentaciju trebalo aktuelizovati,

5. OSNOVNI PROJEKAT SLIVA DRINE SITUACIONI PREGLED POSTROJENJA



4. OSNOVNI PROJEKAT DRINE
 PODUZNI PRESEK GLAVNIH VODOTOKA
 SA POSTROJENJIMA



⇒ energija

na osnovu nje raditi dalje prostorno plansku dokumentaciju i sledeće faze projekata, saglasno rezultatima ekonomsko-finansijskih analiza o atraktivnosti pojedinih rešenja.

Prilikom izrade investiciono-tehničke dokumentacije neophodno je voditi računa o vrednovanju energetskih efekata u uslovima pojedinačne izgradnje (svaka HE kao prva), a zatim vrednovanje energetskih efekata pojedinih sistema hidroelektrana, kao i njihov uticaj na ostale izgrađene i/ili predviđene objekte.

Takođe je veoma važno voditi računa o ostalim korisnicima voda, naročito onim koji su zakonom određeni kao prioritetni (vodospredavanje, navodnjavanje). Za hidroenergetska postrojenja ovi korisnici su granični uslov, kako prostorno (definiše se količina vode koja se uzima iz vodotoka/akumulacije i mesto zahvatanja), tako i vremenski (definiše se vremenski period – dnevno, mesečno, godišnje – kada se voda uzima). Inače, proizvodnja hidroenergije ne narušava kvalitet i kvantitet vodnih resursa, samo se koristi njena potencijalna energija.

Podela potencijala

Potez Gornje Drine se nalazi na teritoriji Bosne i Hercegovine. Na prostoru opštine Foča u Republici Srpskoj su HE Buk Bijela, HE Foča i HE Paunci, a HE Ustikolina, HE Sadba i HE Goražde u Federaciji BiH. U svom srednjem i donjem toku, Drina je granična reka između Bosne i Hercegovine, odnosno Republike Srpske i Srbije. U tom kontekstu je, nakon izrade investiciono-tehničke dokumentacije korišćenja preostalog hidroenergetskog potencijala, potrebno uraditi studije podele hidropotencijala između graničnih republika. U okviru ovih analiza potrebno je uzeti u obzir sva dosadašnja zakonska akta i prethodno utvrđene obaveze i prava, kao i aktuelnu zakonsku i pravnu regulativu. Studije o podeli hidropotencijala na reci Drini bi predstavljale osnov za utvrđivanje prava i obaveza svake strane, korisnika dela prirodnog bogatstva – hidropotencijala na graničnom vodotoku.

Značaj iskorišćenja hidroenergetskog potencijala

Realizacijom projekata iskorišćenja hidroenergetskog potencijala reke Drine obezbedila bi se dodatna proizvodnja čiste električne energije iz obnovljivih izvora, bez emisije štetnih gasova u atmosferu. Izgradnjom hidroenergetskih objekata zadovoljio bi se širi prostor i više korisnika vode, uz realno moguće usklađivanje

prostornih i drugih interesa. Značajan pozitivan efekat izgradnje brana se ogleda u oplemenjavanju malih voda u malovodnom periodu. Ovaj efekat se odnosi na celokupan potez reke Drine i nizvodno, što je značajno sa stanovišta zaštite životne sredine. Istovremeno, predviđene akumulacije omogućavaju ublažavanje poplavnih talasa. Primenom odgovarajućih mera zaštite u periodu izgradnje i eksploatacije hidroelektrana, negativni uticaji ovih objekata na životnu sredinu mogu se svesti na minimum.

Realizacija kapitalnih, infrastrukturnih projekata kao što je izgradnja hidroelektrana, predstavlja viliki razvojni projekat za širi region, jer omogućava pokretanje privredne aktivnosti i povećanje zaposlenosti, rast društvenog proizvoda i nacionalnog dohotka, kao i povećanje prihoda budžeta opština i države.

Stimulativne mere za korišćenje obnovljivih izvora energije

Dobijanje energije iz obnovljivih izvora često je skuplje od energije iz konvencionalnih goriva. Najčešće su povoljne lokacije za korišćenje hidroenergije već iskorišćene, a na raspolaganju su manje isplative i manje atraktivne lokacije. Zato je neophodno da država pomaže realizaciju takvih projekata, ili da postoje dodatni međunarodni mehanizmi koji podstiču korišćenje raspoloživih obnovljivih izvora energije.

U cilju podizanja efektivnosti korišćenja obnovljivih izvora energije na nivou države primenjuju se sledeće stimulativne mere i instrumenti: kvote, fiksne tarife, tenderski ugovori, poreske olakšice i slično. Tako je u Srbiji pripremljen predlog Uredbe o merama podsticaja za povlašćene proizvođače električne energije. Ovom uredbom se propisuju podsticajne otkupne cene za električnu energiju proizvedenu u elektranama posebnih karakteristika (hidroelektrane, elektrane na: biomasu, biogas, komunalni i kanalizacioni gas, vetar, energiju sunčevog zračenja, geotermalnu energiju i elektrane sa kombinovanom proizvodnjom). Tarife po ovoj uredbi su više od postojećeg tarifnog sistema za prodaju električne energije. Status povlašćenog proizvođača se stiče rešenjem Ministarstva nadležnog za poslove energetike, u skladu sa Zakonom o energetici i Uredbom o uslovima za sticanje statusa povlašćenog proizvođača električne energije i kriterijumima za ocenu ispunjenosti tih uslova.

[093]

Na međunarodnom nivou, u cilju stimulanja korišćenja obnovljivih izvora energije, najčešće se primenjuje mehanizam čisto razvoja (Clean Development Mechanism - CDM), koji je ustanovljen Članom 12 Kjoto protokola. Kjoto protokol je najvažniji međunarodni dokument koji reguliše ovu oblast. Primenom Mehanizma čistog razvoja pruža se mogućnost da razvijene zemlje, koje su već iskoristile svoje obnovljive izvore ulažu finansijska sredstva u realizaciju projekata čistog razvoja u nedovoljno razvijenim zemljama. Na taj način u zemljama u razvoju se stvaraju uslovi za održivi razvoj, privlače se strane investicije, prenosi znanje o novim tehnologijama, primenjuje najbolja raspoloživa tehnika i poboljšava konkurentnost sa boljom energetskom efikasnošću. Da bi se jedan projekat realizovao uz primenu CDM modela finansiranja neophodno je da se projekat realizuje dobrovoljno, da realizacija projekta doprinosi dugoročnom ublažavanju klimatskih promena, kao i smanjenju emisije štetnih gasova u odnosu na uobičajeno stanje (tzv. dodatnost).

Republika Srbija i Bosna i Hercegovina su ratifikovale Kjoto protokol tokom 2007. godine. U toku je formiranje nacionalnog tela za realizaciju CDM projekata, definisanje procedura i kriterijuma za registraciju ovih projekata i formiranje baze podataka o emisiji gasova sa efektom staklene bašte. Ostvarenjem navedenih uslova, pruža se mogućnost da se realizacija projekata hidroenergetskog korišćenja reke Drine, kao projekata čistog razvoja finansira iz povoljnih finansijskih aranžmana, tako da se pored ekonomske opravdanosti obezbedi i finansijska izvodljivost realizacije projekata.

Početak 2009. godine u Bonu je osnovana Međunarodna agencija za obnovljivu energiju (IRENA). Osnovni zadatak ove agencije je da savetuje razvijene industrijalizovane zemlje i zemlje u razvoju o tome kako da smanje zavisnost od nafte, uglja i gasa. Pored ovog zadatka, agencija bi trebalo da olakša transfer tehnologija iz oblasti energetske eksploatacije – vode, vetra, sunca, biomase i snage talasa – zemljama u razvoju i obezbedi obrazovanje i obuku u vezi sa korišćenjem obnovljivih izvora energije. Agencija će omogućiti i zajedničke projekte i transfer znanja i tehnologije. Osnivački dokument je potpisalo 55 država, među kojima su Srbija i BiH.

Zaključak

Hidroenergetski potencijal reke Drine je prirodno bogatstvo kojim

treba racionalno gazdovati. Prioritet u realizaciji bi trebalo da imaju najrentabilnije hidroelektrane, koje izazivaju najmanju potrebu za raseljavanjem stanovništva, kao i izmeštanje saobraćajnica i druge infrastrukture. Hidroelektrane na potezu Gornje Drine ispunjavaju navedene kriterijume, utiču na povećanje energetske efikasnosti i smanjenje emisije gasova sa efektom staklene bašte, predstavljaju okosnicu privrednog razvoja šireg regiona i trebalo bi ih u najskorijem vremenu realizovati. Postojeće projekte za hidroenergetsko korišćenje Srednje i Donje Drine trebalo bi inovirati i sagledati njihov značaj i atraktivnost realizacije u sadašnjim uslovima.

Literatura

- [1] „Dopunska investiciono-tehnička dokumentacija o uređenju sliva Drine, Tare, Pive, Lima i Morače“, Energoprojekt Beograd, Elektroprojekt Ljubljana, Energoinvest Sarajevo, 1976. god;
- [2] „Korišćenje hidroenergetskog potencijala Gornje Drine i Sutjeske na teritoriji Republike Srpske, idejno rešenje i prethodna studija opravdanosti – prezentacija“, Energoprojekt – Hidroinženjering i Institut za vodoprivredu Jaroslav Černi, Beograd, 2009. god.

Saša Stojković, Marko Rosić

Tehnički fakultet, Čačak, Srbija

UDC: 621.311.2 : 621.313.5 : 621.316.1 : 004

Analiza priključenja male elektrane sa sinhronim generatorima na distributivnu mrežu softverskim alatom ATP-EMTP

Rezime

Osnovna tehnička analiza koju treba izvesti pri planiranju izgradnje male elektrane je analiza energetske efikasnosti, uticaja na gubitke aktivne i reaktivne snage, naponskog profila, uticaja na udarne struje kratkih spojeva, stabilnost mašina u maloj elektrani i uticaja na postojeću relejnu zaštitu. U pogledu priključenja male elektrane na postojeću elektroenergetsku mrežu, veoma je značajno analizirati uticaj generatora male elektrane na naponski profil mreže jer on posle priključenja treba da ostane u propisima definisanim granicama. Mašine u maloj elektrani povećavaju udarne struje kratkih spojeva, a te struje utiču na naprezanja postojeće opreme. Mala elektrana menja gubitke aktivne i reaktivne snage, sa manjim ili većim uticajem. Zbog lakih rotora mašina u maloj elektrani, stabilnost tih mašina je ugrožena, pa je treba analizirati zbog podešavanja relejne zaštite. Neki od analiziranih procesa (tokovi snaga, naponski profil) su stacionarni, dok su drugi (stabilnost, udarne struje kratkih spojeva) dinamički. Zbog toga je pogodno priključenje mini elektrane analizirati softverom za prelazne procese, kakav je ATP-EMTP (Alternative Transients Program verzija ElectroMagnetic Transients Programa). U ovom radu analizirani su upravo ovi stacionarni i prelazni procesi. Uticaj mini elektrane na postojeću zaštitu nije tema ovog rada.

Osnovni cilj ovog rada je da se procene uticaji koje priključenje mini elektrane ima na energetske efikasnost, naponski profil, udarne struje trofaznog kratkog spoja i stabilnost. Analizirani su, posebno, doprinosi u snazi koje imaju generatori i postojeća mreža, gubici na vodovima i kablovima, kao i potrošnja. Definisan je simulacioni model, koji omogućava i dinamičke analize, pa je upotrebljen za analizu udarnih struja trofaznog kvara i stabilnosti.

Cljučne reči: Distribuirana proizvodnja, Male elektrane, Generator, ATP-EMTP, Stabilnost, Simulacija.

Analysis of the Interconnection of Embedded Generation to the Distribution Grid by BY ATP-EMTP Software Tool

Basic technical analyses are to be done during embedded generation plant planning are energy efficiency, influence on the active and reactive power losses, voltage profile, influence on the peak short-circuit currents, stability of the machines and influence on the existing relay protection.

As far the connection of small power plant is of concerned, it is very important to analyze voltage profile because it must be in defined limits. Machines in small power plant increase peak values of short-circuit currents, which influences equipment stresses. Small power plant changes active and reactive power flows, with smaller or bigger influence. Stability of machines can be jeopardized due to very light rotors. That is main reason for analyzing of stability margins in order to define relay protection settings. Some of these processes are stationary (power flows, voltage profile), the other are of dynamic nature (short –circuit currents, stability). The best way to analyze small power plant interconnection to the grid is to use some of the electromagnetic transients software, in this case ATP-EMTP (Alternative Transients Program). In this paper stationary and dynamic processes are analyzed, but influence on existing relay protection is not an issue. The basic goal in this paper is to assess consequence of embedded generation to the distribution grid (energy efficiency, voltage profile, stability and peak short-circuit currents). The simulation model is defined to enable stationary and dynamic processes analysis.

Key words: Embedded generation, Small power plant, Generator, ATP-EMTP, Stability, Simulation.

1. Uvod

Na današnjem stepenu tehnološkog i tehničkog razvoja društva smatra se da je najbitniji način rešavanja globalnih energetskih i ekoloških problema intenzivno uvođenje distribuirane proizvodnje električne energije, priključene na distributivnu mrežu [1, 2]. Poznato je, međutim, i da je distribuirana proizvodnja električne energije donela i značajne tehničke probleme, kao i probleme vezane za zaštitu i upravljanje. Naime, klasične distributivne mreže su radijalne i sa jasnim tokom energije od prenosne mreže prema potrošačima. Projektovanje, eksploatacija i relejna zaštita takvih mreža potpuno su uhodane i poznate aktivnosti. Uvođenje distribuirane proizvodnje u tu mrežu (na srednjem i niskom naponu) menja u izvesnim slučajevima smer tokova snaga i struje kratkih spojeva u pojedinim elementima mreže, zbog čega pristup projektovanju i eksploataciji ovakve mreže mora biti temeljno analiziran [2, 3].

Generator (sinhroni ili asinhroni) svojim radom utiče na naponske prilike i tokove snaga u srednjenaponskoj ili niskonaponskoj mreži, gde je priključen, pa tome treba posvetiti odgovarajuću pažnju. Generatori u okviru distribuirane proizvodnje utiču i na kvalitet električne energije, pre svega, na naponske propade, prenapone usled sklopnih operacija, flikere i više harmonike. Problematika je nova na svetskom nivou, a analize ovih pojava u distributivnim mrežama u Srbiji izvedene su u manjem obimu. Rezultati rada prvog autora na ovim problemima prikazani su u [4-8]. Poznato je da kvalitet električne energije ima dominantan uticaj na deregulisanu proizvodnju električne energije.

Drugi, veoma važan uticaj, je uticaj distribuiranih generatora na povećanje struje kratkih spojeva u distributivnoj mreži. Taj uticaj važan je, kako za proveru elektrodinamičkih napreznja opreme, tako i za izbor i podešavanje uređaja relejne zaštite. Distribuirani generatori u izvesnoj meri povećavaju udarnu struju kratkog spoja, čime povećavaju dinamičko napreznje postojeće opreme. U slučajevima kada se struja trofaznog kratkog spoja u mreži približava graničnoj vrednosti, potrebno je obratiti pažnju na ovu činjenicu.

Relejna zaštita ovakvih mreža veoma se razlikuje od zaštite radijalne mreže bez izvora, i to iz više razloga. Distributivna mreža više nije radijalna i struje kratkih spojeva u delovima mreže ne moraju

imati samo jedan smer. Podešavanje zaštite mikro ili male elektrane, iako se radi o maloj snazi, nije jednostavno. Osim toga, potrebno je analizirati uslove rada ove zaštite pri različitim kvarovima u mreži, na spojnom vodu, ili u samom generatoru. Smatra se da analiza rada zaštite ne može biti izvedena tradicionalnim načinom, kada se smatralo da je distributivna mreža daleko od izvora i u blagotvornim uslovima bez problema stabilnosti. Analiza distributivnih mreža sa malim elektranama treba da bude izvedena dinamički, sa analizom posledica delovanja relejnih uređaja, kako na mrežu, tako i na generator male elektrane.

Uticaj sklopnih operacija uključenja i isključenja male elektrane na prenapone u mreži praktično je slabo analiziran, ne samo kod nas, već i u svetu. Te pojave imaju veliki uticaj na prenaponsku zaštitu male elektrane i mreže.

Modeli kojim se analiziraju pomenuti uticaji distribuirane proizvodnje na mrežu u svetskim okvirima su novi, nedovoljno poznati, a često teško primenljivi na konfiguraciju naše distributivne mreže. Mnoge od pomenutih pojava nedovoljno su, ili uopšte nisu analizirane, za uslove koji postoje u srpskim distributivnim mrežama. Osim toga, pojave su veoma složene, pa su za njihovu analizu neophodni najsavremeniji programski alati.

Analiza uticaja priključenja distribuirane proizvodnje na distributivnu mrežu u ovom radu izvedena je najsavremenijim softverom za analizu elektromagnetnih i elektromehaničkih prelaznih procesa, pod nazivom Alternative Transients Program (ATP), jedne od verzija programa EMTP (ElectroMagnetic Transients Program) [9]. Naravno, u svetu se koriste i drugi softverski alati, kako za analizu tokova snaga, naponskih prilika i struja kratkih spojeva (najpoznatiji je PSS/E), tako i drugi alati EMTP tipa [1, str. 526-650]. U ovom radu korišćen je softverski alat ATP-EMTP jer se njime mogu analizirati svi pomenuti procesi. On nije pogodan za analizu tokova snaga i naponskih prilika u velikim mrežama, ali se može upotrebiti kod analize priključenja male elektrane na postojeću distributivnu mrežu jer se mreža za takve analize prikazuje krajnje pojednostavljeno – naponskim izvorom i ekvivalentnom impedansom mreže.

2. Simulacioni modeli

U radovima [4-8] analizirani su asinhroni generatori male elektrane.

U nekim radovima radi se o niskonaponskim mikro generatorima (snage manje od 100 kW) [4, 6], a u nekim o visokona-ponskim mašinama [5,7,8]. Međutim, u slučajevima kada se radi o sinhronim mašinama, simulacije se izvode znatno teže zbog toga što je često potrebno izvesti i analizu tokova snaga. U ovom radu analizirane su upravo sinhronne mašine.

Na slici 1 prikazan je simulacioni model male elektrane, koja se sastoji od tri sinhrona generatora snage po $P=2$ MW, predviđene da rade sa faktorom snage $\cos\varphi=1$. Oni su priključeni na sabirnice BUS3, sa kojih polazi sopstvena potrošnja, snage $S_{SP}=30$ kVA, $\cos\varphi=0,85$, priključena preko transformatora snage 150 kVA, relativnog napona kratkog spoja $u_k=6$ %. Sopstvena potrošnja je modelovana paralelnom vezom otpornosti $R=6,2745$ Ω i reaktanse $X=10,12468$ Ω . Prenosni odnos je 0,690/0,400 kV/kV, a sprega je Yyn0. Između čvorova BUS4 i BUS5 je niskonaponski kabl, iza kojeg dolazi transformator za vezu sa mrežom. Transformator je snage $S=8$ MVA, sprege Yd1 i prenosnog odnosa 10/0,69 kV/kV. Na slici 1 primarna strana je BUS6, vezana je u zvezdu, a zvezdište je direktno uzemljeno. Relativni napon kratkog spoja je $u_k=8$ %. Potrošnja se modeluje otpornošću između BUS8 i zemlje, a njena vrednost je $R=16,75$ Ω . Kvar se simulira prekidačem.

Čvor BUS8 predstavlja tačku spoja male elektrane i distributivne mreže, tzv. PCC (engl. Point of common coupling). Mreža je prikazana naponom od 10243,77 V, što iznosi 1,024377 relativnih vrednosti nazivnog napona od 10 kV. Impedansa mreže izračunata je iz snage trofaznog kratkog spoja mreže, koja iznosi 250 MVA. Ta impedansa je redna veza reaktanse $X=0,4$ Ω i otpornosti $R=0,04$ Ω . Pretpostavljeno je da je reaktansa 10 puta veća od otpornosti. Kod analize priključenja male elektrane na mrežu upravo ovi podaci su najznačajniji.

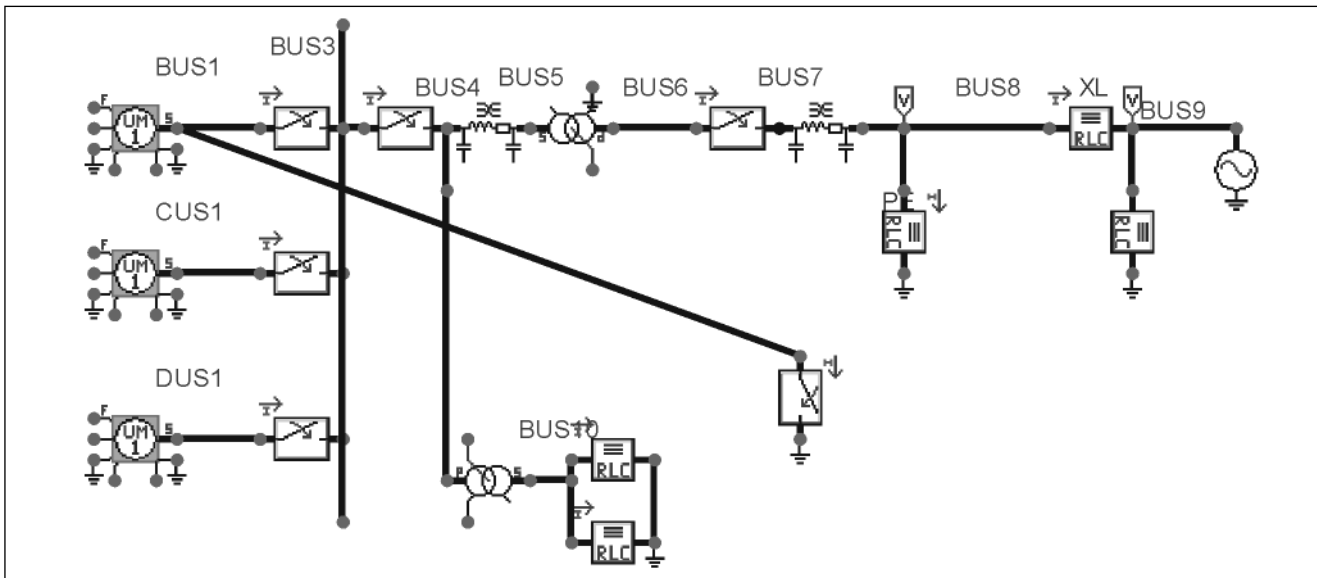
Sinhroni generator je, u smislu modelovanja, veoma važan deo simulacionog modela. Podaci o njemu su iz [9]. Naznačeni napon je 690 V, a statorski namot je spregnut u zvezdu. Broj pari polova $p=40$, naznačena snaga $P=2$ MW, $\cos\varphi=1$, $f=50$ Hz, induktivnost grane magnećenja po d-osi $L_{md}=0,0009173$ H, induktivnost grane magnećenja po q-osi $L_{mq}=0,0004594$ H, a podaci o statoru, po d i q – osi i za nulti sistem su:

$$R_0=0 \Omega, \quad L_0=0 \Omega$$

$$R_d=0,0142838 \Omega \quad L_d=9,17378 \cdot 10^{-5} \text{ H}$$

$$R_q=0,0142838 \Omega \quad L_q=9,17378 \cdot 10^{-5} \text{ H}$$

Slika 1 Simulacioni model male elektrane priključene na distributivnu mrežu



Omska otpornost rotora je $R_r=0,0020473 \Omega$, a induktivnost $L_r=0,0010083 \text{ H}$.

Kada se softverskim alatom simulira generator sam za sebe, dobija se, za naznačeni napon i početni ugao faze A od $\theta=0^\circ$, efektivna vrednost struje od 1670 A, čemu odgovara snaga od $S=1,991687 \text{ VA}$, dakle, približno $S=2 \text{ MW}$. Mehanički moment (izračunat analitički) iznosi $M_m=254777 \text{ Nm}$, a elektromagnetni (izračunat programom ATP) je $M_e=269820 \text{ Nm}$. Ugaona brzina rotora je $\omega=7,854 \text{ rad/s}$, a ugao mašine $\delta=0,5995 \text{ rad}=34,3^\circ$. Sinhronne mašine modelovane su tipom „Universal machine 1“, koji, u ovom slučaju, sadrži tri jednačine namota statora (Parkova $0dq$ transformacija), jedan namot na rotoru (inače ih može biti više) i

jednu mehaničku jednačinu obrtanja. Moment inercije generatora i turbine ukupno je $I=64911 \text{ kgm}^2$ i veoma je važan parametar u modelovanju elektromehaničkih procesa, zbog toga što se kod malih elektrana radi o relativno lakim rotorima. Zbog toga, u smislu stabilnosti, nije problem neki od generatora u mreži, već u maloj elektrani.

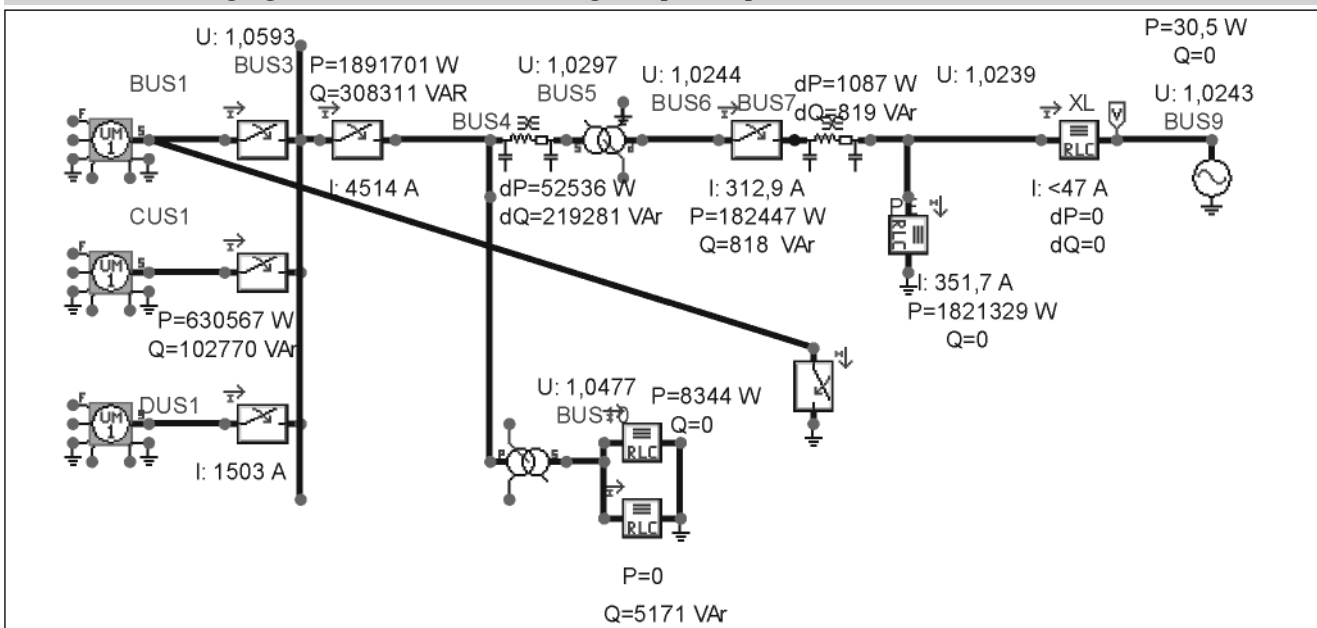
Efektivna vrednost fazne struje u nazivnom režimu je 1673 A, izračunato analitički, ili 1670 A, izračunato softverom ATP. Ove vrednosti su nam bitne jer će biti analiziran režim koji je sličan ovom režimu, a koji je proizvoljno zadat. Režim je pretpostavljen proizvoljno, bez prethodne analize tokova snaga, ali tako da približno odgovara nazivnom režimu.

3. Rezultati simulacije

3.1 Tokovi snaga i naponske prilike

Osnovna namena softverskog alata ATP-EMTP je rešavanje prelaznih procesa u mrežama, a ne analiza tokova snaga. On ima modul „LOAD FLOW“ za analizu tokova snaga, ali se, generalno, ne preporučuje za tu namenu, naročito ne u velikim mrežama, jer za to postoje mnogobrojni drugi specijalizovani softverski alati. Međutim, prilikom određivanja početnog stanja, ATP izračunava sve napone, struje, aktivne i reaktivne snage kroz grane, kao i gubitke aktivne i reaktivne snage. Ti podaci lako su dostupni u listingu, pa se veoma jednostavno očitavaju. Na slici 2 prikazana je šema sa slici 1, ali

Slika 2 Tokovi snaga, gubici aktivne i reaktivne snage i naponske prilike



energija

sa upisanim relativnim vrednostima napona (u odnosu na nazivni napon mreže), strujama u karakterističnim granama, kao i aktivne i reaktivne pofazne snage koje daju izvori i primaju potrošači. Prikazani su i gubici aktivne i reaktivne snage u kablovima i reaktansi mreže, ali ne i u transformatorima, jer se za njih (zbog grane magnećenja i postojanja primarnog i sekundarnog namota) teže očitavaju, iako je i to moguće.

Naprimera, svaki od tri ista generatora daje u mrežu po $P=630567$ W po fazi (za tri faze – tri puta više) i $Q=102770$ VAR. Kroz zbirni prekidač teku tri puta veće snage. Sa dP i dQ su označeni gubici u nekoj grani (kابلu). Naprimera, u kابلu prvom levo na sl. 2, gubitak aktivne snage je $dP=52536$ W, i $dQ=219281$ VAR. Ukupni gubici su relativno mali u odnosu na snagu koju daju mali generatori. Uglavnom, dejstvo malih generatora na tokove snaga u mreži je povoljno jer podižu napon na mestu gde se nalaze, smanjujući struje u granama mreže, što smanjuje gubitke [4 i 8]. Postoje gubici u kablovima i transformatorima između malih generatora i distributivne mreže, ali su oni mali, a njih inače pokrivaju mali generatori.

Ovaj primer (na slici 1) nije pogodan za prikaz uticaja malih elektrana na gubitke jer se radi o sinhronim mašinama, kod kojih je taj problem, zbog regulacije, mali. Osim toga, tri generatora su priključena na iste sabirnice. Problem gubitaka veći je kada su oni raspoređeni duž napojnog voda [4 i 8].

Problem naponskog profila takođe nije izražen kod sinhronih mašina, iz istih razloga (velika mogućnost regulacije). Međutim, ipak treba proveriti naponski profil (vrednosti napona u svim čvorovima mreže), kako naponi ne bi iskočili iz predviđenog opsega. Slika 2

pokazuje da je napon najviše podignut na mestu gde su mali generatori priključeni na sabirnice. Naprimera, predviđeno je da mali generatori rade sa naznačenim naponom, a stvarni napon je, u ovom slučaju, 1,0593, tj. za 5,9 % viši od naznačenog. Ipak, regulacijom se ovi problemi jednostavno rešavaju.

3.2 Uticaj malih elektrana na struje trofaznog kratkog spoja

Poznato je da male elektrane utiču na povećanje struja kratkih spojeva, što je nepovoljan uticaj. Kod projektovanja male elektrane i izbora njene opreme to nije problem jer se uzima u obzir na uobičajen način. Problem je što mala elektrana povećava struje kratkih spojeva u postojećoj distributivnoj mreži, pa prilikom davanja saglasnosti za priključenje male elektrane o tome treba voditi računa. Postupak definisan u [3] je inženjerski postupak na stranu sigurnosti. Iskustva u svetu pokazuju da se, najčešće, na distributivnu mrežu može priključiti veća snaga nego što je to prema postupku u [3]. Zbog toga je tačnije primeniti postupak izračunavanja struja kratkih spojeva nekim od za to predviđenih softvera.

Softverski alat ATP-EMTP može se upotrebiti za tu namenu. On daje „numeričke oscilogramе“ struja kvara, dakle, ne kao fazore, već kao vremenske promene struje kvara. Pri tome, nema nikakvih pojednostavljenja prema standardu IEC 60909, koji definiše izračunavanje struja kvara. Pri izračunavanju se uzima opterećenje pre kvara i njegov uticaj, a velika prednost je i u tome što se uzima u obzir (u modelu o ovom radu) inercija rotora malih generatora.

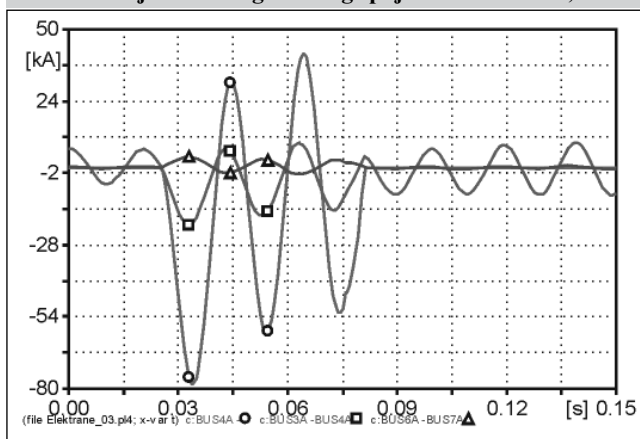
Na slici 3 prikazane su struje trofaznog kvara faze A na desnom priključku prekidača (čvor BUS4). Najvažniji parametar za dimenzionisanje opreme

je udarna struja, tj. maksimalna trenutna vrednost struje kvara. Kratak spoj nastaje u trenutku $t=0,025$ s, a nestaje u $t=0,075$ s. Ukupna vrednost struje kvara prikazana je crvenom krivom i njena udarna struja iznosi oko 76 kA. Zelenom krivom prikazana je ukupna struja kvara iz sva tri mala generatora, ukupne vrednosti udarne struje od 20,3 kA. Plavom krivom prikazana je komponenta struje kvara koja na mesto kvara dolazi iz distributivne mreže. Ona je merena na visokonaponskoj strani, pa je na niskonaponskoj strani treba pomnožiti sa 14,5 koliko iznosi prenosni odnos transformatora. Osim toga, ona je merena u smeru prema mreži (iz čvora BUS6 u čvor BUS7), dok je njen stvarni smer suprotan – iz mreže prema mestu kvara. Zbog toga, udarna struja iz mreže iznosi oko $14,5 \cdot 3,735$ kA = 54 kA. Slika jasno pokazuje da je uticaj malih generatora na udarnu struju značajan, i u ovom slučaju (tri sinhrona generatora po 2 MW) iznosi oko 27 %. Uticaj malih generatora zavisi od njihove ukupne snage, kao i mesta kratkog spoja. Prilikom priključenja male elektrane potrebno je proveriti staru opremu u distributivnoj mreži, a ne samo onu u maloj elektrani.

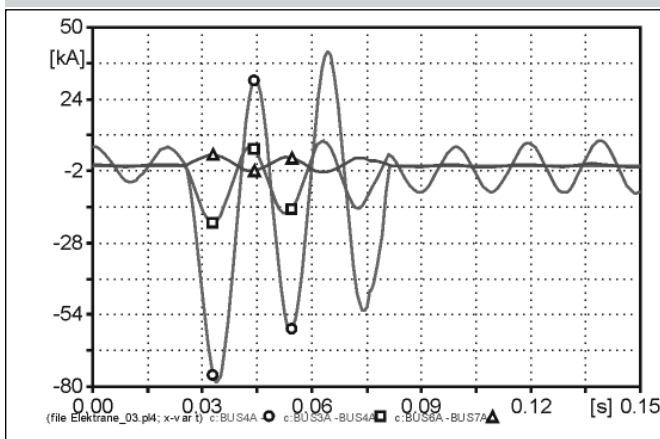
Izračunavanje struje trofaznog kvara pomoću softvera ATP-EMTP omogućava i drugi način izbora prekidača, direktno prema standardu za prekidače IEC 61100-1 High Voltage Alternating Current Circuit Breakers. Postupak je detaljno prikazan u [10], zbog čega ovde neće biti prikazan.

Na slici 4 prikazane su struje kvara na mestu BUS8, što je spojna tačka između male elektrane i distributivne mreže (PCC). U ovom slučaju su mali generatori električno znatno udaljeniji nego u prethodnom slučaju, pa je ukupna udarna struja 35,1 kA, komponenta iz mreže iznosi 34 kA, a iz

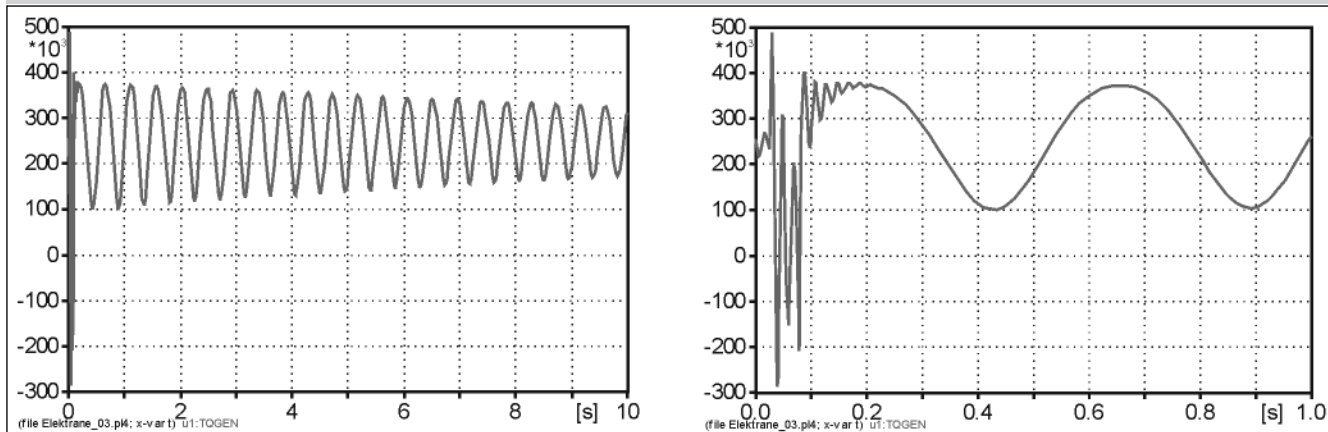
Slika 3 Struje trofaznog kratkog spoja u čvoru BUS4, faza A



Slika 4 Kvar u čvoru BUS8



Slika 5 Elektromagnetni moment generatora do $t=10$ s (levo) i $t=1$ s (desno)



male elektrane 1,1 kA. Dakle, u ovom slučaju udarna struja iz male elektrane čini 3 % ukupne udarne struje.

3.3 Stabilnost generatora u maloj elektrani pri trofaznom kratkom spoju

Kada se radi o malim elektranama priključenim na distributivnu mrežu, ne postavlja se pitanje stabilnosti distributivne mreže, već malih generatora. Razlog su laki rotori. Moment inercije rotora generatora i turbine zavisi od tipa generatora (vetrogenerator, hidroagregat, sinhrona mašina sa stalnim magnetom, asinhroni generator). Naravno, moment inercije zavisi i od snage mašine, brzine rotora, konstrukcije i sl., ali, u odnosu na velike generatore, ovi rotori su laki. U ovom radu analiziran je sinhroni generator sa momentom inercije rotora generatora i turbine od $I=64911 \text{ kg}\cdot\text{m}^2$, što je za ovakve mašine dosta velika vrednost.

Osnovni problem kod analize dinamičke stabilnosti je odrediti da li će se posle kratkog spoja parametri mašine vratiti na prethodne vrednosti. To traje izvesno vreme, a moguć je i nestabilan rad, zavisno od trajanja kratkog spoja. U ovom radu analiziraju se kratkotrajni poremećaji, a regulacioni

uređaji nisu uzeti u obzir iako je to u softverskom alatu ATP moguće. Softver ATP-EMTP namenjen je za analizu, kako elektromehaničkih, tako i elektromagnetnih prelaznih pojava, zbog čega je ovde korišćen. Rešenje se dobija u obliku vremenskih promena električnih veličina, što je inače najpogodnije za analizu rezultata. Na slici 5 levo prikazan je elektromagnetni moment jednog malog generatora u toku perioda od deset sekundi, pri trofaznom kratkom spoju koji nastaje u $t=0,025$ s, a isključuje se u $t=0,075$ s. Na istoj slici desno prikazan je deo te krive do $t=1$ s.

Slika pokazuje da je režim stabilan. Mašina pri kratkom spoju (slika 5 desno) ima povećan moment, dok posle isključenja postoje kratkotrajne oscilacije momenta, koje se brzo prigušuju. Na kraju, postoje oscilacije momenta veće frekvencije, ali *slici 1* levo pokazuje da se one smiruju. To je znak da mašini u ovom slučaju nije ugrožena stabilnost. Potrebno je dosta vremena da se moment vrati na vrednost pre kvara, ali se on ipak vraća.

Na *slici 6* levo prikazana je mehanička ugaona brzina rotora. Ona osciluje oko vrednosti od $\Omega=7,854 \text{ rad/s}$, a oscilacije nastaju sa kratkim spojem. Oscilacije se prigušuju, što je znak stabilnog rada,

ali prigušivanje traje dosta vremena posle nestanka kvara. Na *slici 6* desno prikazana je struja faze A u toku deset sekundi. Vidi se da struja ima oscilacije zbog oscilacija elektromagnetnog momenta i oscilacija rotora. Ipak, vrednosti struje u dužem intervalu opadaju.

Slika 7 levo pokazuje da, zbog oscilacija momenta, osciluje i struja posle isključenja kvara (u trenutku $t=0,075$ s). Na *slici 7* desno prikazan je ugao mašine u radianima. On se menja kao i ugaona brzina rotora.

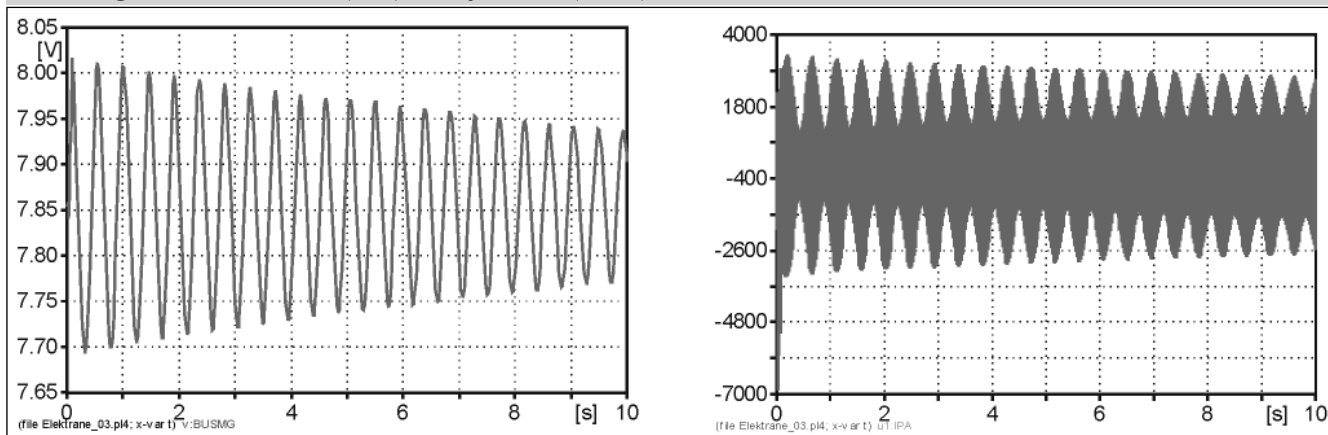
Od velike važnosti je da se odredi i maksimalno trajanje kvara pri kojem mašina ostaje stabilna. To se radi povećanjem trajanja kvara. Na taj način određeno je da mašina gubi stabilnost ukoliko trofazni kvar na njenim priključcima traje 105 ms. Na *slici 8* levo prikazan je moment u tom slučaju, kao i ugaona brzina rotora (desno). Očigledno je da nastaje nestabilnost, tj. potrebno je da zaštita isključi mašinu znatno pre 105 ms.

4. Zaključak

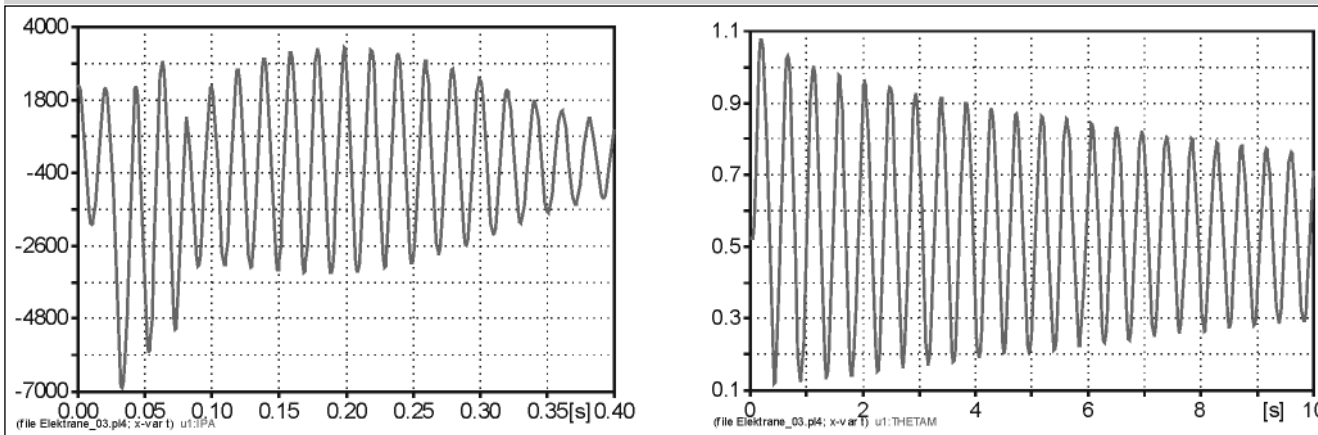
Na kraju, može se zaključiti sledeće:

- Male elektrane u tehničkom i tehnološkom smislu predstavljaju

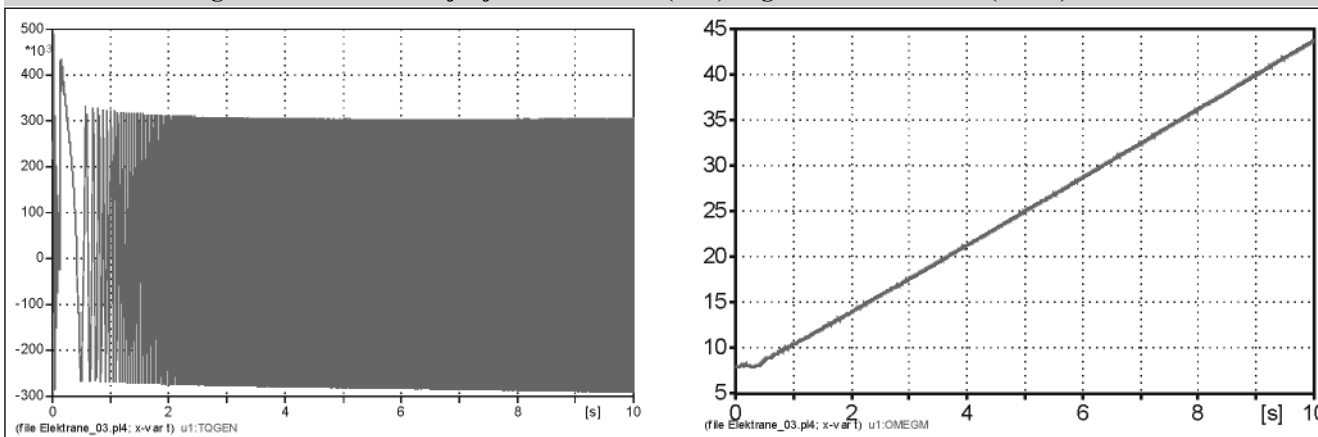
Slika 6 Ugaona brzina rotora (levo) i struja faze A (desno)



Slika 7 Struja faze A do $t=0,4$ s (levo) i ugao mašine u radianima (desno)



Slika 8 Elektromagnetni moment za trajanje kvara 105 ms (levo) i ugaona brzina rotora (desno)



revoluciju u proizvodnji električne energije jer je predviđeno da zamene izvestan deo izvora koji koriste fosilna goriva i zagađuju okolinu. Zbog toga su one realnost, a broj novih elektrana je u velikom porastu. Ipak, poznato je da one mogu u izvesnoj meri da stvore tehničke probleme vlasnicima postojećih distributivnih mreža. Te probleme u većoj meri rešavaju projektanti malih elektrana, primenom savremenih tehnoloških rešenja mikroprocesorske zaštite i upravljanja, energetske elektronike i sl. Jedan deo problema rešava se analizama određenih stanja i pojava savremenim softverom.

- Savremenim softverom analiziraju se ustaljena stanja i prelazni procesi. Ustaljena stanja su tokovi snaga i naponske prilike. Prelazni procesi su struje kratkih spojeva jer je često mašine (naročito asinhronne) potrebno analizirati za različite vrste kvarova, i to na različitim mestima. Osim toga, prelazni procesi od značaja su analiza stabilnosti, sklopni prenaponi, naponski propadi, flikeri i sl.
- U ovom radu prikazan je simulacioni model za analizu stacionarnih i prelaznih procesa koji nastaju zbog

priključenja male elektrane na postojeću distributivnu mrežu. On je definisan pomoću softverskog alata ATP-EMTP.

- Prikazano je kako se mogu analizirati naponske prilike, tokovi snaga, gubici, struje trofaznog kratkog spoja i stabilnost mašina u malim elektranama.
- Softver ATP-EMTP veoma je pogodan za ovakve analize jer predstavlja softver koji je u svetu razvijan od 1970. godine, zbog čega ima velike mogućnosti. Pri tome, on je detaljno proveren u toku dugogodišnjeg razvoja.

5. Literatura

- [1] Ackermann T.: Wind Power in Power Systems, John Wiley & Sons, Ltd, England, 2005,
- [2] Jenkins N., Allan R., Crossley P., Kirscher D., Strbac G.: Embedded generation, The Institution of Electrical Engineers, 2000., United Kingdom
- [3] JP Elektroprivreda Srbije: Tehnička preporuka br. 16 – Osnovni

tehnički zahtevi za priključenje malih elektrana na mrežu Elektrodistribucije Srbije, I izdanje, 2003.

- [4] Saša Stojković: Uticaj mikro hidroelektrana na tokove snaga i naponske prilike u distributivnoj mreži, 27. Savetovanje JUKO CIGRE, 29. maj-03. jun 2005., Zlatibor, referat R C6-07
- [5] Sasa Stojkovic: ATP-EMTP based case study of wind power plant interconnection to the distribution system in Serbia, *International symposium POWER PLANTS 2006* September 19-22, 2006, Vrnjačka Banja, Serbia
- [6] Saša Stojković: Uticaj mikro hidroelektrana na struje kratkih spojeva u distributivnoj mreži, „Elektroprivreda“ 2006, br. 4, str. 54-62.
- [7] Saša Stojković: Uticaj mini elektrana na rad postojeće relejne zaštite u distributivnim mrežama, „Elektroprivreda“ 2008, br. 4, str. 47-53.
- [8] Saša Stojković, Žarko Stevanović: Analiza priključenja farme vetrogeneratora na lokaciji „Veliko brdo“ na elektroenergetsku mrežu,

„Elektroprivreda“ 2008, br. 4, str. 47-53144-150.

[9] Alternative Transients Program (ATP) Rule Book, Canadian/American EMTP User Group 1987-92.

[10] Saša Stojković, Goran Pavlović: Izbor prigušnica za ograničenje struja kratkih spojeva u postrojenjima sa motorima velike snage, 28. Savetovanje JUKO CIGRE, 30. septembar – 05. oktobar 2007., Vrnjačka Banja, referat R B3-08, str. 95-102.

Zahvalnost

Autor se najljubaznije zahvaljuje Ministarstvu za nauku Republike Srbije za finansijsku podršku projekta TR-17001 „Pouzdanost dereguliranih distributivnih sistema“.

energija

Nenad Miloradović, spec.dipl.inž. mr Milan Petrović, dipl. maš.inž. Bojan Bogdanović, dipl.maš.inž.

JKP “Beogradske elektrane“

UDC: 621.311.243/4 : 504

Opis idejnog rešenja solarnog postrojenja na TO “Cerak“

Rezime

U sklopu VII javnog poziva Nacionalnog programa energetske efikasnosti za obnovljive izvore energije Ministarstva za nauku i tehnološki razvoj Republike Srbije, zajedno su konkurisali Laboratorija za termotehniku i energetiku Instituta za nuklearne nauke “Vinča” i JKP “Beogradske elektrane” sa projektom br. 273024: “Istraživanje i razvoj supstitucije fosilnih goriva sunčevom energijom i biomasom u proizvodnji sanitarne tople vode u JKP Beogradske elektrane na TO Cerak”. Primena solarne energije u sklopu sistema daljinskog grejanja doprinosi većoj energetske efikasnosti postojećih postrojenja, smanjuje potrošnju energenata i emisiju štetnih gasova sa efektom staklene bašte, te daje važan doprinos održivom razvoju. U ovom radu je razmotreno idejno rešenje velikog solarnog postrojenja u sklopu postojeće toplane “Cerak” u Beogradu, koja preko cele godine isporučuje toplotnu energiju i u svom krugu poseduje dovoljno neiskorišćenog prostora za instalaciju prijemnika sunčeve energije.

Ključne reči: solarna energija, toplana, energetska efikasnost, životna sredina.

Description of Project Solution for „Cerak“ Solar Generation Plant

The Ministry of Science and Technology Development of the Republic of Serbia announced the 7th Public invitation on the National energy efficiency programme for renewable energy sources, where the project No 273024, “Assessment of possibilities and feasibility for replacing fossil fuels with solar energy and biomass in domestic hot water production process at TO Cerak- Belgrade” has been accepted. The project is to be implemented by the Institute of Nuclear Sciences “Vinca”, and PUC “Beogradske elektrane”. The application of solar power in district heating systems has a positive effect on energy efficiency of generation plants, contributes to fossil fuels savings and reduces emissions, therefore resulting in sustainable development. This paper considers a project solution on a large solar power plant as a part of the existing generation plant “Cerak” in Belgrade, with the operation mode during the entire year and with enough unused space for thermal solar collectors.

Key words: solar energy, generation plant, energy efficiency, environment.

1. Uvod

Toplana “Cerak“ funkcioniše od 1985. godine u sklopu JKP “Beogradske elektrane“. Toplotna energija se isporučuje za grejanje tokom grejne sezone (od oktobra do aprila), a za potrošnu toplu vodu isporučuje se ograničenom broju potrošača tokom cele godine.

Trenutno, gorivo koje koristi toplana “Cerak“ je prirodni gas ili mazut. Solarno postrojenje treba da supstituiše potrošnju fosilnog goriva sunčevom energijom za potrošnu toplu vodu u procentu od 10 do 15 % tokom letnjeg perioda. Takođe, izgradnjom solarnog postrojenja smanjiće se emisija gasova sa efektom staklene bašte.

2. Kapacitet budućeg solarnog postrojenja na lokaciji toplane "Cerak"

Predviđena je ugradnja 5.000 m² termalnih prijemnika sunčeve energije (apsorberske površine). Zbog promjenljivosti intenziteta sunčevog zračenja, kako tokom dana, tako i tokom godine, procenjena instalisana snaga solarnog postrojenja iznosi nominalno oko 1 MW.

Objekat postojeće toplane "Cerak" nalazi se na građevinskom placu veličine 8 ha koji se nalazi u naselju Vidikovac, pored Ibarske magistrale. Lokacija se nalazi neposredno pored vododelnice koja razdvaja sliv Topčiderske reke od užeg sliva Save. Nadmorska visina placa je 175 m. Za izgradnju solarnog postrojenja na zemljištu toplane "Cerak" predviđena je raspoloživa površina od 15.750 m² za instalaciju termalnih prijemnika sunčeve energije. Orijentacija površina za prijemnike sunčeve energije je ka jugu, pomerena za 30° prema istoku. Ugao pod kojim se postavljaju prijemnici sunčeve energije prema horizontalnoj površini je nepromenljiv (fiksiran). Postojeći objekti na zemljištu TO "Cerak" ne prave senku na te površine i oni su udaljeni od mesta za prijemnike sunčeve energije. Postojeće stanje TO "Cerak" karakteriše ukupna instalisana snaga od oko 245 MW u kotlovima. Instalisana snaga toplotnog konzuma je 230 MW, od čega se 16,3 MW odnosi na potrošnju toplu vodu. Potrošna topla voda se iz 70 podstanica isporučuje u oko 7.000 stanova. Potrošači se toplotnom energijom snabdevaju putem dva magistralna toplovoda, a preko toplotnih podstanica sa razmenjivačima toplote. Projektovani temperaturni režim toplovoda je 150/75 °C za spoljnu projektnu temperaturu. Temperaturni režim "kliza" u zavisnosti od spoljne temperature, dok podstanice imaju promenljiv protok, zavisno od potrebe za toplotnom energijom od strane korisnika. Potrošna topla voda isporučuje se samo putem magistrale M1, prečnika DN 700. Ukupna zapremina vode u obe magistrale iznosi oko 4.700 m³. Ukoliko se posmatra samo deo toplovoda koji isporučuje potrošna topla voda (PTV) tokom leta, ova zapremina iznosi oko 2.200 m³. Projektovani letnji režim rada toplane je 65/22 °C za isporuku potrošne tople vode. Zbog toplotne inercije toplovoda, toplotni izvori rade 24 časa dnevno u letnjem periodu. Tokom 2008. godine izvršena je modernizacija toplotnih podstanica na grejnom području toplane "Cerak". Očekivani radni temperaturni režim posle modernizacije

za potrošnu toplu vodu je 60/40 °C sa odgovarajućim protokom za stvarni instalisani kapacitet. Pre modernizacije radni temperaturni režim je iznosio 62/45 °C. Protoci su odgovarajući za temperaturne režime i stvarno instalisani kapacitet od 6 MW: za projektni režim 65/22 °C iznosi 120 m³/h, za trenutni režim 62/45 °C iznosi 300 m³/h, a za režim posle modernizacije 60/40 °C iznosi 250 m³/h.

3. Idejno rešenje budućeg solarnog postrojenja na toplani "Cerak"

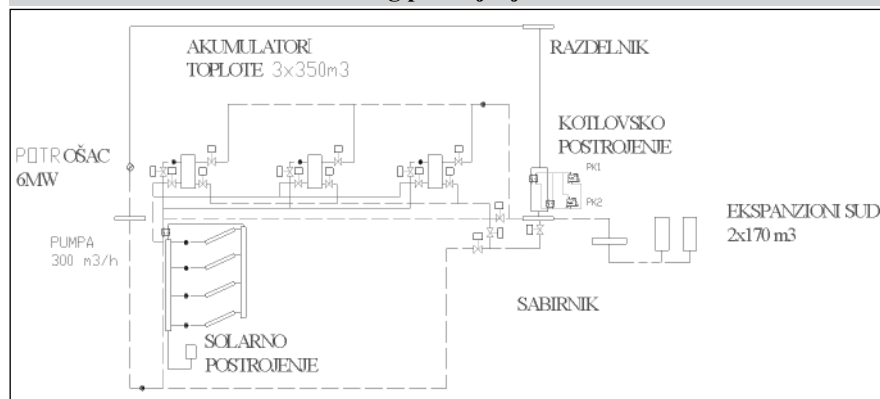
U okviru saradnje sa Institutom "Vinča", razmatrane su mogućnosti primene ravnih pločastih, kao i vakuumskih solarnih kolektora. Predviđena je ugradnja 5.000 m² termalnih prijemnika sunčeve energije (apsorberske površine) na raspoloživom zemljištu površine 15.750 m². Pošto svako solarno postrojenje prati akumulator toplote, analizirane su varijante sa akumulatorom toplote i bez njega, pošto se pretpostavlja da znatna količina vode u toplovodu može zapravo da posluži kao akumulator toplote. Tečnost koja će cirkulisati kroz kolektore biće rastvor propilen-glikola, a zbog sprečavanja zamrzavanja. Cirkulacioni krug prijemnika sunčeve energije biće povezan na povratni vod magistrale, preko pločastog razmenjivača toplote. Pločasti razmenjivač toplote je neophodan zbog razlike u pritiscima i vrsti tečnosti dva cirkulaciona kruga.

Predviđa se izgradnja manjeg pratećeg objekta, u kojem bi bili smešteni pločasti razmenjivač toplote, cirkulacione pumpe, ekspanzioni sud za krug sa propilen-glikolom, kao i prateća automatika i merno-regulaciona oprema. Povezivanje solarnog postrojenja sa sklopom postojeće toplane vrši se preko razmenjivača toplote koji je povezan na povrat magistrale M1 preko kratke veze, a smešten je u novom pratećem objektu. Deo protoka povrata magistralnog toplovoda vodi se na razmenjivač

propilen-glikol – topla voda gde se vrši zagrevanje toplotom dobijenom iz solarnog postrojenja. Zagrejana voda se potom odvodi u akumulator toplote (ukoliko je produkcija toplote iz solarnog postrojenja veća od potrošnje konzuma) ili direktno na, po potrebi, dogrevanje kotlovima. Automatskim radom se vrši otvaranje i zatvaranje motornih pregradnih ventila čime se reguliše punjenje akumulatora toplote, kao i njegovo pražnjenje tokom perioda rada kada toplota iz solarnog postrojenja nije dovoljna za pokrivanje potreba konzuma. Predviđena su tri cilindrična vertikalna akumulatora toplote od po 350 m³ tople vode, koji su povezani paralelno. Sistem regulacije mora da obezbedi njihovo punjenje i pražnjenje tako da se uvek puni i prazni po jedan akumulator toplote. Time se želi postići da se akumulira topla voda više temperature. U slučaju da se puni samo prvi akumulator toplote, ostala dva su van funkcije. Kada se postigne željena temperatura od 62 °C u akumulatoru, uključuju se redom akumulatori broj 2 i 3. Cirkulacioni krug sa propilen-glikolom povezuje polja prijemnika sunčeve energije sa pločastim razmenjivačem. Cirkulacija se ostvaruje sa 4 cirkulacione pumpe sa frekventnom regulacijom, čime se omogućava održavanje konstantne temperature na izlazu iz prijemnika sunčeve energije, dok je protok varijabilan. Sistem automatske regulacije treba da obezbedi maksimalnu iskoristivost prijemnika sunčeve energije. Predviđeni su sabirnik i razdelnik koji će sakupljati tečnost od polja sa prijemnicima sunčeve energije (Slika 1.).

Ekspanzioni sud za propilen-glikol treba da omogući termičku dilataciju kruga za propilen-glikol. Prilikom izrade glavnih projekata treba voditi računa o punjenju i pražnjenju instalacija solarnog postrojenja propilen-glikolom, kao i mogućnost njegovog skladištenja i sakupljanja posle pražnjenja, zbog cene istog.

Slika 1 Tehnološka šema solarnog postrojenja na TO "Cerak"



Slika 2 Situacija toplane "Cerak" sa solarnim postrojenjem



Solarno postrojenje sadrži konstrukcije za prijemnike sunčeve energije koji će biti postavljeni na zemljištu toplane i iznad dva parkirališna prostora (dimenzija: 90 m x 30 m i 60 m x 20 m).

Prateći objekat dimenzija 10 m x 6 m predviđen je za smeštaj pločastog razmenjivača propilen-glikol-topla voda kapaciteta cca 2 MW, cirkulacionih pumpi sa frekventnom regulacijom (4 pumpe), ekspanzionog suda za krug sa propilen-glikolom, sabirnika i razdelnika, kao i merno-regulacione opreme.

Akumulatori toplote su razmešteni pored pratećeg objekta, kako bi se smanjile dužine cevovoda koji ih povezuju. Položaj akumulatora toplote u odnosu na Glavni pogonski objekat (GPO) vodi računa o eventualnom proširenju GPO, tako da se ne nalaze u produžetku GPO.

Parkirališni prostori koji će biti natkriveni konstrukcijama za prijemnike sunčeve energije treba da omoguće prolaz kamiona sa dizalicom i vozila šlep-službe.

4. Mere za sprečavanje negativnih uticaja na životnu okolinu

Emisija gasova sa efektom staklene bašte je smanjena zahvaljujući primeni prijemnika sunčeve energije. Primena solarne energije povoljno utiče na smanjenje emisije gasova sa efektom staklene bašte iz postojećeg toplotnog postrojenja. Prilikom projektovanja solarnog postrojenja na TO "Cerak" primenjivaće se propisi i zakoni vezani za sprečavanje negativnih uticaja na životnu okolinu. Za proračun smanjenja emisija ugljen-dioksida (CO₂) mogu se koristiti polazni podaci iz "Studije

opravdanosti mogućnosti korišćenja solarne energije za proizvodnju potrošne tople vode na TO Cerak" - Institut za nuklearne nauke "Vinča" u Beogradu (2008) [1].

Prema literaturi [6], sagorevanjem prirodnog gasa oslobodi se 50,33 kg CO₂/GJ energije goriva. Na osnovu rezultata dobijenih simulacijom za različite vrste i različite površine kolektora, proračunato je smanjenje emisije CO₂ za period letnjeg režima rada toplane "Cerak". U Tabelama 1-3 su date vrednosti smanjenje emisije CO₂ za sve simulirane slučajeve.

Ušteda emisije CO₂ od 1 t/god odgovara vrednosti 1 CER, čija vrednost na tržištu iznosi od 4 do 14 evra. Usvojena je vrednost od 8 evra/CER, kao i način naplate sertifikata od 3 x 7 godina (ukupno 21 godina, a pretpostavljen vek trajanja kolektora je 20 godina). Troškovi validacije, monitoringa i sertifikacije za ceo projekat iznose 85.000 evra, na osnovu čega možemo da izračunamo dodatne uštede postavljanja kombinovanog sistema za zagrevanje vode (Tabele 4-6).

Za GPO je planirano proširenje (duž kolskog ulaza u GPO), a zbog eventualnog proširivanja kapaciteta i dogradnje novih kotlovskih postrojenja u GPO. Planirano je izmeštanje zaštitne ograde u delu kod parkirališta za privatna vozila. Koristi se postojeća protiv-požarna hidrantska mreža, koja pokriva celokupno građevinsko zemljište toplane. Prilikom izrade glavnog projekta, voditi računa da se saobraćajnice protiv-požarnog puta u celini očuvaju i ne ugrožavaju. Tačne trase i visina vidnog vođenja cevi biće definisana glavnim projektom.

Tabela 1 Smanjenje emisije CO₂ za režim 62/45 °C, 300 m³/h

Smanjenje emisije CO ₂ (t/god)		
Proizvođač kolektora	Kolektorska površina 5.000 m ²	Kolektorska površina 8.000 m ²
a) Apricus	445,79	710,29
б) NAU	528,63	849,28
в) GJ	495,47	785,92

Tabela 2 Smanjenje emisije CO₂ za režim 65/22°C, 120 m³/h

Smanjenje emisije CO ₂ (t/god)		
Proizvođač kolektora	Kolektorska površina 5.000 m ²	Kolektorska površina 8.000 m ²
a) Apricus	498,75	825,60
б) NAU	668,85	1.062,20
в) GJ	624,58	1.013,33

Tabela 3 Smanjenje emisije CO₂ za režim 60/40°C, 250 m³/h

Smanjenje emisije CO ₂ (t/god)		
Proizvođač kolektora	Kolektorska površina 5.000 m ²	Kolektorska površina 8.000 m ²
a) Apricus	463,40	738,40
б) NAU	563,37	893,87
в) GJ	530,07	841,06

5. Troškovi solarnog termičkog sistema na TO "Cerak"

Solarno postrojenje na TO "Cerak" će se graditi po etapama, uključujući polja za prijemnike sunčeve energije, montažu cirkulacionih pumpi i izgradnju akumulatora toplote. Predviđena je ugradnje jedne po jedne površine pod prijemnicima sunčeve energije, a shodno tome i akumulatora za toplu vodu i cirkulacionih pumpi.

Za TO "Cerak" ukupni investicioni troškovi ovakvog kombinovanog sistema za proizvodnju toplotne energije dobijeni su na osnovu potrebnih troškova za prijemnike sunčeve energije i troškova ostalog dela instalacije solarnog postrojenja:

- akumulatora toplote (zapremine 3 x 350 m³ čija je ukupna cena oko 75.000 evra),
- pločastog razmenjivača toplote i ekspanzionog suda (cene oko 10.000 evra),

Tabela 4 Smanjenje emisije CO2 za režim 62/45 °C, 300 m3/h

Ušteda preko CDM projekta za 21 godinu (evra)				
Proizvođač kolektora	Površina 5.000 m ²	Udeo u investicionim troškovima (%)	Površina 8000 m ²	Udeo u investicionim troškovima (%)
a) Apricus	74.893	12,67	119.329	14,62
б) NAU	88.810	8,50	142.679	9,00
в) GJ	83.239	10,20	132.035	10,85

Tabela 5 Smanjenje emisije CO2 za režim 65/22 °C, 120 m3/h

Ušteda preko CDM projekta za 21 godinu (evra)				
Proizvođač kolektora	Površina 5.000 m ²	Udeo u investicionim troškovima (%)	Površina 8000 m ²	Udeo u investicionim troškovima (%)
a) Apricus	83.790	14,17	138.701	17,00
б) NAU	112.367	10,75	178.450	11,26
в) GJ	104.929	12,86	170.239	13,99

Tabela 6 Smanjenje emisije CO2 za režim 60/40 °C, 250 m3/h

Ušteda preko CDM projekta za 21 godinu (evra)				
Proizvođač kolektora	Površina 5.000 m ²	Udeo u investicionim troškovima (%)	Površina 8000 m ²	Udeo u investicionim troškovima (%)
a) Apricus	77.851	13,17	124.051	15,20
б) NAU	94.646	9,06	150.170	9,48
в) GJ	89.052	10,91	141.298	11,61

Tabela 7 Troškovi nabavke solarnog sistema za različite površine (ukupni investicioni troškovi)

Proizvođač kolektora	Investicioni troškovi T _{inv} (evra)	
	Kolektorska površina 5.000 m ²	Kolektorska površina 8.000 m ²
Apricus	591.250	859.000
NAU	1.044.850	1.584.550
GJ	815.950	1.217.050

- pumpi (cene oko 5.000 evra),
- prateće merno-regulacione opreme (cene oko 20.000 evra),
- izgradnje građevinskog objekta za smeštaj nove opreme (cene oko 30.000 evra).

Takođe, uračunata je i nabavka glikola koji se dodaje kolektorskom fluidu (vodi) radi sprečavanja njegovog smrzavanja u zimskom periodu (oko 5.000 evra). Ukupni predviđeni troškovi izgradnje solarnog termičkog sistema (bez troškova za solarne kolektore) iznose oko 145.000 evra.

Prema literaturi, troškovi rada i održavanja pogona za solarni termički sistem iznose 1% investicionih troškova. Ukupni investicioni troškovi solarnog termičkog sistema na TO "Cerak" sa apsorberskom kolektorskom površinom od 5.000 m² se kreću u granicama od 800.000,00 do 1.200.000,00 evra.

6. Zaključak

Primena obnovljivih izvora energije u okviru gradskih toplana znatno

Primer za to je švedski grad Geteborg, gde se fosilna goriva za grejanje koriste samo do 7 % od ukupne potrošnje [3]. Prvi koraci koji se čine u okviru JKP "Beogradske elektrane" idu u tom pravcu. Primena solarne energije na TO „Cerak“ predstavlja novu mogućnost u poslovanju JKP "Beogradske elektrane", koje su veliki potrošač fosilnih goriva. Iskorišćavanje lokalnih resursa povoljno utiče na nacionalnu ekonomiju i zaštitu čovekove okoline. Predviđeni porast cene gasa povoljno utiče na period otplate budućeg solarnog postrojenja.

Primena solarne energije u sklopu sistema daljinskog grejanja doprinosi većoj energetske efikasnosti postojećih postrojenja, smanjuje potrošnju energenata i emisiju štetnih gasova sa efektom staklene bašte, te daje važan doprinos održivom razvoju. U ovom radu je prikazano idejno rešenje velikog solarnog postrojenja u sklopu postojeće toplane "Cerak" u Beogradu, koja preko cele godine isporučuje toplotnu energiju i u svom krugu poseduje dovoljno neiskorišćenog građevinskog prostora (raspoloživ plac) za instalaciju prijemnika sunčeve energije.

Literatura

- [1] Studija opravdanosti mogućnosti korišćenja solarne energije za proizvodnju potrošne tople vode na TO Cerak" - Institut za nuklearne nauke "Vinča" u Beogradu, 2008.
- [2] Grydehøj H., Ulbjerg F., 2005, District heating – a precondition for efficient use of solar heating, Danish Board of District Heating, DBDH 2/2005.
- [3] Serbian/Swedish dialogue on district heating and energy efficiency, 2006, 15.-16. November, 2006, Hotel Hyatt Regency, Belgrade.
- [4] www.apricus.com
- [5] Katalozi proizvođača prijemnika sunčeve energije Apricus, GJ i NAU.
- [6] www.naturalgas.org/environment/naturalgas.asp

doprinosi održivom razvoju gradova. Kompanije koje isporučuju toplotnu energiju mogu da koriste fosilna goriva samo za vršna opterećenja.

Mogućnost primene fotonaponskih sistema u urbanim sredinama – studija slučaja

1.0. Uvod

Brzo iscrpljivanje klasičnih energetske izvora, eksploatacija osnovnog energetske izvora – niskokaloričnog uglja – koja je skopčana sa ugrožavanjem životne sredine, kao i neracionalna proizvodnja i potrošnja energije, doveli su do osetnog pogoršanja energetske situacije. Budući da koncept održivog razvoja podrazumeva očuvanje i revitalizaciju životne sredine i resursa za buduće generacije, koncept primene obnovljivih izvora energije (OIE) u skladu sa osnovnim načelima ove ideje postao je jedan od prioriteta svih zemalja sveta [1].

Jedan od važnih zadataka korišćenja obnovljivih izvora energije je da omogući lokalnim potrošačima veću energetske samostalnost i tako postane faktor decentralizacije sistema naselja.

Primena OIE je ekološki imperativ u razvoju gradova današnjice. Povećanje gustine naseljenosti, kao i širenje gradskog područja nameće upotrebu znatno veće količine energenata, čime se direktno narušava ionako loša ekološka slika. Osim ekonomskih prednosti (ušteda sredstava neophodnih za izgradnju distributivne mreže), primena OIE omogućava smanjenje efekta staklene bašte, koji se javlja kao direktna posledica korišćenja tradicionalnih energetske izvora (ugalj, nafta). Danas se sve češće koristi termin "zelena energija". Zelena energija se može definisati kao energija koja potiče iz obnovljivih izvora. Pored toga što je obnovljiva, ova energija je i održiva, a njena proizvodnja i potrošnja ne ugrožava životnu sredinu. Upotreba zelene energije u svetu poprima značajne razmere. Korišćenje zelene energije može da obezbedi energetske nezavisnost.

Rezime

Poslednjih 15 godina u urbanim sredinama širom Evrope sve je veća primena fotonaponskih (PV) sistema. Implementacija PV sistema u projektovanju i izgradnji objekata postaje deo standardnih aktivnosti u razvoju gradova. Postoje i značajne prepreke za primenu ovih sistema, koje su evropske države prevazišle, a tiču se pre svega legislativnog okvira koji reguliše ovakvu vrstu projekata, a zatim i načina njihovog finansiranja.

Kroz primere evropskih gradova i studije slučaja (case study) gradova Gelsenkirchena u Nemačkoj, Gleisdorfa u Austriji i Liona u Francuskoj, rad nastoji da ukaže na pozitivne ekonomske i ekološke efekte ovakvog načina dobijanja energije i ukaže na značajnije promene u pristupu i načinu planiranja novih delova grada, važnoj ulozi eksperata, edukaciji stručnjaka, učešću javnosti i ulozi lokalnih vlasti u implementaciji ovih projekata.

Osim toga, na osnovu inostranih primera u radu su date smernice za primenu ovakve vrste projekata kod nas. Prikazan je projekat solarne fotonaponske elektrane urađen za Skupštinu opštine Vračar u Beogradu. Rad predlaže mere i akcije (od edukacije do finansiranja) koje bi pomogle u realizaciji ovakve vrste projekata u Srbiji.

Ključne reči: fotonaponski sistemi, studije slučaja za Lion, Gelsenkirchen, Gleisdorf, solarna elektrana Vračar, uloga lokalne uprave, učešće javnosti.

Possibilities of Application Photovoltaic Systems in Urban Areas – Case Studies

Photovoltaic systems have seen an expansion of their application in the past 15 years. Implementation of these systems becomes one of the standard activities in the urban design and development processes. On the other hand, there are considerable constraints for the application of photovoltaic systems, mainly in the legislative area, which regulates the implementation and financing of these projects. These problems have been overcome successfully by many European countries.

This paper tries to point to some positive economic and ecological effects of these energy systems and present a change of the approach to design of new city districts. Some other issues, presented in this paper are the: importance and education of experts, participation of public and local government. The method of this paper is the presentation of positive examples of European cities and their case studies. Some of the cities are Gelsenkirchen (Germany), Gleisdorff (Austria), Lion (France).

Based on those experiences, the paper proposes guidelines for the local application of these projects. An example of the solar photovoltaic plant for the Municipality of Vračar in Belgrade is presented in detail. The paper proposes measures and actions (from education to financing) which would help in realizations of similar projects in Serbia.

Key words: photovoltaic systems, Lion case study, Gelsenkirchen case study, Gleisdorf case study, local government roles, public participation.

energija

Zelena energija se uglavnom proizvodi iz lokalnih izvora koji se nalaze blizu potrošača i pogodna je za privatni kapital, što otvara mogućnost uravnoteženog razvoja [2].

U zemljama EU je poslednjih deset godina donet niz zakona i strategija o obnovljivim izvorima energije. Posebna pažnja usmerena je na upotrebu pasivnih i aktivnih solarnih sistema. Primena PV sistema u gradovima i urbanim sredinama je širom Evrope u porastu.

Održivost postaje značajna tema u projektovanju i građevinarstvu. Instalacija PV sistema na zgradama postaje deo standarda u projektovanju objekata i građevinskoj industriji. Ovaj rad će ukazati na nove tendencije u sektoru primene PV tehnologije u građevinarstvu, odnosno u granama koje do sada nisu funkcionisale zajedno.

2.0. Primena solarnih sistema

U slučajevima kada je na objektima u gradskoj sredini nemoguće sprovesti principe energetske efikasnosti (zbog ekonomskih ili arhitektonskih prepreka), radi uštede energije mogu se koristiti lokalni obnovljivi energetske izvori i to prevashodno energija dobijena iz pasivnih i aktivnih solarnih sistema [3].

Aktivni sistemi za svoj rad koriste fotonaponske (PV) panele i solarne kolektore. Fotonaponsko pretvaranje sunčeve energije predstavlja način neposrednog korišćenja sunčeve energije u vidu električne energije.

Prednost korišćenja PV panela je u tome što ne zahteva posebnu akumulaciju i skladištenje, već solarnu energiju pretvara direktno u električnu. Osnovni preduslov u korišćenju solarne energije je stepen insolacije i pravilna orijentacija objekta.

3.0. Primena fotonaponskih (PV) sistemima u gradovima EU

U okviru EU formiran je konzorcijum (The Up-scale consortium) čiji je zadatak povećanje primene PV sistema u gradovima. Konzorcijum je tokom 2008. godine ispitao 14 projekata PV sistema koji se primenjuju u urbanim sredinama i paralelno se odvijaju u pet evropskih država, da bi se utvrdilo šta je sve u međuvremenu urađeno, kakva su iskustva u primeni i koje se mere preduzimaju za poboljšanje njihovog funkcionisanja, finansiranja, edukacije stručnjaka i šire javnosti itd [4,5]. U ovom radu biće prikazani neki od ovih projekata.

Za uspešnu primenu proizvodne strategije dragocena su prethodna iskustva. Masovno prihvatanje fotonaponskih tehnologija u urbanom okruženju potenci-

jalno predstavlja ogromno marketinško područje i ukoliko se pravilno vodi i usmerava, može dati povoljne rezultate. Da bi gradovi i investitori u EU koristili stečena iskustva, konzorcijum je identifikovao tzv. „ključne tačke uspeha”.

Istraživanja su usmerena na mogućnost što veće koncentracije PV sistema u urbanim sredinama. Veliki broj analiziranih projekata bitno utiču na urbano okruženje u kome se nalaze (lokacija u urbanom tkivu, uticaj na okolne zgrade, vizuelni i estetski efekti itd.). Svi ovi projekti poslužili su za prikupljanje velikog broja podataka koji su se pokazali korisnim za dalji rad i bili svojevrsno iskustvo za razvoj metoda za promociju i primenu PV sistema u okviru urbanog procesa planiranja.

Proces urbanog razvoja poslednjih godina postaje sve kompleksniji, uzimajući u obzir niz problema koje treba uzeti u razmatanje pri planiranju i projektovanju gradova. Efikasnost upotrebe PV sistema veoma zavisi i od orijentacije objekta, kao i njegove zasenčenosti. To znači da prilikom instalacije PV sistema mnogi faktori moraju biti uzeti u obzir - od oblika krova, fasada, pa sve do same konstrukcije objekta. Takođe se moraju uzeti u obzir postojeći kapaciteti, potrebe za električnom energijom, kao i način snabdevanja električnom energijom objekata. Prilikom planiranja i projektovanja novih naselja ili objekata, moguće je u ranim fazama predvideti PV sisteme i tako postići značajnu uštedu energije.

Međutim, često se dešava da odluka o ugradnji PV sistema dolazi u kasnijim fazama, kada je objekat već izgrađen. U velikom broju slučajeva građevinske firme i projektanti se odlučuju na ugradnju PV sistema po ugledu na druge objekte, bez obzira na činjenicu da ne postoje povoljne predispozicije za njihovu ugradnju (loša insolacija i orijentacija, velika zasenčenost i sl.). Takođe, na mnogim lokacijama je gotovo nemoguće postaviti PV sisteme, ukoliko nisu na vreme planirani, iako bi detaljne analize osunčanja i položaja objekata mogle da otklone mnoge postojeće negativne parametre lokacije.

Zato je primenu i način ugradnje PV sistema najbolje razmatrati u incijalnim fazama projektovanja objekta. Ipak, urbanisti, planeri i arhitekti, koji su uključeni u prve faze projektovanja uglavnom nemaju iskustva sa primenom solarne energije. Savet stručnjaka koji se bave ovom oblašću može pomoći prilikom primene PV sistema i optimizovati troškove i performanse PV sistema. Kako se iskustvo u ovoj oblasti bude povećavalo, tako će se i mogućnosti njegove primene u građevinarstvu

povećavati i postajati standardni deo planerskog i građevinskog posla. Do tada će eksperti u oblasti primene solarne energije u zgradama biti deo incijalne faze planiranja i projektovanja.

4.0. Uloga lokalne uprave

U većini gradova EU, koji su proteklih desetak godina uložili značajna sredstva u projekte koji se odnose na obnovljive izvore energije, lokalna uprava igrala je ključnu ulogu. Kada se došlo do instalisanja velikog broja PV sistema ovi gradovi imali su razrađene planove i strategije, koji su obezbedili njihovu uspešnu primenu i prihvatanje od strane lokalne zajednice. Oni su uključivali:

- striktnu lokalnu politiku koja obavezuje na zaštitu životne sredine i održivost;
- postojanje opštinskih odeljenja ili kancelarija koje se bave okruženjem, održivošću ili obnovljivom energijom;
- obaveze da nove i rekonstruisane zgrade (neke ili sve) uključe korišćenje obnovljivih izvora energije;
- prikupljanje informacija o mogućnostima primene obnovljivih izvora energije.

U pojedinim gradovima u kojima je incijalna pozitivna klima za primenu OIE dovela do uspešnih projekata, koji su imali pozitivne rezultate, povratne informacije su uticale na dalje političke odluke koje su vodile ka novim projektima. Ovaj pozitivni ciklus koji vodi ka novim projektima moguće je ostvariti samo sa dobrim i uspešnim projektima i uz političku podršku. Ovaj način rada odvija se uz pomoć povratnih informacija koji daju dovoljan broj podataka koji se odnose na uticaj na lokalnom planu (životna sredina, pozitivan uticaj na lokalnu ekonomiju, mogućnost zapošljavanja), državnim (smanjenje potrošnje energije), globalnom (klimatske promene) itd. Gradovi u kojima je postojala podrška lokalnih politika bili su glavni pokretači primene OIE.

To su, pre svega, Gleisdorf u Austriji, Gelzenkirchen u Nemačkoj, Lion u Francuskoj, HAL regija u Holandiji, Krojdon u Engleskoj. Ovi gradovi su imali vrlo aktivne opštinske stručne službe za zaštitu životne sredine i/ili održivost. Stručnjaci zaduženi za ovu oblast imali su ključnu ulogu u definisanju novog razvojnog područja OIE, koji su bili povezani sa odgovarajućim projektima zgrada. Projekti su imali finansijsku i političku podršku od strane lokalnih vlasti, ali takođe i podršku privatnog kapitala. Sve ovo je pozitivno uticalo na lokalnu ekonomiju, čiji je cilj bio

energija

da finansijske dobitke koristi za nove projekte obnovljive energije uz vođenje kontinualne političke podrške.

5.0. Mogućnost uključivanja stanovništva

Primena obnovljivih izvora energije u svetu je, tokom prethodnih godina, pokazala najveću efikasnost prilikom sprovođenja na lokalnom nivou. Vlade velikog broja evropskih zemalja su putem lokalnih vlasti počele sa sprovođenjem programa, čiji je cilj bio upoznavanje lokalnog stanovništva sa prednostima nekonvencionalnih vidova energije.

Prilikom sprovođenja ovakvih programa, nužna je prethodna edukacija stanovništva o prednostima primene OIE (smanjenje do tada izdvojenih sredstava za toplifikaciju, kompenzacija korišćenih energetskih izvora obnovljivim, povećanje kvaliteta života zbog smanjenja zagađenja životne sredine i sl.) putem sredstava javnog informisanja ili edukacijom na nivou centara zajednice naselja, objekata obrazovanja, propagandnim materijalom koji bi se distribuirao u okviru ciljnih područja i sl [6].

Osim toga, na lokalno stanovništvo može vrlo pozitivno uticati i činjenica da implementacija programa ovog tipa povećava lokalnu zaposlenost, što znači da se otvaranjem novih radnih mesta može poboljšati i njihov standard. S obzirom na to da je jedan od osnovnih načina evaluacije stavova stanovništva anketa, koja bi trebalo da podrazumeva makar i minimalna prethodna znanja stanovništva o datoj problematici, neophodno je fazu edukacije sprovesti neposredno pre anketiranja.

Rezultati koje je današnja praksa u EU evidentirala je da su stanovnici lokalnih zajednica u inicijalnim fazama sprovođenja programa uglavnom skeptični i nespremni za supstituciju tradicionalnih izvora energije (drvo i ugalj) obnovljivim, najčešće zbog činjenice da ih smatraju ekonomski nerentabilnim. Ovakvi rezultati su uglavnom uzrokovani nedovoljnom prethodnom edukacijom, koja ukazuje na komparativne prednosti ovog tipa snabdevanja energijom u odnosu na klasični.

Aktivna participacija lokalnog stanovništva i njihova mogućnost odlučivanja

u pogledu određenog izvora energije može imati veoma pozitivan psihološki efekat na celokupnu zajednicu i time omogućiti lakšu implementaciju određenog programa koji će se primeniti na datoj teritoriji. Upravo zbog rešavanja ovakvih problema potrebno je na lokalnom nivou sprovoditi programe permanentne edukacije iz ovih oblasti za sve pripadnike lokalnih zajednica. Motivisanost lokalnog stanovništva da učestvuje u ovim programima su jasno definisani konkretni ciljevi, koji daju rezultate u relativno kratkom roku. Ti rezultati ne moraju uvek da budu impresivni, ali aktivnosti koje dovode do njih su pažljivo planirane i svim učesnicima pružaju osećaj da se nešto dešava i da su oni akteri tih događaja. Rezultati se uglavnom odnose na finansijske pogodnosti, otvaranje novih radnih mesta, poboljšanje komfora stanovanja i rada i očuvanje životne sredine.

6.0. Studije slučaja

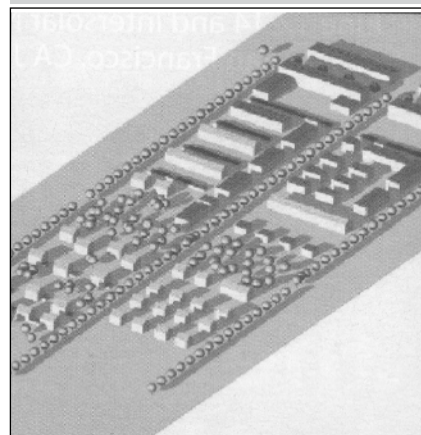
6.1. Gelzenkirchen

Nemački grad Gelzenkirchen je bivši industrijski grad koji je krenuo ka strukturalnim promenama. Poznat kao „Grad 1000 plamena” zbog uglja i rudarske industrije, rešio je da promeni imidž i postane prepoznatljiv kao „Grad 1000 sunaca” [7]. Ova održiva misija smišljena je da podstakne rešenost da se grad strukturalno promeni. Da bi ostvarili ovaj cilj lokalne vlasti su obezbedile:

- mrežu lokalne agende koja je povezala energiju i zaštitu životne sredine;
- obuku u školama u vezi sa zaštitom od klimatskih uticaja;
- solarno urbano planiranje;
- stalne konsultacije u vezi sa potrošnjom i štednjom energije;
- instaliranje solarnih sistema na javnim zgradama;
- okrugle stolove o solarnoj energiji;
- internet prezentacije.

U okviru ove misije na prvo mesto su

Slika 1 Gelzenkirchen-Bizmark, Plan osenčenja i vizualizacija



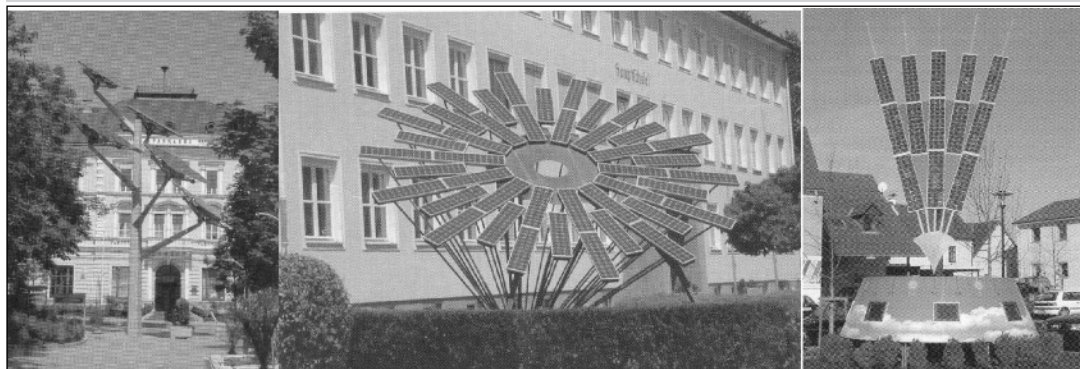
stavljene ekonomija i obrazovanje, uz stalno prećenje informacija o tome kakve koristi ima grad; uključeni su novi istraživački instituti čiji je cilj bio solarni razvoj; otvoreni su pogoni za proizvodnju solarnih ćelija i modula; uspostavljeni su različiti solarni sistemi na poslovnim, industrijskim i stambenim objektima; i kao jedna od opcija bila je obrazovanje usmereno na solarne tehnologije.

Planiran je novi solarni kvart na napuštenoj lokaciji bivše energane, koji uključuje stambene i poslovne objekte, trgovinu, komercijalne i rekreacione sadržaje. Postavljeni su visoki standardi koji se odnose na energetsku efikasnost, solarno urbano planiranje i primenu solarnih sistema. Kvart je predviđen za 2000 radnih mesta i 700 stanova.

6.2. Solarni grad Glajdsdorf

Solarni grad Glajdsdorf nalazi se u austrijskoj provinciji Štajerskoj. Glajdsdorf je poznat kao inicijator velikog broja projekata primene solarne energije. Projekti su uključivali i razvoj, monitoringe, analize rezultata i korišćenje povratnih informacija u daljem radu na projektu. Izvedeni su mnogi projekti kao što su solarno stablo, „solarni energetski put” i multifunkcionalni fotonaponski sistem postavljen duž autoputa, koji

Slika 2 Solarno stablo, solarni točak, solarni sat samo su neki od pokušaja vizualizacije urbanih solarnih instalacija u Glajdsdorfu, Austrija



ujedno štiti grad od buke [8].

Počevši od 1991. god. u preko 150 različitih projekata, na različitim lokacijama, instalirano je oko 350 kWp korišćenjem PV sistema. Gradska PV centrala snage 10.44 kWp na krovu kompanije Feistritzwerke-Steweag GmbH bila je prva centrala takve vrste u Austriji. Odluku o njenoj gradnji doneli su akcionari 1995. god. Ovaj projekat je pružio mogućnost širem krugu ljudi da se uključe u programe zaštite životne sredine, finansirajući izgradnju solarne elektrane. U početku prodaja akcija je išla sporo, ali je učinjen veliki napor od strane rukovodioci projekta, koji su kroz dobru reklamnu kampanu i upoznavanje javnosti uspeali da zainteresuju lokalno stanovništvo, tako da je oko 2500 ljudi bilo obavješteno o prednostima primene fotonaponskih tehnologija. Prodato je 68 akcija što je iznosilo oko 80% od ukupne cene solarne centrale. Ostatak od 20% finansiran je iz programa Feistritzwerke kompanije.

Solarno stablo – novi simbol Glajsdorfa – izgrađeno je 1998. god. Visoko je 17.3 metara i sastoji se od 12,700 kg masivnih čeličnih skulptura u obliku drveta sa pet grana koje drže 140 solarnih panela. Stablo se nalazi u „solarnoj ulici” dugoj 3-5 km u kojoj ima još oko 80 objekata sa PV sistemima, kao što su javni solarni sat, reklamni bilbordi, ulično osvetljenje itd. Drvo proizvodi oko 6650 kWh električne energije godišnje koja osvetljava 70 gradskih ulica u samom centru Glajsdorfa. Cilj ovog projekta bio je da podstakne „solarnu svest” i da, u okviru jednog projekta, poveže umetničke elemente, solarnu tehnologiju, gradsku organizaciju i planiranje.

Gradska uprava primenjuje i podržava mnoge programe OE i blisko saraduje sa programima kompanije Feistritzwerke, proizvođačem solarnih sistema. Doneta je odluka o obaveznoj ugradnji PV sistemi, temelnih solarnih kolektora i postrojenja za biomasu u novim javnim zgradama. Takođe je obavezno da se prilikom rekonstrukcije postojećih javnih zgrada koriste programi koji uključuju obnovljivu energiju.

6.3. Studija slučaja: Lion, Francuska

U centru francuskog grada Liona nalazi se poluostrvo koje formiraju dve gradske reke. Lionski sliv je ime južnog dela ovog poluostrva. Dugo vremena, ono je važno za industrijski i transportni centar. Ovaj prostor sada doživljava radikalne promene, čime će se centar Liona udvostručiti. Plan je rađen za narednih trideset godina i uključuje više od 1.200.000 m² novih objekata, i to stambenih, komercijalnih, komunalnih,

objekata kulture, kao i obnovu skoro 60.000 m² postojećeg građevinskog fonda [9].

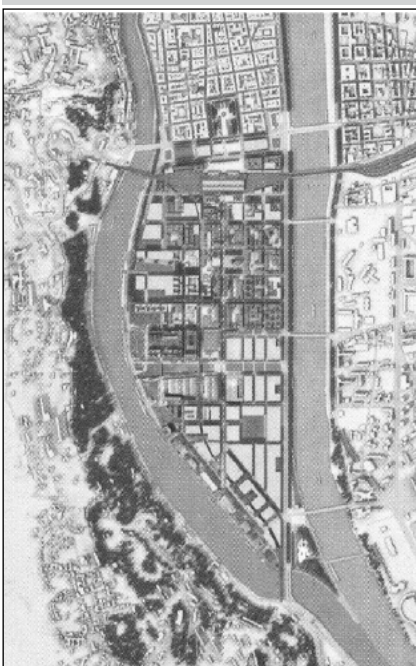
Upotreba obnovljivih izvora energije nije inicijalno bila deo plana, ali nova opštinska vlast, izabrana 2001. god. je donela značajne predloge u pogledu održivosti. 2003. god. urađena je studija zaštite životne sredine koja je zaključila da su osnovne mane planskog dokumenta nedostatak tretiranja pitanja energetske efikasnosti i upotrebe obnovljivih energetskih izvora.

U nameri da ovo ispravi, osnovana je kooperacija privatne firme i opštinske uprave, koja je bila zadužena za urbanističko planiranje, sa ciljem da okupi lokalne eksperte koji bi predložili ideje kojima bi se definisala energetska strategija projekta.

Trenutno se projektuju i realizuju tri stambena i stambeno-poslovna bloka sa ekološkim zgradama koje su opremljene uređajima za korišćenje obnovljivih izvora energije, koje se pridržavaju osnovnih arhitektonskih, ekoloških i standarda energetske efikasnosti. Objekti će biti opremljeni solarno-termalnim sistemima i fotonaponskim panelima. Fotonaponski paneli stvaraju oko 80 kWp u bloku A, 100 kWp u bloku B i 50kWp u bloku C.

Tokom dvogodišnjeg perioda, organizovan je veći broj sastanaka i radionica kako bi se pomoglo arhitektama, projektnim biroima i investitorima da privedu kraju projektovanje objekata. Diskusije su prvenstveno bile fokusirane na omotače objekata, u cilju dostizanja energetske efikasnosti bez značajnijeg uticaja na projektovanje i izgled objekta.

Slika 3 Lion-Sliv: Urbanistički plan



7.0. Stanje u Srbiji

Iako je na većini teritorije Srbije broj sunčanih dana znatno veći nego u mnogim evropskim zemljama (preko 2000 časova), zbog visokih troškova PV panela, intenzivnije korišćenje ovog i drugih obnovljivih izvora energije zavisice prevashodno od društvenog podsticaja i regulatornih i stimolativnih mera. U tom svetlu, bez obzira na značajno poboljšanje tehnološkog stanja i operativnih performansi energetskih proizvodnih postrojenja i objekata, u narednom kratkročnom periodu, sigurnost i ekonomičnost snabdevanja privrede i građana električnom i toplotnom energijom može se obezbediti pre svega uspešno sprovedenim programima tehnološke modernizacije proizvodnih objekata, a zatim programima za racionalnu upotrebu energenata i povećanje energetske efikasnosti od proizvodnje do mesta potrošnje, uključujući i programe za intenziviranje selektivnog korišćenja novih obnovljivih izvora energije, kojima Srbija objektivno raspolaže [10].

Investiranje u obnovljive izvore energije još uvek nije oblast koja je dobila značajnije mesto u privrednom i energetskom razvoju Srbije. Razlozi za to su, pre svega, još uvek relativno jeftina električna energija, nedovoljno poznavanje problematike kako stručnjaka, tako i javnosti sa prednostima korišćenja obnovljivih izvora energije, nepoznavanje tehnologija, nepostojanje ekonomskih i ekoloških pokazatelja o faktorima koji bi uticali na njihovu širu primenu, kao i komparativnih analiza, koje bi govorile o vremenu isplativosti uvođenja ovih tehnologija i ekološkim efektima, zatim još uvek relativno visoka početna ulaganja za uređaje i instalacije ili gradnju kuća koja koriste ove energetske izvore, itd.

Preduslov za primenu obnovljivih izvora energije u planiranju i implementaciji je strateški i političko-legislativni ambijent, kojim se stvaraju preduslovi za primenu i investiranje u zelenu energiju. Strategija razvoja energetike do 2015. Energetskom politikom Srbije predviđeni su i novi zakonodavni, institucionalni, strukturno-organizacioni i ekonomsko poslovni okviri i vizije o uključenju energetike Srbije u regionalne i panevropske integracije [11].

Narušena ekonomije Srbije, sa vrlo niskim društvenim proizvodom, skoro najnižim u okruženju i višestruko nižim nego u razvijenijim zemljama centralne i istočne Evrope, opterećena je ne samo velikom, već i neracionalnom potrošnjom energije, posebno električne,

čije se potrebe tokom zimskog perioda pokrivaju svakodnevnim uvozom iz susednih zemalja. Trenutna zavisnost Srbije od uvoznih energenata iznosi 43%, a procenjuje se da će u narednom periodu rast potrošnje energije pratiti očekivani privredni rast, što će Srbiju dovesti u još nezavidniji položaj. Imajući u vidu procene da bi uvoz nafte u Srbiju 2020. godine mogao da dostigne 4,7 miliona tona, dalje povećanje energetske zavisnosti predstavljalo bi, naime, ozbiljan teret privredi.

Srbija ima dobar potencijal za proizvodnju obnovljive energije, koja bi mogla da doprinese smanjenju zavisnosti zemlje od uvoznih energenata, pre svega nafte, i umanjuje efekat staklene bašte kao posledice emisije štetnih gasova. Uprkos tome, ovdašnja proizvodnja obnovljivih goriva do sada je bila zanemarljiva. Razvoj obnovljivih izvora energije kasni, pre svega zbog nedovoljnih državnih podsticaja i nepotpune regulative. Zato je neophodno naći rešenja održivog ekonomskog razvoja, uz stabilnu energetska politiku, odnosno, angažovanje unutrašnjih resursa kakvi su obnovljivi izvori energije. Uz stabilizacioni investicioni ciklus, u Srbiji bi se udeo u proizvodnji energije iz obnovljivih izvora u visini do 10% mogao postići do 2012. godine, uz smanjenje emisije gasova staklene bašte, ugljen-dioksida pre svega, za 5%, što je inače planirani cilj za EU.

8.0. Idejni projekat solarne fotonaponske elektrane na zgradi opštine Vračar

Elektrotehnički fakulteta Univerziteta u Beogradu izradio je idejni projekat solarne fotonaponske elektrane na zgradi Skupštine opštine Vračar. U izradi projekta učestvovali su Institut za arhitekturu i urbanizam Srbije i Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu. Naučnoistraživački projekat implementacije solarne fotonaponske elektrane na krovnoj površini zgrade skupštine opštine Vračar je prijavljen u okviru programa Nacionalnog Investicionog Plana Srbije za 2008. godinu pod nazivom „Solarna elektrana”. Cilj naučnoistraživačkog projekta solarne fotonaponske elektrane na zgradi skupštine opštine Vračar je projektovanje, eksploatacija, praćenje u radu i promovisanje korišćenja obnovljivih i ekoloških izvora električne energije u gradskim sredinama [12].

Projektna dokumentacija je napravljena u skladu sa Zakonom o planiranju i izgradnji: tehničko-tehnološke i eksploatacione karakteristike solarne elektrane; tehničko-tehnološki i organizacioni elementi izgradnje solarne elektrane; idejno rešenje solarne elektrane; upored-

na analiza varijantnih tehničkih rešenja sa stanovišta svojstava mikrolokacije; funkcionalnost i stabilnost; procena uticaja na životnu sredinu; racionalnost izgradnje i eksploatacije.

Zgrada na kojoj će solarna elektrana biti postavljena se nalazi u širem centru grada, u gusto naseljenom urbanom tkivu. U neposrednoj blizini zgrade se nalaze dve zgrade iste visine i oblika. Pored njih, u okolini nema zgrada ili objekata iste visine, što ima dve posledice: zgrada opštine je podložna većim brojem udara gromova od svoje okoline, dok je pozitivna strana što nijedan objekat tokom godine ne pravi senku na krovu zgrade, gde se postavlja solarna elektrana.

Zgrada skupštine opštine Vračar se nalazi na 44°48' severne geografske širine i 20°28' istočne geografske dužine. Krovna površina je kvadratnog oblika, 18,6 m x 18,6 m.

Solarna elektrana kao svoje "pogonsko gorivo" koristi energiju sunčevog zračenja, pa je samim tim opravdano praćenje i sagledavanje potencijala tog goriva. U okviru projekta izgradnje solarne elektrane je predviđeno i postavljanje merne opreme za praćenje sunčevog zračenja.

Beograd prosečno ima oko 2019 sunčanih sati godišnje (godina dana ima 8760 sati). Za područje Beograda optimalan ugao za postavljanje solarnih panela je 44° (što odgovara geografskoj širini), da bi se dobila optimalna proizvodnja tokom cele godine. Ali, da bi se proizvodnja maksimizovala u vidu veće proizvodnje električne energije, potrebno je solarne panele postaviti pod uglom 35°, čime se ugao prilagođava letnjem periodu i maksimalno iskorišćava taj period povećanog zračenja. Sa druge strane, bitna je i orijentacija panela. U bilo kom slučaju i u bilo kojoj sezoni najbolje je orijentisati fotonaponske panele prema jugu, ako je moguće. Zbog konfiguracije krovne površine zgrade opštine Vračar nije moguće orijentisati panele direktno ka jugu, već oni prate orijentaciju

zgrade. Sagledavajući konkretne uslove, predloženo je više varijantnih rešenja. Prosečna površina solarnih panela je oko 110 m² koji bi mogli godišnje da proizvedu oko 14 MWh električne energije i predaju elektrodistributivnoj mreži oko 11,9 MWh.

8.1. Zakonski okvir

Solarna elektrana, koja bi bila u vlasništvu skupštine opštine Vračar, bi se na tržištu električne energije predstavila kao proizvođač. Razlika između konvencionalnih proizvođača i proizvođača koji koriste obnovljive izvore energije postoji, i definisana je zakonom.

U Zakonu o energetici iz 2003. godine se definišu povlašćeni proizvođači električne energije kao proizvođači koji u procesu proizvodnje električne energije koriste obnovljive izvore energije ili otpad, ili proizvođači koji proizvode električnu energiju u elektranama, koje se u smislu ovog zakona smatraju malim elektranama.

Povlašćeni proizvođači električne energije imaju pravo prioriteta na organizovanom tržištu električne energije u odnosu na druge proizvođače koji nude električnu energiju pod jednakim uslovima. Povlašćeni proizvođači električne energije imaju pravo na subvencije, poreske, carinske i druge olakšice, u skladu sa zakonom i drugim propisima kojima se uređuju porezi, carine i druge dažbine, odnosno subvencije i druge mere podsticaja.

Male elektrane su elektrane snage do 10 MW. Male elektrane mogu biti priključene na distributivni sistem i imaju pravo da proizvedenu električnu energiju prodaju preko distributivnog sistema. Izgradnju malih elektrana i proizvodnju električne energije u tim elektranama mogu vršiti pravna lica i preduzetnici.

U Strategiji razvoja energetike Republike Srbije do 2015. godine se kao treći-posebni prioritet navodi korišćenje novih obnovljivih izvora energije i novih energetska efikasnijih i ekološko prihvatljivih energetska tehnološkija i uređaja/opreme za korišćenje energije.

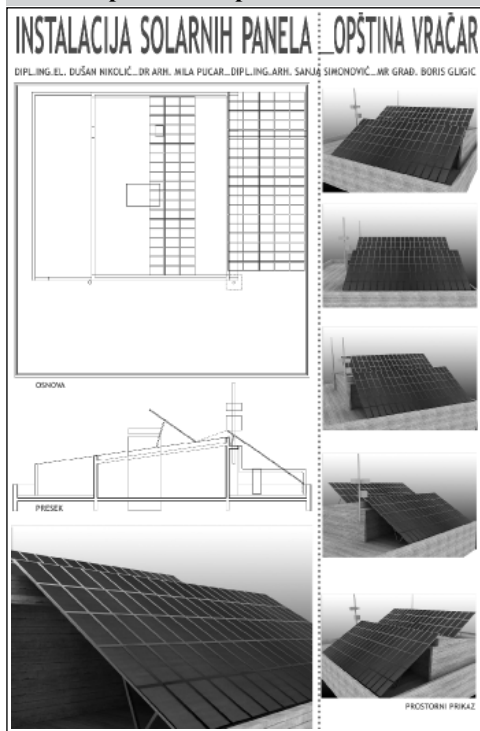
Zakon o energetici definiše uvođenje subvencija za obnovljive izvore energije, ali se još uvek čeka na odluku Vlade koliko će te subvencije iznositi u našoj zemlji.

8.2. Mere za sprečavanje ili smanjenje negativnih uticaja na životnu sredinu

Slika 4 Snimak bliže okoline zgrade Gradske opštine Vračar



Slika 5 Idejno rešenje instalacije solarnih panela na opštini Vračar



Tokom normalne eksploatacije solarne elektrane ne postoje negativni uticaji na životnu sredinu (sistem je bežuman, ne odaje ikakva zračenja ili štetne emisije u atmosferu). Čak i u havarijskim režimima, elektrana ne prouzrokuje ikakve smetnje. Faktor vizuelnog narušavanja ambijentalne sredine je minimalan ili nepostojeći, budući da je zgrada opštine Vračar najviša u okolini, pa se sa tla ili sa drugih, okolnih i nižih zgrada solarna elektrana gotovo neće ni primećivati. Negativni uticaji solarne elektrane na životnu okolinu su minimalni, ili u nekim slučajevima nepostojeći, pa se ne oseća potreba za uvođenjem mera za njenu zaštitu. Osnovna svrha solarne elektrane je proizvodnja „zelenе energije”.

Poređenja radi, da bi se dobio 1 kWh iz konvencionalne, termoelektre na uglj, u atmosferu se ispušta do 1kg CO₂ i drugih toksičnih i štetnih gasova. Da bi se tako proizvedena električna energija prenela do distributivnih konzuma širom zemlje, jedan njen deo se usput izgubi. Pored toga zahteva se građenje stubova, kao i širenje dalekovodne mreže. Posle toga električna energija se predaje distributivnom preduzeću. To preduzeće prenosi električnu energiju do krajnjeg potrošača, opet praveći gubitke tokom tog prenosa. Distributivna mreža se gradi kao nadzemna, pri tome praveći smetnje u vidu stubova i distributivne mreže, ili kao podzemna, u urbanim sredinama, pri čemu se zahteva kopanje kanala za postavljanje kablova. Na kraju, od celokupne proizvedene ener-

gije do krajnjeg korisnika stigne umanjen deo.

Sam proces proizvodnje električne energije u solarnoj elektrani je u potpunosti ekološki i bez ikakvih štetnih uticaja po čovekovu okolinu. Takođe, energija koja je potrebna potrošačima se lokalno proizvodi, pa nije potreban njen prenos sa daljine, što znači da nisu potrebni stubovi i dalekovodi koji uzurpiraju životnu sredinu.

Može se zaključiti da su ekološke prednosti (sa strane proizvodnje zelene električne energije) i energetske prednosti (sa strane nepotrebnosti prenosa energije na daljinu) dovoljne da se uoči prednost ovakvog načina proizvodnje električne energije nad konvencionalnim.

9.0. Zaključak

Srbija bitno zaostaje za razvijenim zemljama u pogledu odnosa prema obnovljivoj energiji. Ona je veliki uvoznik energije, tako da će u budućnosti morati da pokloni više pažnje racionalnom korišćenju energije i primeni OIE. Naša zemlja se mora hitno uključiti u razvoj i primenu OIE, jer je potrebno puno godina, dok inovacije s područja energetike počnu da se primenjuju u praksi. Zato treba ustanoviti težišta za sistematsko istraživanje i demonstraciju primene obnovljivih izvora energije. Zatim bi trebalo obezbediti obuku kadrova na visokom naučno-tehničkom nivou.

Da bi se uopšte pokrenula bilo kakva inicijativa na lokalnom nivou, potrebno je da iza svega stoji država, sa svojom opštom strategijom razvoja, i strategijom razvoja energetike, zakonima, poreskom politikom, administrativnim i finansijskim olakšicama, kao i tehničkom podrškom, kojima bi se stimulisale inicijative za primenu programa energetske efikasnosti i lokalnih i obnovljivih izvora energije.

Preuslov da se obnovljiva energija prihvati na širem planu su brojne akcije koje obuhvataju rad sa javnošću kroz programe permanentne edukacije. Cilj je da se na širokom planu prihvati ideja o prednostima primene obnovljivih goriva u Srbiji (ekonomske i ekološke prednosti). Za ove akcije potrebna je jaka vladina politika koja donosi propise o delimičnom oslobađanju poreza na proizvodnju i primenu proizvoda koji doprinose racionalnoj potrošnji energije.

Jačanje fokusa prema organizacijama koje koordiniraju ove poduhvate, zatim privatnih i javnih preduzeća, kao i akcije vlasti npr. grupa organizacija koje

podržavaju razvoj, finansiranje i koordinaciju između stakeholder-a (razne vrste industrija, biznisa, vlade, univerziteta i istraživačkih instituta i korisnika usluga). Kao potrebne preduslove za veću proizvodnju i efikasnije korišćenja OIE su jaka administrativna struktura i efikasna procedura, kao i politička volja da ovaj segment privrednog razvoja dobije povlašćen položaj u odnosu na fosilna goriva.

Pretpostavke ostvarenja prednosti obnovljivih goriva su stabilno političko i ekonomsko okruženje, jer se radi o dugoročnim ulaganjima. Neophodna je pre svega transparentnost i predvidivost načina određivanja cena, kao i institucionalni razvoj, s ciljem da se omogući da maloprodajna cena bude prihvatljiva za potrošače.

10.0. Literatura

- [1] Pucar, M., Svetska i domaća iskustva u planiranju i primeni obnovljivih izvora energije, Monografija: IAUS, Beograd, juni, 2002. str. 209-225.
- [2] Pucar, M: »Racionalna potrošnja energije i primena obnovljivih izvora energije kao uslovi održivog razvoja naselja u Srbiji«, Savetovanje: Principi i praksa održivosti u razvoju naselja u Srbiji, Udruženje urbanista Srbije, Kosjerić, 2000. str.253-278.
- [3] Pucar, M: “BIOKLIMATSKA ARHITEKTURA – zastakljeni prostori i pasivni solarni sistemik», Monografija, Posebna izdanja IAUS, br. 45, avgust, 2006.
- [4] Munro, D.: Going to town, Part one-planning to increase the urban uptake, Renewable Energy World, Vol.11, No.2, 2008.
- [5] Munro, D.: Urban PV up-scale, Renewable Energy World, Vol.11, No.3, 2008.
- [6] Nenković, M., Pucar, M.: Učešće javnosti u implementaciji programa

uvođenja obnovljivih energetske izvora u Srbiji, Međunarodno savetovanje u organizaciji Saveza energetičara ENERGETIKA 2006, Zlatibor i rad u časopisu Energetika, 2006, str. 199-205.

- [7] Lindner, S. of Ecofys: Case study-Gelsenkirchen, Nemačka, 2008.
- [8] Suna, D., Schiener, Ch. of EEG: Case study: Solar City-Gleisdorf, Austrija, 2008.
- [9] Gaidon, B. of HESPUL: Case

study-Lyon-Confluence, Lyon, Francuska, 2008.

- [10] Pucar, M. "Korišćenje lokalnih izvora energije -preduslov regionalnog razvoja", Zbornik radova: UUS, Regionalizacija Srbije i Crne Gore Put u evropske integracione procese, Kragujevac, 2002. str. 145-156.
- [11] Pucar, M., Nenković M.: "Sustainable development, energy efficient buildings and renewable energy sources – legislative, institutions and application in Serbia", International Conference – Sustainable building 2007, South Europe, Torino, Italy, 7-9 june, 2007. Proceedings, str. 241-246.
- [12] Solarna elektrana, Idejni projekat za zgradu Opštine Vračar, Elektrotehnički Fakultet Univerziteta u Beogradu, 2008.

Radinko Gligorijevic, Jeremija Jevtic, Djuro Borak,
IMR-Institute, Beograd

UDC: 662.756.3.001/002

Biomass into Biofuels as the Chance to Reduction of Energetic Dependence and Increasing Work Jobs

Abstract

Today's lifestyle depends greatly on access to a reliable, affordable and sustainable transport system. The transport sector is one of the most energy consumer, and one of the significant producers of the CO₂ and pollutant emissions. Regardless of the effect of speculation in energy markets and commodities, it is clear we have entered an era where cheap energy no longer exists. The explosive growth in price of crude oil, limited sources and negative effect on environment by pollution and greenhouse effect has imposed increasingly use alternative sources globally.

Alternative fuels offer the potential to stretch the resources of conventional fossil fuels, and the chance that we leave the mineral oil before it leaves us.

Due to constantly increasing environmental pressure towards lower energy consumption and reduced CO₂ and exhaust emissions, it will be necessary to promote the transition towards second generation biofuels –from lignocellulosic biomass. It is chance for developing countries, as well as for Serbia, which have their economies based on agriculture, but suffer from low agricultural product prices, and unstable agricultural systems.

From this aspect paper deal width some aspects of biofuels.

Introducing

Being mobile is a basic need of mankind. Normally a one per cent increase in capital wealth means a one per cent increase in CO₂ emissions. In the past two decades we could observe a rapid increase in mobility trough the world. While increasing traffic is an implication for the growth of a region's economy it also implies major challenges for industry, politics and society. First, in many densely populated areas the transport infrastructure is now reaching the absolute limits of its capacity and performance. Second, the shortness of non-renewable researches like mineral oil makes it essential to budget carefully. Third, road transport traffic is responsible for a significant percentage of the worlds CO₂ and pollutant emissions.

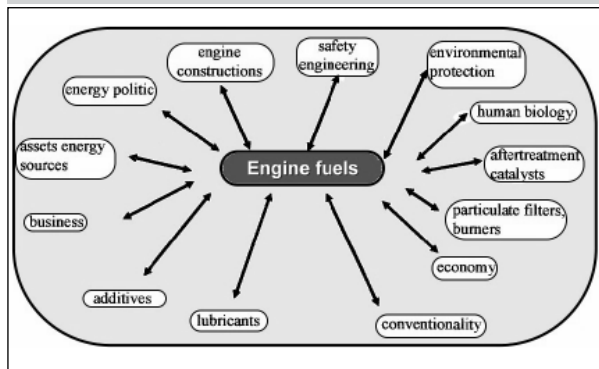
The growth in the number of vehicles worldwide has led to in increase global

energy consumptions, and air pollution and CO₂ emission from the transport sector. Road transport is the second largest greenhouse gas contributor in the EU. The most important primary energy source is crude oil (37%). Transport sector accounts more than 30% of total energy consumption. Global demand for fuels has increased steadily by around one per cent a year for the past five years.

Quality of nowadays engine fuels is affected by numerous parameters (*fig. 1*).

Currently practically 97% of transportation fuels are produced from crude oil. The nearly total dependence on fuels from crude oil is clearly not ideal. Increasing demand for transportation fuels that causes high price of crude oil and its derived products as well as dwindling OPEC spare capacity and concern over current bio-fuel feed-stocks competing with food production is pressing

Figure 1 Parameters affecting the type and quality of engine fuels



the industry to find alternatives. It is estimated /1/ that between 2000 and 2030 energy demand for passenger transport (EU) will increase by 14%, whereas freight transport will increase by 74%. It means a strong increase in the need for middle distillate fuels for transportation, diesel fuel mainly for road transport (51%).

The growing global energy consumption cannot be covered only by conventional and limited fossil sources. "We should leave the oil before it will leave us", said F. Birol, chief Economist of Int. Energy Agency /2/. It means that it is necessary to find new energy and fuel sources globally. Alternative fuels offer the potential to stretch the resources of conventional fossil fuels. Due to constantly increasing environmental pressure towards lower energy consumption and reduced CO₂ and exhaust emissions, it will be necessary to promote the transition towards second generation biofuels –from lignocellulosic biomass, which will be produced from a wider range of feedstock and will help to reduce costs of "saved" CO₂. Also, it will be necessary to transform into biomass fractions that are presently discarded and to make the best use of the whole plant.

Biomass means the biodegradable fraction of products, waste and residues from agriculture (including vegetal and animal substances), forestry and related industries, as well as biodegradable fraction of industrial and municipal waste.

Biofuels production represents a major opportunity for European economy, because by 2030, up to one-fourth of the EU's transport fuel needs could be met by clean and CO₂ – efficient biofuels.

Increased use of biofuels will have **direct and indirect** employment effects. A study by the European Renewable Energy Council /3/ estimates that meeting the EU goal for renewable

energy for 2010 will result in a growth in net employment in biofuel sector of 424 000 jobs. An indirect effect could be the multiplier opportunities which could increase the direct effect.

Developing innovative technologies **can secure new jobs in rural areas, but also within industrial companies.**

The employment balance of biofuels is estimated to be about 16 jobs per ktoe, nearly all in rural areas. It is estimated that each 1% proportion of biofuels in total fossil fuel consumption will create between 45 000 and 75 000 new jobs in rural areas. Biomass should be produced and used where it is economically most viable. The approach would give opportunities to developing countries, as well as for Serbia, which have their economies based on agriculture, but suffer from low agricultural product prices, and unstable agricultural systems.

Now, in Serbia, for the biodiesel (FAME) production is installed equipment capacity of 145 000 t/yr. These facilities can provide 16 860 t biodiesel on the millions of inhabitant, which is 50% of the average available capacity in EU. However, production of biodiesel is practically stopped. National strategy is needed for the production of biofuels and stimulated measures, as for the production of biofuels as well as for using biofuels. Procedure regulation for mixture of biofuels and mineral oil are needed. Mixture must be mandated as in EU.

Feedstock for alternative fuels

It is known that EU goal is 10% of biofuels in mineral fuel. Assessment that total consumption of fuels (gasoline + diesel) in EU in 2020 will be about 17.5 Mtoe means that 1.75 Mt of biofuels will be on fuel market. On the under hand it means that to be met by domestic biomass would require 17.5 million hectares or

15% of the total arable land in the EU. Therefore, without second generation of biofuels it is impossible to achieve this goal of 10%, but it is question which type of biofuels would be the best for the market.

Nowadays the demand for alternative fuels is driven by the need to reduce dependence on mineral oil, support the rural economy and minimize CO₂ and pollutant exhaust emissions from the ever growing transport sector. Sustainable fuels can be produced using a large variety of different feedstock. In general, distinctions can be made between:

1. Oil crops (fig. 2),
2. Starch or sugar crops (mains, grain, sugar beet, sugar can, etc);
3. Lignocelluloses (straw, wood, miscanthus, corn stover, etc),
4. Other row material like organic residues and waste products (manure, sludge, animal fat, etc).

Nowadays we are talking of two production generations of alternative fuels (Fig.3): **the 1st generation** and the **2nd one** bio-fuel- fully synthetic based on biogenic energy [4].

Energy crops should be grown predominantly on unfertile soils where no food production is possible. Volume of today's available biofuels less then targeted, as feedstock is limited by competition with land used for food production and low yields of energy crops in some regions

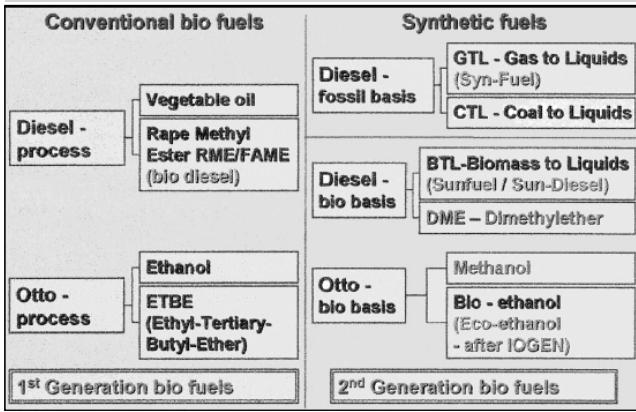
Biomass conversion technologies

Different feedstock's demand also different processes parameters have

Figure 2 Oil crops for biodiesel production

		Rapeseed Oil
		Soya Oil
		Palm Oil
		Sunflower Oil
		Jatropha Oil
		Recycling Plant Oil

Figure 3 Production generations of alternative fuels



to changed and controlled. Production technologies for 1-st generation biofuels are relatively known. Figure 4, shows the production of biofuels from vegetable oils. First generation of biofuel has numerous disadvantages

(unsaturated bonds, ester bonds, high price, and insecure feedstock basement). In order to eliminate these disadvantages EU biofuel strategy contains the need for the research development of commerialization of the second generation biofuels.

Advanced conversation technologies are needed for second generation biofuels.

As for as production technologies of 2-nd generation biofuel, it can be said that, there are two principal routes for production of 2-nd generation biofuels: **thermo-chemical** (fig.5) and **bio-chemical** (fig. 6) respectively.

Gasification of lingocellulosic biomass is a promising technology for a long-scale production of kerosene, DME and diesel-type fuels.

We can see that there are two different routes for the bio-chemical conversion via saccharification of celluloses feed-stocks and fermentation to ethanol or by anaerobic digestion to methane (biogas). There are too long time between science and technology development and market implementation.

Priority in research and implementation works is development of thermo-chemical and biological systems of lignocellulosic biomass conversion. It is necessary to elaborate technologies and to build bio-refineries for biofuels and chemical material production. It means that biofuels production can contribute to the creation of new jobs. It is very important that biofuels production can contribute to development of the agrindustry. Also, it is very important a technology strategy for biofuels should be established.

Figure 4 The production of biofuels from vegetable oils

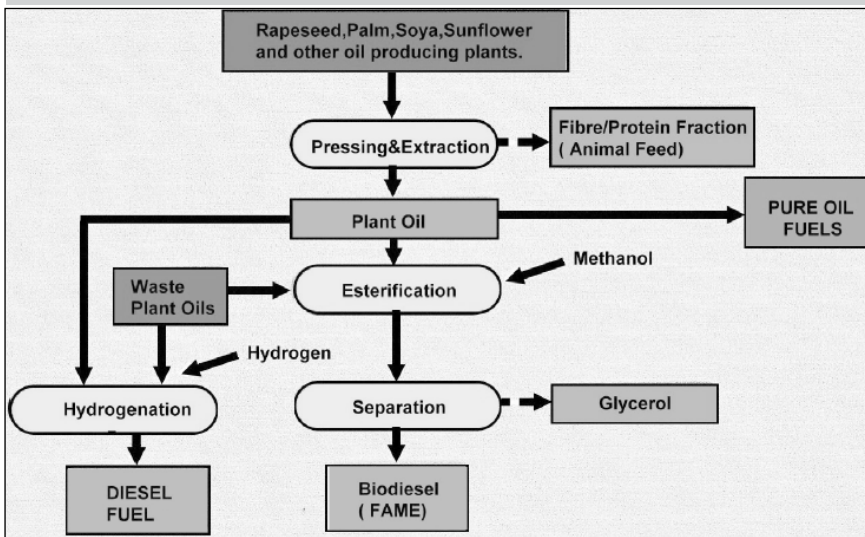
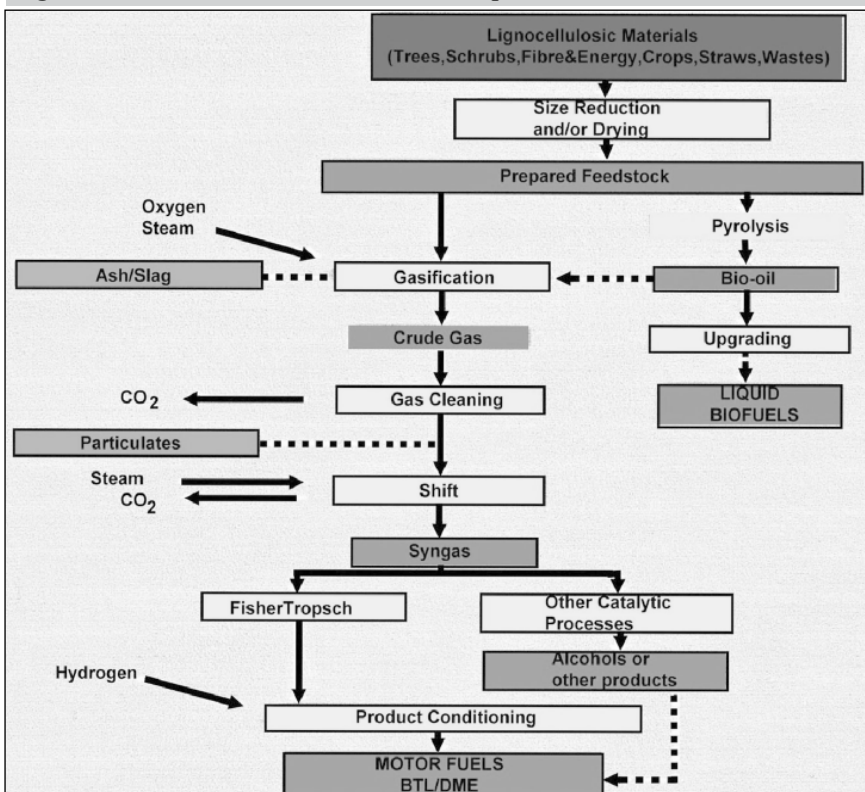


Figure 5 The thermo-chemical routes to liquid biofuels



Barriers in application of alternative fuels

The fuels of the future will depend upon both the direction of developments in energy technology and the goals of the legislations. Diversification of primary energy does not mean a different kind of fuel. The majority of powertrains in 2030 will require liquid fuels, although their C/H ratios and molecular composition might have evolved from today fuels.

There are economical and technical barriers in application of alternative fuels.

Insufficient quantities are significant **economical barriers** in using biofuels (fig. 7)

Technical barriers are very important in application of alternative fuels.

- The **first barrier** is **technologies of different fuel production**. These

Figure 6 The bio-chemical routes to liquid biofuels

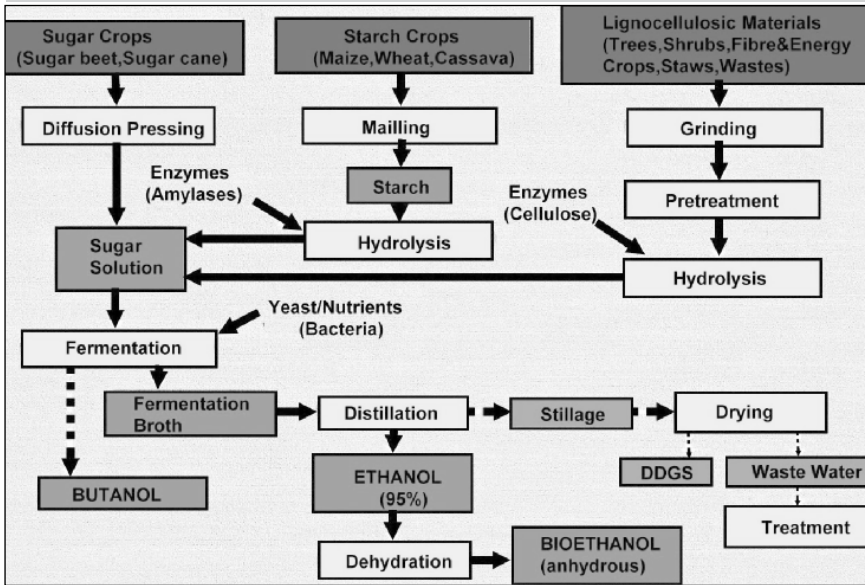



Figure 7 Advantages and shortcomings of alternative fuels

Characterising of different biofuels

> biodiesel, ethanol

- presently available in small amounts
- necessary for meeting the EU-biofuel directive
- preferential usage as a blend going along with existing standards
- small yield per hectare (only use of fruit)



1. generation **2. generation**

> BTL (SunFuel®), cellulose-ethanol (e.g. IOGEN)

- huge CO₂-reduction potential (upto 95%)
- high yield per hectare (BTL > 3100 l/ha diesel equivalent)
- BTL-designerfuel for new technologies (CCS)
- no competition with food production (logen)
- waste utilisation (e.g. straw at logen)


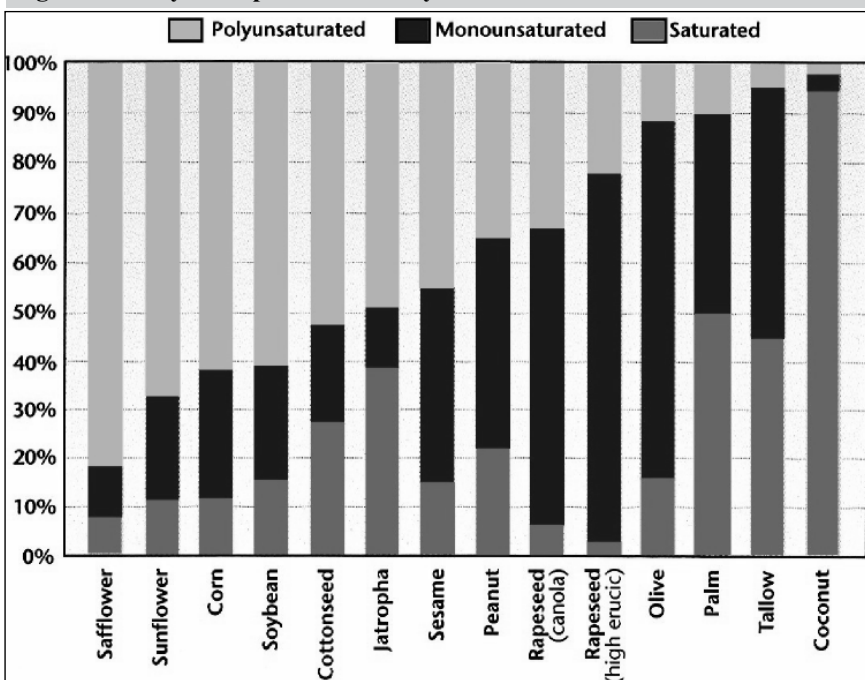


Figure 8 Fatty acids profile of variety of feedstocks



technologies should be readjusted to feedstock, for instance to sugar in relation to bioethanol or other than rapeseed oil fatty acids in case of FAME. Production of second generation biofuels requires modern technologies.

- **Another technical barrier is distribution system** of alternative fuels.
- Next, fuels blending require special procedures and should be done out of refineries.
- Mixtures of mineral fuels and biofuels can **not be storage longer than few months**, due to **bad oxidation stability**. The primary feedstocks for biodiesel (FAME) are different bio oils (fig.8). For example, sunflower and soyabean oils, which have a high level of polymerization, are much susceptible to oxidation than more saturated oils, such as palm.

The consequences of oxidation are firstly that, for example, biodiesel decomposes to form short-chain fatty acids (such as butyric acid) and secondly that insoluble polymers (gums) are formed. Polymers can may damage the engine and the fuel-injection system /5, 6/. For this reason in biodiesel a stabilizer- antioxidant (natural vitamin E) must be added.

- Interactivity between biofuels (biodiesel) and lubricating oil **shortens life**.
- Biofuels are **incompatibility with some elastomers (seals) and paints**.
- Easier water absorption causes **problems of microbiology nature (rancidity –unpleasant odor) and cold start**. Uncontrolled growth of micro organisms can on one hand damage the equipment and the other hand to clogged filters, poor engine performance and increased corrosion.

Fuels requirements define vehicle constructors and producers, who simultaneously guarantee of durability and reliability of engines supplied of proper fuels. According to World Wide Fuel Charter (WWFC) there is restriction of biocomponents implementation:

1. Limit of implementation of gasoline oxygen compounds like ethers and ethanol and higher alcohols with ban on methanol implementation to fuel at the same time. Maximum permissible ethanol content with demands according to ASTM D 4806 and pH in scope of 6.5-9 for 10% (v/v) and higher alcohols (C₂ and higher) not more than 0.1% (v/v);
2. In 1 to 3 categories of diesel oils, WWFC limit of plant-derived esters

content, mainly FAME with EN 14214, ASTM D 6751 or equivalent standards to 5% (v/v).

As for as biofuel market requirements, they should be found on market in enough amounts and be cheap in sale and they should more reduce of dangers for environment than fuels used so far. For that reason legislation promoting biofuels could be based on tax incentives currently biofuel tax incentives (in EU) or quotas do not differentiate biofuels based on their CO₂ balance. It is very important that bio-residues from forestry, agriculture and other sectors are not classified as waste but are considered as a potential feedstock for fuel.

Conclusions

Based on the presented material it can be said that:

1. The fuels of the future will depend upon the direction of developments in energy technology and the goals of the legislations.
2. Biomass is high potential for biofuels production, especially for 2-nd generation biofuels-from lignocellulosic biomass.
3. There are many alternative types of biofuels and production processes.
4. Biofuels development will create opportunities for biomass providers, biofuel producers and automotive industry, which is the main moving power of world economy.
5. A technology strategy for biofuels should be established.
6. Biofuels from biomass have a high potential to reduce pollutant and greenhouse gas emissions and they are biodegradable.
7. Biofuels can be reliable fuel sources, which can gradually reduce the dependence on mineral oil imports, and reduction of energetic dependence.
8. Biofuels innovative technologies can secure new work jobs, especially in rural areas, as well as within industrial companies.
9. There are economical and technical barriers in application of alternative fuels.
10. Legislation promoting biofuels should be based on tax incentives, mandates to use biofuels (mixtures) or via emission standards.
11. Biofuels are the chance that we leave the mineral oil before it leaves us.
12. Now, production of bio-diesel is practically stopped. National strategy is needed for the

production of bio-fuels and stimulated measures, as for the production of bio-fuels as well as for using bio-fuels. Procedure regulation for mixture of bio-fuels and mineral oil are needed. Mixture must be mandated as in EU.

References

- /1/ Biofuels I the European Union, The report of BRAC 2006
- /2/ Fuels, Proceedings of 7-th International Colloquium TAE, Stuttgart-Esslingen 2009
- /3/ Renewable Energy Target for Europe, EREC 2006
- /4/ Fuels, Proceedings of 6-th International Colloquium TAE, Stuttgart-Esslingen 2007
- /5/ Gligorijevic, R., Jevtic, J., Borak, Dj., Potential and Limitations of alternative fuels in Diesel Engine, Thermal Science 2009, (in printing)
- /6/ Gligorijevic, R., Jevtic, J., Borak, Dj., Biodiesel-alternative fuel of lower emissions, MVM'04, Proceedings, Kragujevac 2004

Upravljanje i kontrola rada DC motora male snage putem radio komunikacije

I Uvod

U svetu savremene tehnologije uvek je postojala težnja da se informacije prenesu bežičnim putem. Kontrola uređaja bežičnim putem danas je postala svakodnevnica. U ovom radu biće opisan uređaj koji se bazira na upravljanju motora putem radio veze.

II Opis uređaja

Na slici 1. je prikazana osnovna blok šema ovog uređaja, sa daljinskom kontrolom motora. Upravljačko kolo se koristi za zadavanje željene kontrole, ta informacija se prosleđuje predajniku, koji je emituje. Na prijemnoj strani, informaciju prihvata prijemnik i prosleđuje je kolu koje dobijene podatke obrađuje i upravlja motorm.

Predajnik za bežično upravljanje motora realizovan je pomoću RF modula AM-RT4-433 i mikrokontrolera Atmel AT89S51 [1]. Na prijemnoj strani nalaze se modul AM-HRR30-433 i mikrokontroler dsPIC30F4013

Rezime

U danasnje vreme sve više smo svedoci da bežični prenos informacija postaje jedan od osnovnih načina upravljanja. U ovom radu opisana je kontrola i upravljanje DC motora putem radio komunikacije. Frekvencija na kojoj se prenose signali je 433 MHz. To je slobodna frekvencija koja služi u industriji za slobodan prenos informacija. Zbog velikog broja korisnika ove frekvencije informacija koja se prenosi je kodovana. Na predajnoj i prijemnoj strani korišćeni su odgovarajući RF moduli i kontroleri za obradu signala i prikaz informacija.

Abstract

Today we are witness that wireless communication became dominant process in control of devices. In this paper regulation and control of DC motor with radio communication are described. Frequency used for transfer signals is 433 MHz. It is a free frequency, which is used in industry for information transfer. Because of a lot of users of this frequency, transfer information are coded. On delivery and reception side we used the RF modules and controllers for process signals and show some information.

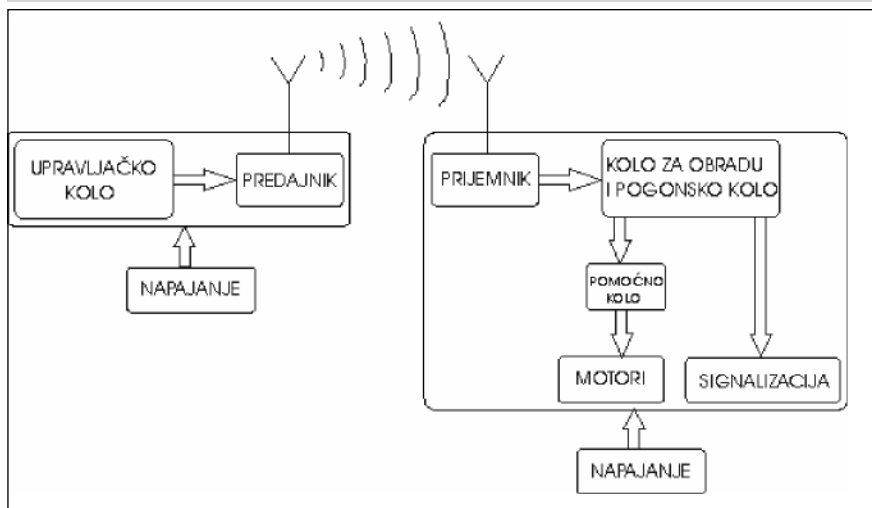
[1]. Napajanje predajnika je 5V, dok napajanje prijemnika može proizvoljno da se izabere u zavisnosti od motora koji se koriste. Za pokretanje DC motora koristi se driver u integrisanom kolu L298.

III Predajnik

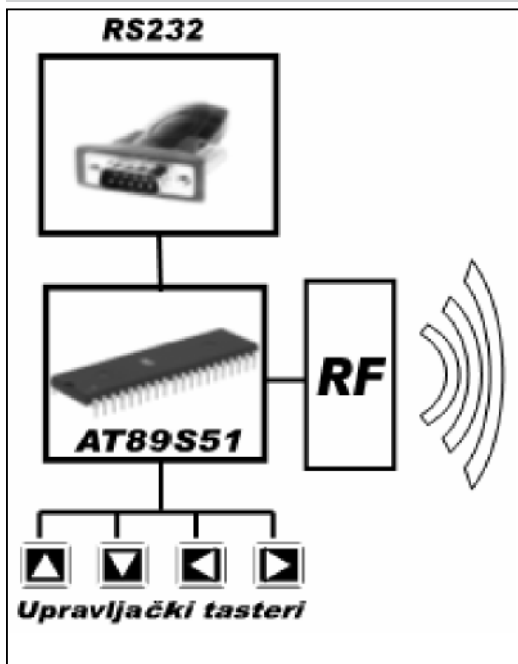
Predajnik, odnosno upravljački deo projektovanog rešenja, baziran je na mikrokontroleru Atmel AT89S51. Upotreba mikrokontrolera je upotpunjena dodavanjem upravljačkih tastera (koriste se za povećavanje i smanjivanje brzine motora, kao i za smer obrtanja), serijske komunikacije sa kompjuterom (slika 2) i mogućnosti oba tipa napajanja: naizmenično ili jednosmerno. Eksterni (opciono) dodatak idejnog rešenja predajnika, predstavlja LCD displej i napajanje putem USB.

Projektovano rešenje predajnika poseduje kolo za serijsku komunikaciju sa PC (slika 3) pomoću kojeg se korisniku nudi mogućnost za upravljanje motorima putem PC. Kolo je realizovano dodavanjem integrisanog kola Maxim MAX232 u DIP16 kućištu sa kojeg su dovedene veze ka pinovima br. 2 i br. 3 na konektoru SUB-DB9 i dalje putem kabela ka PC.

Slika 1 Blok šema uređaja



Slika 2 Blok-šema upravljačkog dela



Pinovi br. 1 (C1+) i br. 3 (C1-), br. 4 (C2+) i br. 5 (C2-), br. 2 (V+) i br. 16 (Vcc), br. 6 (V-) i br. 15 (GND) na

integriranom kolu MAX232 spojeni su, respektivno, preko elektrolitskih kondenzatora (slika 3).

Kolo za RF komunikaciju

Bežična komunikacija između predajnika i prijemnika realizovana je sa predajne strane pomoću RF modula AM-RT4-433, na koji su dovedene veze sa pinova br. 10 (RXD) i br. 11 (TXD) mikrokontrolera AT89S51, koji su ujedno povezani i serijskom vezom ka PC. Prosleđivanje komandi može se na taj način vršiti i sa upravljačkih tastera na samoj ploči i direktno sa PC (opcija za neka buduća unapređenja projektnog rešenja). Izlaz signala TXD sa mikrokontrolera doveden je na pin br. 3 (DATA) RF modula AM-RT4-433.

Opciona kola za proširenje

Idejno rešenje od kojeg je nastalo konačno projektno rešenje, poseduje u

sebi dodatna kola za opciona proširenja u skladu sa kasnijom potrebom i željama korisnika.

Takva kola su: kolo za LCD displej (2x16 karaktera) i kolo za USB napajanje sa PC u slučaju serijske komunikacije sa PC odnosno kontrole i upravljanja direktno sa PC (npr. sa tastature). U tom slučaju ploča predajnika se može napajati i sa PC.

IV Prijemnik

Prijemnik je baziran na mikrokontroleru Microchip dsPIC30F4013. Upotreba mikrokontrolera je upotpunjena dodavanjem jednog drajvera za dva DC motora [3, 4] namenjenih kretanju/skretanju vozila kao i dodavanjem baterijskog napajanja. Eksterni (opciono) dodatak idejnog rešenja prijemnika, predstavlja LCD displej (slika 5).

Između motora i mikrokontrolera je potrebno kolo koje upravljačke signale transformiše i na izlazu daje potrebnu struju za motor. Izabran je *full-bridge driver* L298 [2] koji prema kataloškim specifikacijama radi u opsegu napona od 0-42V.

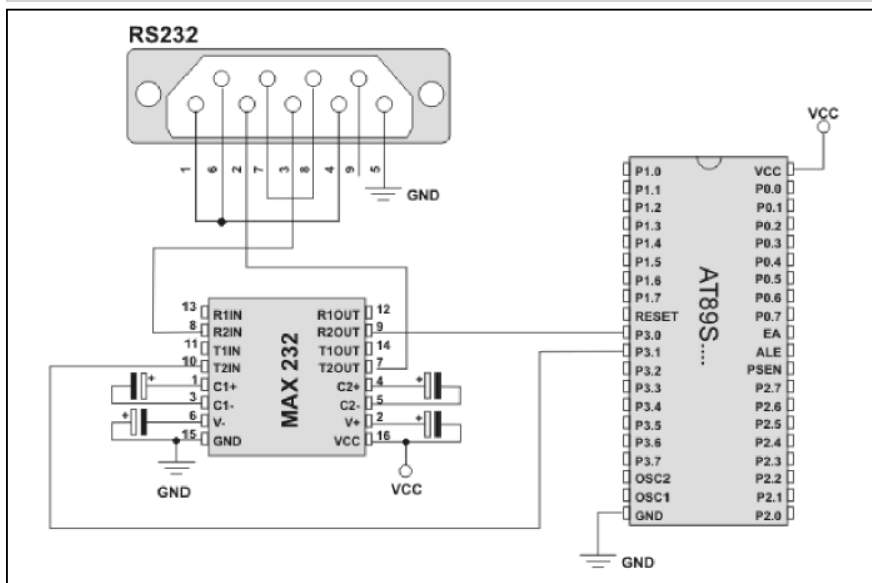
U integriranom kolu L298 su ugrađena dva posebna drajvera A i B i kolo je konstruisano u kućištu *Multiwatt 15*, sa pinovima koji po redu odgovaraju sledećim funkcijama datim u tabeli 1.

Izlazi sa kola L298, koji se nalaze na pinovima br. 2 (OUTPUT1) i br. 3 (OUTPUT2), vode se na krajeve prvog DC motora, povezujući se sa četiri diode u paraleli. Takođe izlazi na pinovima br. 13 (OUTPUT3) i br. 14 (OUTPUT4) vode se na krajeve drugog DC motora, preko četiri dioda u paraleli (slika 6)

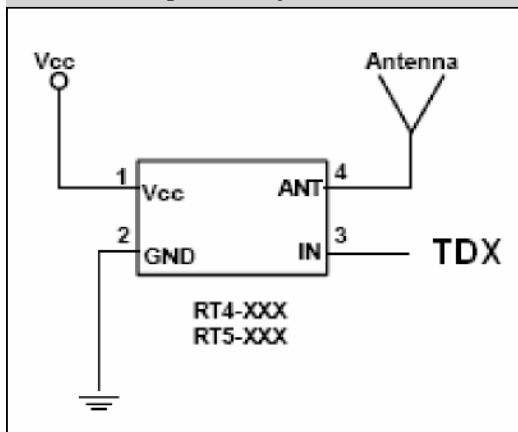
Kolo za RF komunikaciju

Bežična komunikacija između predajnika i prijemnika realizovana je sa prijemne strane pomoću RF modula AM-HRR30-433 koji je dovedena veza sa pina br. 16 (U1ARX) mikrokontrolera dsPIC30F4013. Prosleđivanje komandi

Slika 3 Kolo za serijsku komunikaciju sa PC



Slika 4 Način povezivanja AM-RT4-433



Slika 5 Blok-šema realizacije prijemnika

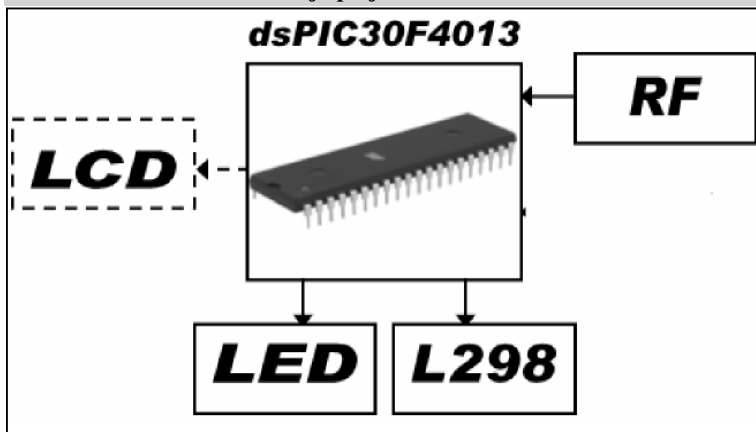


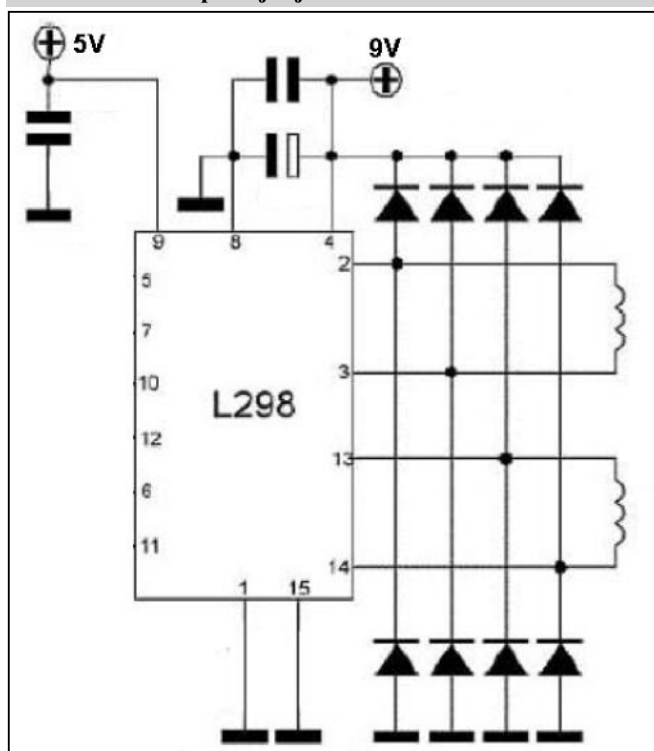
Tabela 1 Raspored pinova L298

Pin	Funkcija
1.	Sense A
2.	Out1
3.	Out2
4.	Vs
5.	In1
6.	Enable A
7.	In2
8.	GND
9.	Vss
10.	In3
11.	Enable B
12.	In4
13.	Out3
14.	Out4
15.	Sense B

se na taj način vrši sa pina br. 9 (DATA OUT) ka mikrokontroleru.

Serijska komunikacija vrši se sa *baud rate*-om od 1200 bita po sekundi sa zaštitnim kodovanjem u smislu da je potrebno da prijemnik dva puta uzastopno primi istu komandu da bi odreo govaio na nju. Podaci se šalju u bajtovima, tako da je svaka komanda poseban bajt. Ovako kodovana 8-bitna serijska komunikacija koja se vrši na frekvenciji od 433 MHz je otpornija na smetnje i smanjuje mogućnost greške pri prijemu. Algoritam serijske komunikacije ovog uređaja je napravljen tako da ima periodično slanje podataka čak iako nijedan od tastera nije za pokretanje nije pritisnut, čime omogućavamo da uvek imamo aktuelne podatke na prijemu o trenutnom stanju sistema.

Slika 6 Kolo za upravljanje motorima



IV Zaključak

U ovom radu je predstavljena jedna od mogućih realizacija upravljanja brzinom DC motora bežičnim putem. U pogledu korišćenja komponenti za realizaciju ovog projekta, težilo se što manjem broju, odnosno količini aktivnih i pasivnih komponenti. Ovo je omogućilo da se dodaju i opcione komponente po relativno prihvatljivoj ceni.

Upravo dodavanje opcionih (eksternih) dodataka, celokupnom projektom

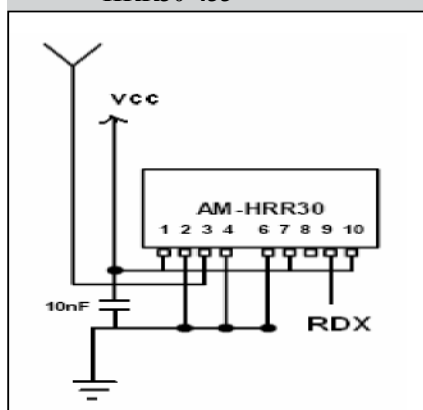
rešenju daje mogućnost daljeg unapređenja i usavršavanja, a sve u cilju potpunije funkcionalnosti i ispunjenja nekih novih zahteva od strane korisnika, koji se mogu javiti kasnije.

Rešenje opisano u ovom radu je optimalno u odnosu na odnos kvaliteta-cena. Sam uređaj je moguće vrlo efikasno modifikovati. Korišćene diskretne komponente ne zahtevaju puno ekonomskih sredstava, a i lako se mogu nabaviti na našem tržištu.

Literatura

- [1] Upustvo za upotrebu AT89S51, dsPIC30F4013, AM-HRR30-433, AM-RT4 -433, www.microchip.com
- [2] Vladimir Rajs, Vladimir Milosavljević, Miloš Slankamenac, Miloš Živanov: "Idejno rešenje sistema za kontrolu rada DC motora putem SMS-a korišćenjem Simens ES 75 modema", Energija, ekonomija, ekologija, 2008, Vol. 3, pp. 49 - 51.
- [3] Vladimir Rajs, Kalman Babković, Miloš Slankamenac, Miloš Živanov: "Programabilni univerzalni pogon za ispitivanje rada DC motora", Energija, ekonomija, ekologija, 2008, Vol. 2, pp. 297 - 299.
- [4] Marko Olujić, Kalman Babković, Miloš Slankamenac, Miloš Živanov: "Digitalni uređaj za regulaciju ugla pretpaljenja benzinskog motora – hardverska realizacija", Energija, ekonomija, ekologija, 2008, Vol. 3, pp. 66 - 69.

Slika 7 Način povezivanja AM-HRR30-433



Gasifikacija lignita Srbije plazma tehnologijom

Republika Srbija raspolaže sa značajnim rezervama lignita (oko 23 milijarde tona), što su uglavnom niskokalorična čvrsta goriva. Na primer, ligniti Kolubarskog bazena sa niskom toplotom sagorevanja (5440 – 6700 KJ/kg) i visokom vlažnošću (50 – 53%) karakterišu se niskom količinom pepela (5 – 20%) i visokim sadržajem isparljivih sastojaka uglja (55 – 60%).

Takvi niskokalorični, a vrlo vlažni ligniti nisu optimalni za direktno loženje u kotlovima elektrana. Mnogo svrsishodnije rešenje je gasifikacija takvog uglja i dobijanje energetskog gasa po kvalitetu visokoreakcionog ekološkog čistog goriva za potrebe elektrana, metalurgije i hemijske industrije. Plazma gasifikacija je jedna od najperspektivnijih tehnologija prerade niskokaloričnih ugljeva pošto omogućuje smanjenje balastih internih gasova (CO_2 , N_2 , H_2O) u proizvodima gasifikacije [1].

Kod plazmeno – vazdušne gasifikacije ugljeva koncentracija sin – gasa ($\text{CO} + \text{H}_2$) u produktima gasifikacije ne prelazi 45 %, dok se kod plazmeno – parne gasifikacije koncentracija sin – gasa dostiže i do 98% [2]. Sa obzirom na izneto i uzimajući u obzir visoku vlažnost lignita svrsishodno je za njihovu preradu koristiti plazma – parnu gasifikaciju.

Suština plazmeno-parne gasifikacije uglja se sastoji u prevođenju organskog dela uglja pomoću generatora elektrolučne plazme u visokokalorični sintetski gas, koji ne sadrži okside azota i sumpora.

Tim procesom endotermički efekat reakcije gasifikacije uglja

$\text{H}_2\text{O} + \text{C} = \text{CO} + \text{H}_2 - Q = 131500 \text{ KJ/Kmolu}$

Rezime

Na osnovu istraživanja sprovedenih u Kazahstanu i Rusiji na gasifikaciji uglja različitih kvaliteta primenom plazma tehnologija, zaključeno je da su plazma-allo-autotermijska gasifikacija uglja i plazma-parna gasifikacija i kompleksna prerada uglja za dobijanje sintetskog gasa ($\text{CO} + \text{H}_2$), vodonika (H_2) i korisnih nuzproivoda iz mineralnog sastava ugljeva, ekonomski isplativi postupci koji daju mogućnosti da se tre tehnologije 21 veka koriste i u Srbiji već danas na komercijalni način. Za sprovođenje ispitivanja sa domaćim lignitima odabrani su uzorci mokrog i sušenog lignita. U radu su dati rezultati plazma gasifikacije sa plazmatronom kombinovanog tipa, kod kojeg je prostor razvoja toplote istovetan sa prostorom oduzimanja toplote egzotermnom reakcijom gasifikacije. Na taj način su maksimalno smanjeni gubici i utrošak toplotne energije je vrlo blizak teorijskim vrednostima reakcije gasifikacije.

Rezultati ispitivanja na uređaju snage 100kW su pokazali opravdanost rada na definisanju industrijskih parametara za šta se predlaže izgradnja pilot postrojenja snage 1.000 kW kojim će se dobiti parametri za izgradnju manjeg industrijskog pogona koji bi na sat prerađivao 32t sprasenog lignita.

Kako se za proces gasifikacije troši značajna količina električne energije u radu su diskutovani uslovi za industrijsku primenu koja bi generalno EPS-u omogućila jeftiniju proizvodnju električne energije.

Ključne reči: Ugalj, Gasifikacija, Sintetski gas (sin-gas), Plazma-gorivo sistem, Vršna energija.

Abstract

On the basis of research done in Kazakhstan and Russia on gasification of coal of different quality using plasma technologies, it was concluded that plasma-allo-autothermal coal gasification and plasma-steam gasification and complex treatment of coal for getting synthesis gas ($\text{CO} + \text{H}_2$), hydrogen (H_2) and useful byproducts from the mineral components of coal, are economically justified procedures which will enable these 21 century technologies to be used in Serbia today in a commercial sense. For testing of domestic lignite, samples of wet and dried lignite were chosen. In this paper the test results are given for plasma gasification using a combined type plasmatron, in which the heat development space is the same as the space for taking away heat by using exothermal reaction gasification. This way the losses are minimal and the use of electrical energy is very close to the theoretical values of the gasification reaction.

The testing results on a device with power of 100kW showed justification for working on the task of defining the industrial parameters for which building a pilot plant with power of 1.000kW has been suggested which will give us the parameters for building a smaller industrial plant which could process 32 tons of pulverized lignite an hour.

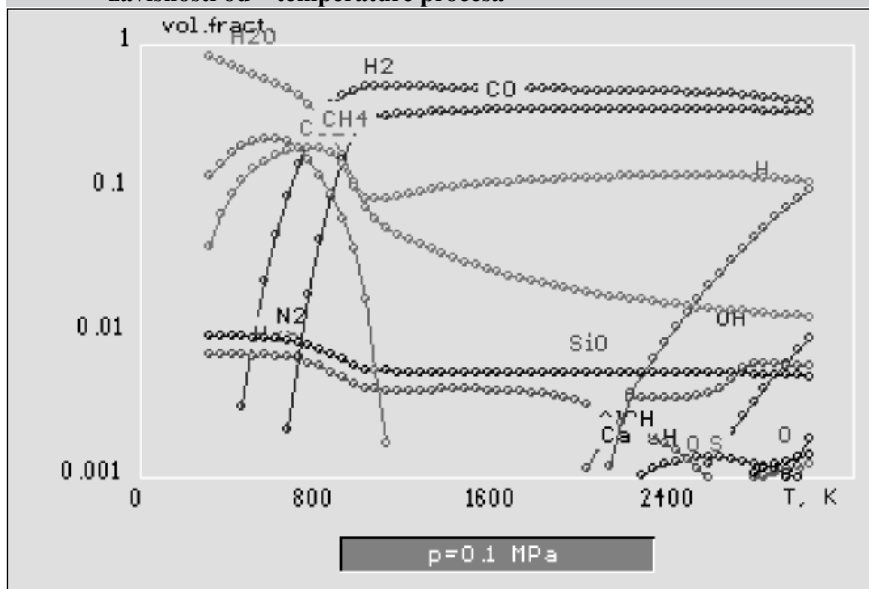
Since large quantities of electrical energy are needed for the gasification process in this paper we discussed conditions for industrial implementation which would enable EPS in general cheaper production of electrical energy.

Key words: Coal, Gasification, Synthesis gas (sin-gas), Plasma-fuel system, Peak energy

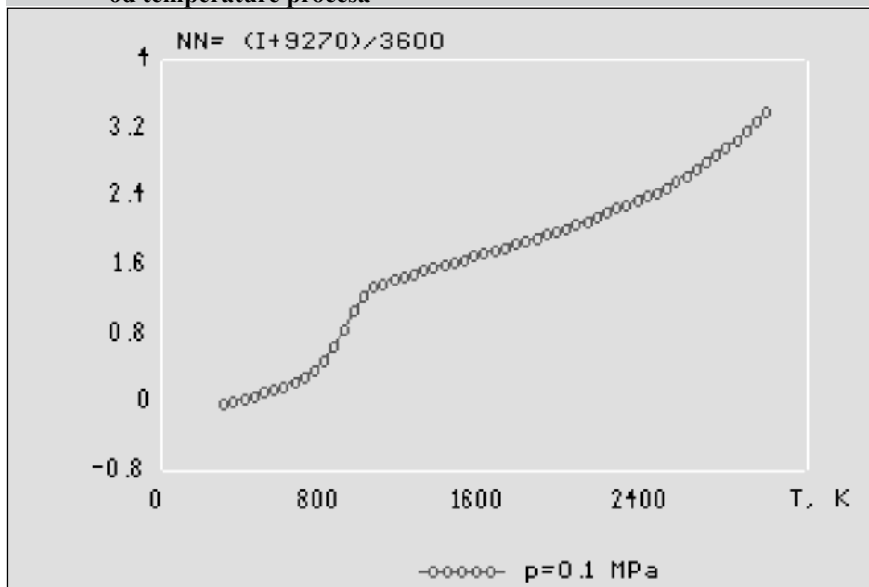
Tabela 1 Hemijski sastav lignita Srbije (Kolubara Prerada) tž.%

C	H	O	N	S	SiO ₂	Al ₂ O ₂	CaO	El ₂ O ₃	H ₂ O
Vlažni lignit									
29.9	2.46	9.72	1.0	0.89	2.55	1.38	1.03	0.05	50.23
Sušeni lignit									
49.69	4.06	15.32	1.0	1.33	2.55	1.38	1.03	0.05	22.9

Slika 1 Sastav gasne faze proizvoda gasifikacije vlažnog lignita (Tabela 1) u zavisnosti od temperature procesa



Slika 2 Specifična energija gasifikacije vlažnog lignita (Tabela 1) u zavisnosti od temperature procesa



u potpunosti se kompenzuje energijom elektrolučne plazme.

Perspektiva plazma-gasifikacije uglja vidi se u sledećem[3]:

- Gasifikacijom uglja dobija se sintetski prirodni gas ili sin-gas sa mogućnošću njegove dalje prerade u metanol, dimetiletar i druga tečna goriva.
- U zatvorenom ciklusu gasifikacija energetskih ugljeva se koristi u ekološki čistim termo elektranama.

- Izgradnja vršnih termoelektrana za nivelisanje grafika elektroopterećenja, za pokrivanje dnevnih i nedeljnih neravnomernosti u potrošnji elektroenergije na račun korišćenja jeftinije noćne elektroenergije za rad plazma gasifikatora.
- Korišćenje sin-gasa iz uglja kao kvalitetnog visokopotencijalnog gasnog reduktora u metalurgiji kao zamenu metalurškog koksa.

Prerada uglja u sin-gas je povezana sa značajnim utroškom elektroenergije

za sam proces gasifikacije. Zbog toga se generalno ovaj proces predlaže za fenomen nivelisanja opterećenja elektrodistributivnog sistema.

Celishodno je negativne pikove opterećenja koristiti za stokiranje sin-gasa. U ostalom delu grafika opterećenja ED sistema, gasifikacija se može držati na jednom minimumu. Na taj način izravnjavanjem grafike opterećenja ED sistema i korišćenje stokiranog sin-gasa u momentima vršne potrošnje dovodi do sniženja specifične količine primarne energije za proizvodnju elektroenergije koja se pušta u ED sistem.

Pored toga korišćenje plazma-gasifikacije uglja dovodi do smanjenja oksida azota i sumpora, što uočljivo doprinosi poboljšanju životne sredine.

Ekonomska efikasnost plazma-gasifikacije uglja se povećava sniženjem cene samih ugljeva u odnosu na ostale vrste goriva. Sa obzirom na to niskokalorični ligniti Srbije su privlačni predmet za proces plazma-gasifikacije.

Ovaj tehnički predlog se odnosi na korišćenje nisko-kaloričnih lignita Srbije za plazma – gasifikaciju u cilju dobijanja visoko kvalitetnog sin-gasa.

Za ocenu pogodnosti lignita Srbije za plazma-gasifikaciju i ekonomsku opravdanost procesa na dalje su prikazane integralne karakteristike plazma gasifikacije lignita Srbije (tabela 1). Pri gasifikaciji sušenog lignita, nedostatak gasifikujućeg agensa se nadoknađuje dodavanjem po 1 kg vazduha na 1 kg lignita.

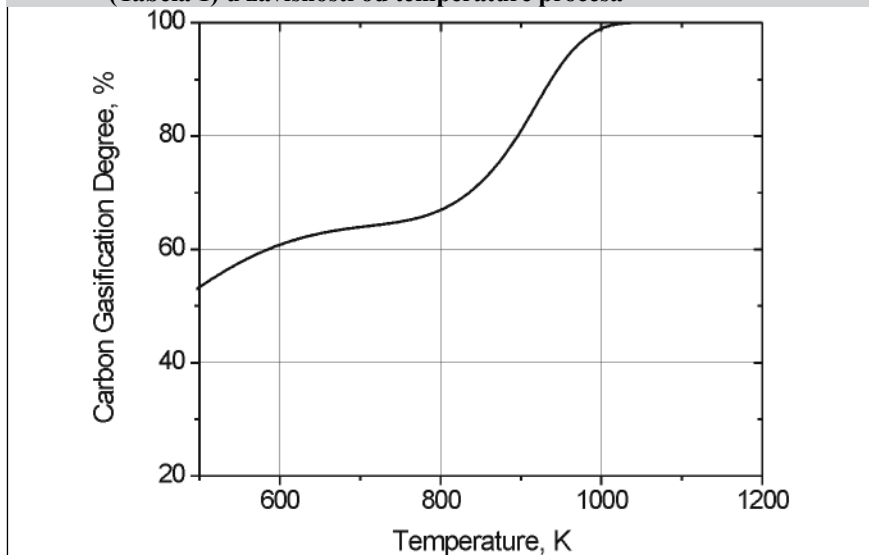
Kako se to vidi sa *slici 1* sastav gasne faze produkata gasifikacije vlažnog lignita u osnovnom se sastoji iz sin-gasa (CO + H₂), čija koncentracija u temperaturnom opsegu 1000 – 2400 °K se povećava sa 81.1 do 84.6%. pri tome koncentracija vodene pare u istom temperaturnom intervalu se menja od 8.7 do 12.4% zapreminski.

Specifičan utrošak energije za proces (slika 2) se povećava od 0.8 do 2.3 KWh/kg. Stepem gasifikacije (slika 3) se povećava sa temperaturom procesa i pri T= 1050°K iznosi 100%.

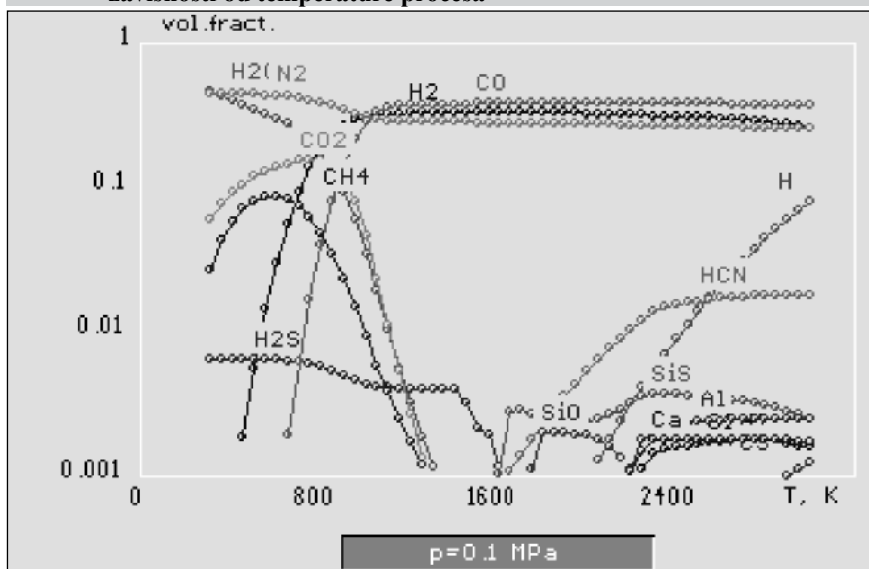
Na *slici 4* vidi se da je sastav gasne faze proizvoda gasifikacije sušenog lignita razređen azotom dodatog vazduha. Koncentracija sin-gasa u opsegu temperatura 1000 – 2400 K se povećava od 59.6 do 70.5% zapreminskih.

Pri tome u istom temperaturnom intervalu koncentracija azota se menja od 31 do 26.8% zapreminskih, dok se koncentracija vodene pare smanjuje od 3.1 do 0.01% zapreminskih. Specifična energija procesa (slika 5) se povećava

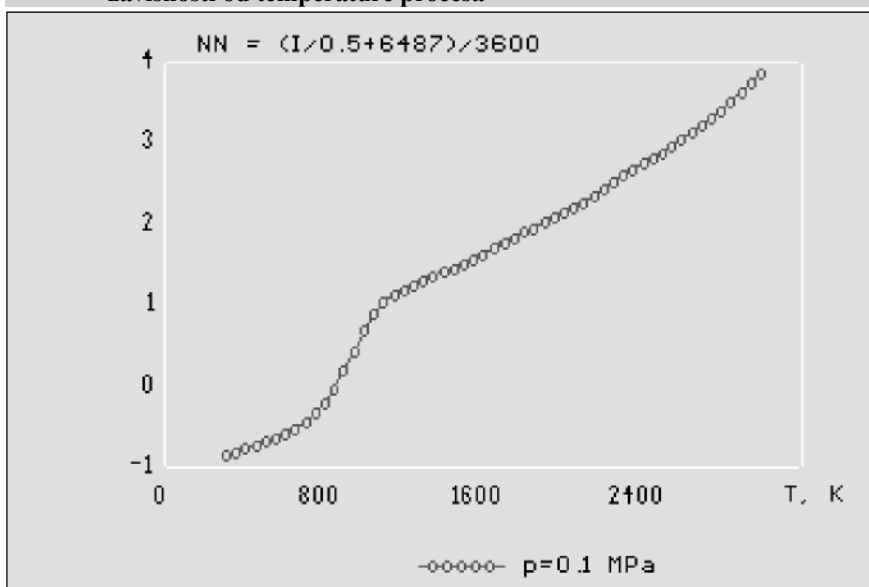
Slika 3 Stepen gasifikacije ugljenika u procesu gasifikacije vlažnog lignita (Tabela 1) u zavisnosti od temperature procesa



Slika 4 Sastav gasne faze proizvoda gasifikacije sušenog lignita (Tabela 1) u zavisnosti od temperature procesa



Slika 5 Specifična energija procesa gasifikacije sušenog lignita (Tabela 1) u zavisnosti od temperature procesa



od 0.4 do 2.0 KWh/kg, što je uočljivo niže u odnosu na gasifikaciju vlažnog lignita. Stepen gasifikacije se povećava sa rastom temperature procesa i dostiže 100%, pri $T = 2300 \text{ K}$.

Na taj način, kvalitetan sin-gas se može dobiti gasifikacijom vlažnog i sušenog lignita, mada se pri gasifikaciji sušenog lignita sin-gas razblažuje azotom dodatog vazduha, ali se specifična energija procesa gasifikacije snižava.

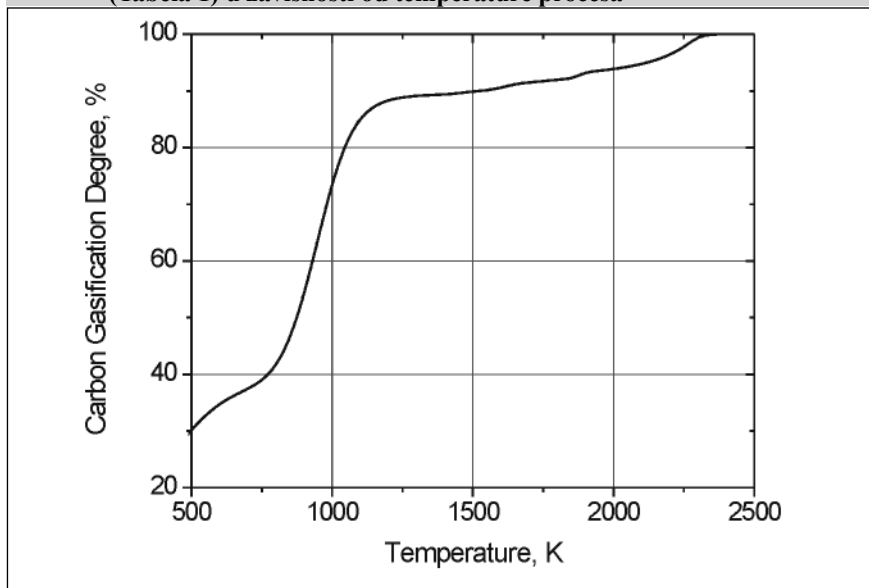
Imajući u vidu pozitivne rezultate brojnih ispitivanja vlažnih i sušenih lignita Srbije i raspoložujući sa sopstvenim eksperimentima plazma gasifikacije niza niskokaloričnih čvrstih goriva u plazma-gasifikatoru snage 100 KW, predlaže se da se projektuje i izgradi pilot postrojenje snage 1.000 KW za plazma gasifikaciju lignita Srbije.

Šematski prikaz plazma postrojenja za gasifikaciju lignita dat je na slici 7. Svojtvenost postrojenja je transport sprášenog lignita iz bunkera praha 3 gasifikujućim agensom (vazduh, vodena para, kiseonik) injektovanjem u gasifikator.

Plazma reaktor koji se primenjuje pripada vrsti mešovitog plazmatrona u kojem su preklapljenе zone generisanja plazme (izdvajanje toplotne energije elektrolučnim pražnjenjem) sa zonom utroška toplotne energije za tehnološki proces. Ovo uslovljava minimalizaciju utroška energije na proces gasifikacije i maksimalno ga približava teorijskoj vrednosti specifične energije (Slike 2 i 5).

Reaktor (slika 8) je u stvari koaksijalni plazmatron konstantne struje, gde je anoda u obliku grafitnog cilindra 11, a kao katoda se koristi dodavajuća centralna cilindrična grafitna elektroda 7, koja je postavljena centralno na poklopcu 4 koji ograničava reaktor odozgo. Na poklopcu 4 se nalazi učvršćenje i izolacija 6 elektrode 7, a takođe injektor za dodavanje sprášenog lignita, pare ili drugih gasova (gasifikatora). Na donjem delu reakcione komore plazma reaktora nalazi se dijafragma 13, iza koje se nalazi komora izlaza proizvoda prerade 15 sa sekcijom izlaza gasa 14 i šljake 16. Oko reakcione komore na mestu gde se nalazi anodno polje, nalazi se elektromagnetni namotaj (solenoid) 12. Telo reaktora je od metala hladeno vodom 9, postavljeno iznutra grafitom, pri čemu grafitna sekcija – anoda, za smanjenje njene površine u tehnološkom procesu potpuno naleže omotaču koji se hladi vodom, a ostali deo grafitnog prstena ima zazor do omotača. Zazor se popunjava grafitnim granulama veličine 2-6 mm, što

Slika 6 Stepen gasifikacije ugljenika u procesu gasifikacije sušenog lignita (Tabela 1) u zavisnosti od temperature procesa



obezbeđuje povećanje toplotnog KPD-a (stepena korisnog dejstva) plazma reaktora za deo smanjenja toplotnih gubitaka vodom za hlađenje, koja obuhvata sve metalne delove reakcione komore.

Princip rada plazma reaktora zasniva se na inekcionoj sposobnosti strujnica elektroluka, koje imaju profil konusa koji se širi od katodnog polja do

anodnog. Zapaljenje električnog luka se vrši pomoćnom elektrodom koja se uvodi kroz otvor 10. Električni luk koji se obrazuje između katode i anode pod uticajem sila Lorencova počinje da se vrti obezbeđujući zagrevanje reakcione zone po celom poprečnom preseku reaktora.

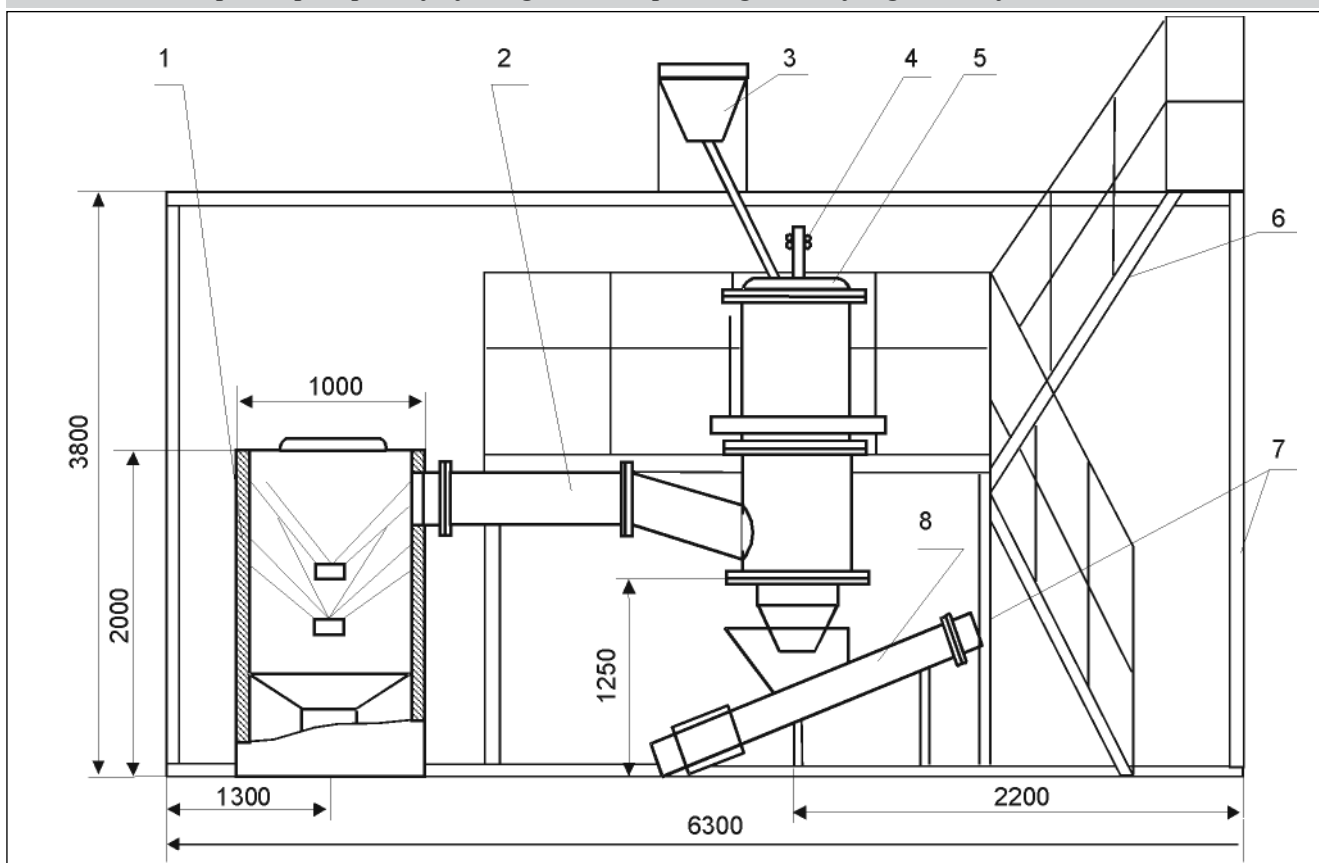
Uspostavljanje sila, koje deluju na luk, uslovljene su uzajamnim delovanjem električnim nabojem strujnica luka

sa konstantnim uzdužnim magnetnim poljem, nastalim solenoidom (elektromagnetnim namotajem). Pri obrtnom kretanju lučnog stuba, kao posledica razlike katodnog i anodnog polja i razlike aerodinamičkog otpora zidova anode i katode, luk se širi, i u njemu nastaje brza plazmena struja u pravcu zidova anode. Vrlo usitnjeni ugljeni prah sa gasom –oksidantom, dolazeći u reaktor biva prihvaćen plazma strujom luka, intenzivno se zagreva i nabacuje se na zidove reaktora (anode) u vidu rastopa kondenzujuće faze sa neproreagovanim delovima čestica uglja.

Po zidovima, rastop kliže ka dijafragmi i kroz otvor odlazi u komoru za odvajanje gasa od šljake. Za vreme tečenja, rastop se dovoljno dugo nalazi u visokotemperaturnoj zoni da bi se završila hemijska reakcija gasifikacije uglja. Pored toga, sloj rastopa kondenzujuće faze, prihvatajući čvrste čestice, omogućuje smanjenje sprasanih čestica u odlazećem gasu i olakšava proces čišćenja čvrstih čestica, što je posebno važno u savremenim tendencijama poboljšanja životne sredine u okruženju industrijskih objekata.

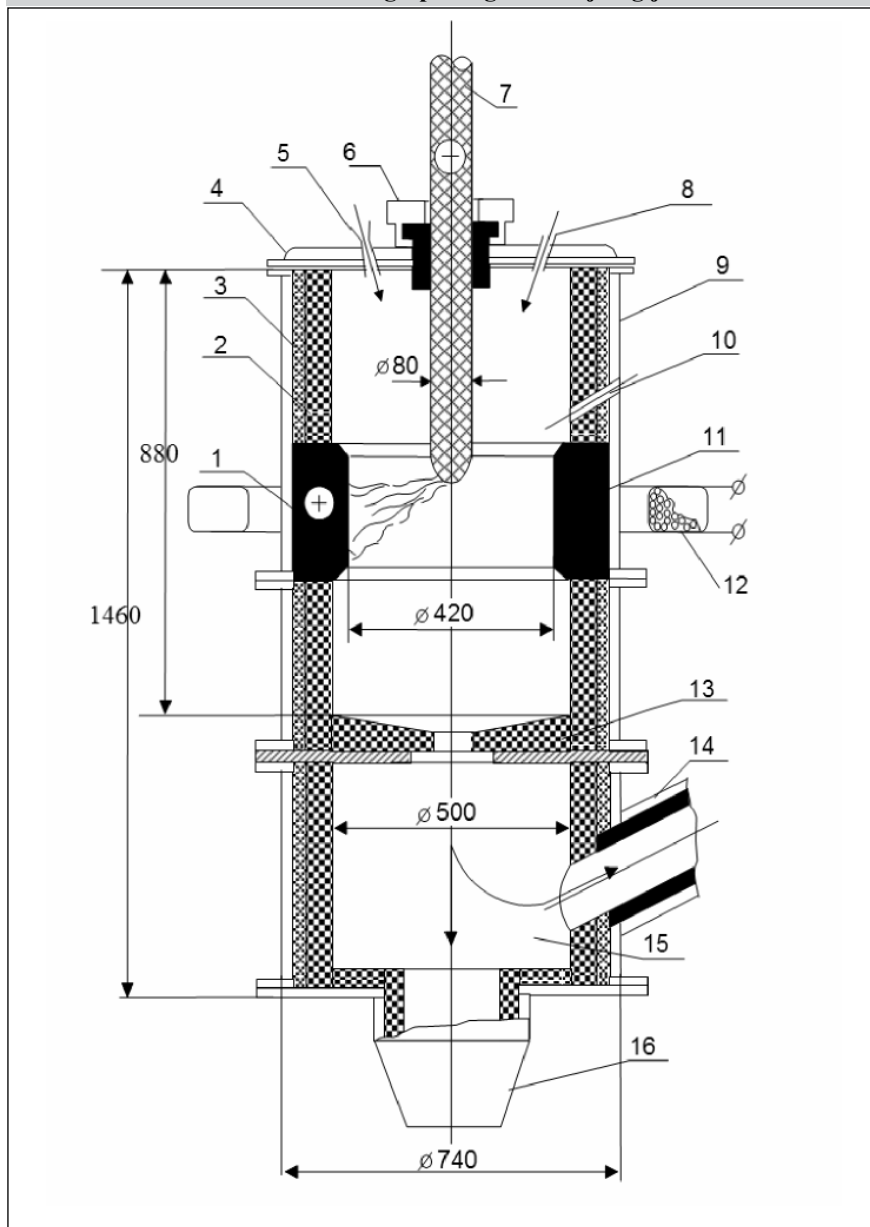
Postrojenje predstavljeno na *slika 7* je ispitano. Rezultati prethodnih ispitivanja su pokazali da se pri struji

Slika 7 Šematski prikaz pilot postrojenja snage 1MW za plazma gasifikaciju lignita Srbije



1.- hidrataciona komora, 2- komora odvođenja gasnih produkata; 3- bunker sprasenog lignita sa uređajem za dovođenje gasifikujućeg agensa; 4- mehanizam dodavanja elektroda; 5- plazma –reaktor (gasifikator); 6- stepenište; 7- noseća konstrukcija; 8- pužni odvod šljake.

Slika 8 Plazma reaktor mešovitog tipa za gasifikaciju ugljeva



1- električni luk; 2- grafitne granule; 3- grafitni omotač; 4- poklopac koji se hladi vodom; 5- otvor za dodavanje praha lignita; 6- izolator sa sistemom učvršćenja elektroda; 7- grafitna elektroda; 8- otvor za dodavanje pare; 9- vodeni hladnjak; 10- otvor za elektrodu za zapaljenje luka; 11- prstenasta grafitna elektroda, 12- elektromagnetni namotaj; 13- grafitna dijafagma; 14- otvor za odvod sin-gasa; 15- komora za odvajanje gasa od šljake; 16- otvor za odvod šljake.

od 1.500 A i naponu od 470 V postiže snaga gasifikatora od 705 KW. Pri tome termički stepen korisnog dejstva (KPD) plazma gasifikatora je 61%, a pokazana korisna snaga je 430 KW.

Posle zagrevanja reaktora u toku 30 minuta u reakcionu zonu se dodaje radna smeša, koja se sastoji od ugljenog praha, čiji utrošak je 150 kg/h, i vodena para na temperaturi od 430 K sa utroškom od 75 kg/h. Dodavanje vazduha je bilo u količini od 30 kg/h.

Merenjem unutrašnje grafitne elektrode (katode) pokazan je utrošak od 0.4 kg/h.

U procesu plazma-parne gasifikacije mrkog uglja, (pepeo – 22%, toplota sagorevanja 18400 KJ/kg – izlaz isparljivih sastojaka 44%) uzete su

probe gasa iz komore za izvođenje produkata gasifikacije i posle eksperimenta probe kondenzujuće faze. Dobija se sin-gas, koji se u osnovi sastoji od CO (41.5%) i H₂(48,7%). Nađene su primese CO₂ (0.4%), CH₄ (1.4%) i N₂(8%). Rentgenografskom analizom čvrstog ostatka određen je stepen gasifikacije ugljenika iz uglja i on iznosi 81%.

Dobijeni rezultati omogućuju korišćenje plazma tehnologije gasifikacije sa parom i kompleksnu preradu uglja za izgradnju pilot postrojenja za proizvodnju visokokvalitetnog, ekološki čistog, sin-gasa, vodonika i korisnih komponenti iz mineralnog sastava uglja (fero-silicijum, silicijumkarbid, tehnički kvarc i dr.) pri

[122]

tome osnovni deo vodonika se obrazuje razlaganjem vodene pare ugljem, što se pokazuje kao vrlo perspektivnim za korišćenje plazmeno-parne gasifikacije u vodoničnoj energetici.

Za izgradnju pilot postrojenja za plazma gasifikaciju lignita potrebno je 15 meseci i finansijska sredstva od 1M Evra.

Utrošak lignita u takvom postrojenju će biti oko 3.500 t u godini, a vodene pare 700 t/god. Pri tome pilot postrojenje će imati proizvodnost od 6 M m³/god. Kako se iz Sl.2 i 5 vidi, specifični utrošak električne energije za plazma gasifikaciju lignita je 2.3 – 2.4 KWh/kg.

Literatura

1. Gorokhovski M.A., Karpenko E.I., Lockwood F.C., Messerle V.E., Trusov B.G., Ustimenko A.B. Plasma Technologies for Solid Fuels: Experiment and Theory // Journal of the Energy Institute. 2005. V. 78. № 4. P. 157.
2. Matveev I.B., Messerle V.E., Ustimenko A.B. Plasma Gasification of Coal in Different Oxidants // Plasma Science, IEEE Transactions on. Volume 36, Issue 6, Dec. 2008 P.2947 – 2954.
3. Messerle V.E., Ustimenko A.B. Solid fuel plasma gasification // Advanced Combustion and Aerothermal Technologies, N.Syred and A.Khalatov (eds.), Springer, 2007, pp.141-156.

The Role of Gasification in Low-carbon Energy Planning

1 Background

A reduction of carbon dioxide emissions in general and in the energy sector in particular is widely accepted as being necessary to ameliorate global warming. It is furthermore generally recognized that no one technology is likely to provide a single solution, or “silver bullet”, which will allow the world’s population to continue or even increase its current rate of energy usage while simultaneously reducing CO₂ emissions.

Pacala and Socolow [2004] made this point when presenting their concept of stabilization wedges, in which a portfolio of current technologies could be used to reduce carbon emissions sufficiently to stabilize the atmospheric CO₂ to a level of about 500 ppm. A similar concept is included in the Prism analysis presented by the Electric Power Research Institute (EPRI) as part of

Abstract

Carbon capture and storage has been identified as one of a broad range of strategies which will need to be applied in order to reduce the emission of greenhouse gases. The importance of this approach lies in the fact that it allows the use of the world’s most widespread concentrated energy source, namely coal. Plants based on the gasification of coal and heavy oil are already capturing significant quantities of carbon dioxide in the chemical industry. In the case of ammonia plants, this CO₂ is often compressed to about 150 bar for use in urea manufacture. In one case it is already being supplied to the oil industry for enhanced oil recovery. The pressures involved are similar to those required for transport and underground storage. There are also a number of power plants in the 250 – 500 MW_e range operating on the basis of gasification using Integrated Gasification Combined Cycle (IGCC) technology, but to date without carbon capture.

This paper will review the experience in such plants in both the chemical and the power industries and the means of integrating them into a full carbon capture and storage scheme.

the development of a CO₂ emissions reduction strategy for the US electricity sector [August 2007]. The portfolio

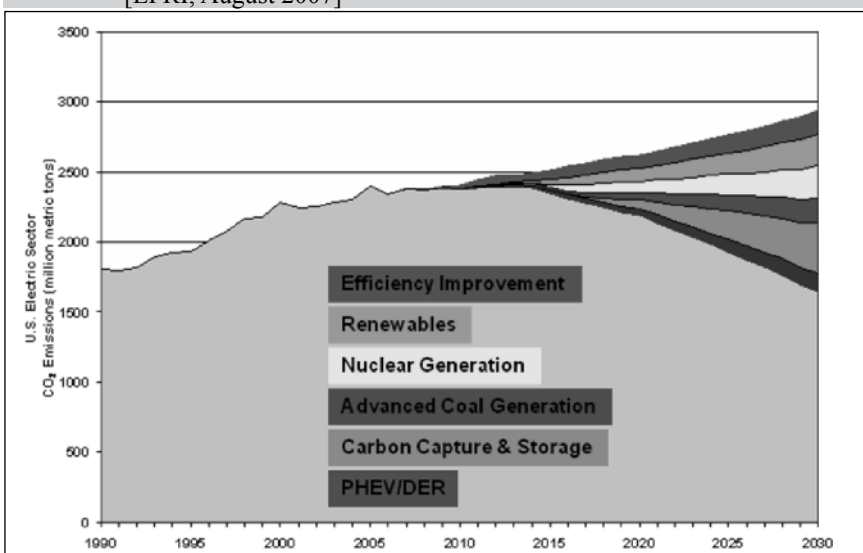
included in this analysis is shown in Figure 1. While this analysis is specific to the US situation, the large component proposed for carbon capture and storage (CCS) is noticeable. In addressing a possible portfolio of technologies to reduce CO₂ emissions the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) has also included CCS and has indeed presented a special report on the topic [2005].

2 Approaches to Carbon Capture

The power sector accounts for about a third of all CO₂ emissions from fossil fuel combustion, followed by transport at about 24%. Given that the former consists of a relatively small number of large point sources (at least compared to the transport sector), it is natural that there is considerable focus on carbon reduction in power production.

There are three principle approaches to carbon capture in the power industry

Figure 1 CO₂ Emission Strategies in the EPRI Prism Analysis [EPRI, August 2007]



which are shown schematically in Figure 2:

- **Post-combustion capture.** The flue gas from a conventional combustion system consists primarily of nitrogen, CO₂, oxygen and water vapor. The post combustion CO₂ capture removes the CO₂ from the flue gas, generally after removal of NO_x and SO_x. Currently removal is mostly being tested with absorption in amines or ammonia, but adsorption technologies are also in development.
- **Oxy-combustion.** Nitrogen is separated from the combustion air before combustion. The flue gas consists primarily of CO₂ and water vapour. The latter can be condensed out of the flue gas. Part of the CO₂ is recycled to the burner as moderator. Currently a number of pilot plants are in construction or operation – generally in the 30 MW_{th} size range. Commercial demonstrations in the 250 MWe range can be expected by about 2016 and commercial 800 MWe units by about 2020.
- **Pre-combustion capture:** The fuel is gasified under pressure, for power applications typically in the range 30-50 bar, to produce a synthesis gas consisting mainly of CO and H₂. The carbon monoxide is reacted with steam to carbon dioxide and more hydrogen. The CO₂ and other contaminants are removed under pressure leaving a raw hydrogen, which is used as a fuel in a combustion turbine operating in combined cycle. The turbine flue gas consists primarily of nitrogen and water vapor.

CO₂ compression and drying are essentially the same for all three routes.

Since the compression is a major source of power loss, development work on reducing the compressions energy requirement is expected to benefit all three approaches. Water is removed to a very low level in all cases to avoid corrosion. It should be noted that the traces of other components in the CO₂ are different in the different approaches and that this needs to be addressed in transport specifications, procedures and the like.

3 EU Flagship Projects and Legal Framework

As part of its policy of reducing CO₂ emissions by 20% by 2020, the EU has announced its support for the principle of carbon capture and sequestration. As part of the proposals for the post-Kyoto Phase III European Trading System (ETS), it is to be expected that CO₂ that is captured and safely stored should be considered as not emitted. It is also a declared intention that 12 CCS demonstration projects should be in operation by 2015.

A number of projects have already been considered as prospective candidates for these “flagship” demonstrations. All three technologies described above are represented [Tullius, 2008]. Candidates proposing pre-combustion include:

- Nuon’s 1200 MW_e Magnum IGCC project in The Netherlands.
- Powerfuel’s 900 MW_e Hatfield IGCC project in the UK.
- Progressive Energy’s 500 MWe Teesside IGCC project in the UK.
- RWE’s 450 MW_e Goldenberg IGCC project in Germany.

- The PKE/ZAK joint-venture 150 MW_e IGCC and poly-generation project at Kedzierzyn, Poland

These projects are in various stages of development and the extent of financial support available to cover the additional costs of capturing and storing the CO₂ is not yet clear. Part of such financing may come from the national level. At an EU level the use of some of the income from the ETS has been proposed.

For these and other projects, it is important that a legal framework for CCS is in place at both European and national levels. Aspects that need to be included in any legal framework go beyond the financing issue mentioned above. It must include the development of safety standards for transport and storage, issues of long-term liability and the like. As an example it can be mentioned that a draft law is currently being prepared by the German Ministries of the Environment and of Economic Affairs. It is expected that this may be in place before the summer [VDI-Nachrichten, 2009]. Similar initiatives will be necessary in each of the countries where such projects are proposed. Clearly in the European context a coordination of these efforts would be of advantage since all will be operating in the framework of a single ETS.

4 IGCC Technology and its Application to CCS

The Integrated Gasification Combined Cycle is a technology that is in operation today in the size range 250-500 MW_e.

These include:

- Tampa Electric’s 250 MW_e power plant in Polk County, FL.
- SG Solutions’ 250 MWe Wabash River power plant at Terre Haute, IN.
- Nuon’s 250 MW_e power plant at Buggenum, The Netherlands.
- Elcogas’s 300 MW_e power plant at Puertollano, Spain.
- Sokolow Uhelna’s 400 MW_e power plant at Vřesová, Czech Republic.
- Clean Coal Power’s 250 MW power plant at Nakoso, Japan.

Others with coal feed in a smaller size range

Figure 2 Approaches to Carbon Capture

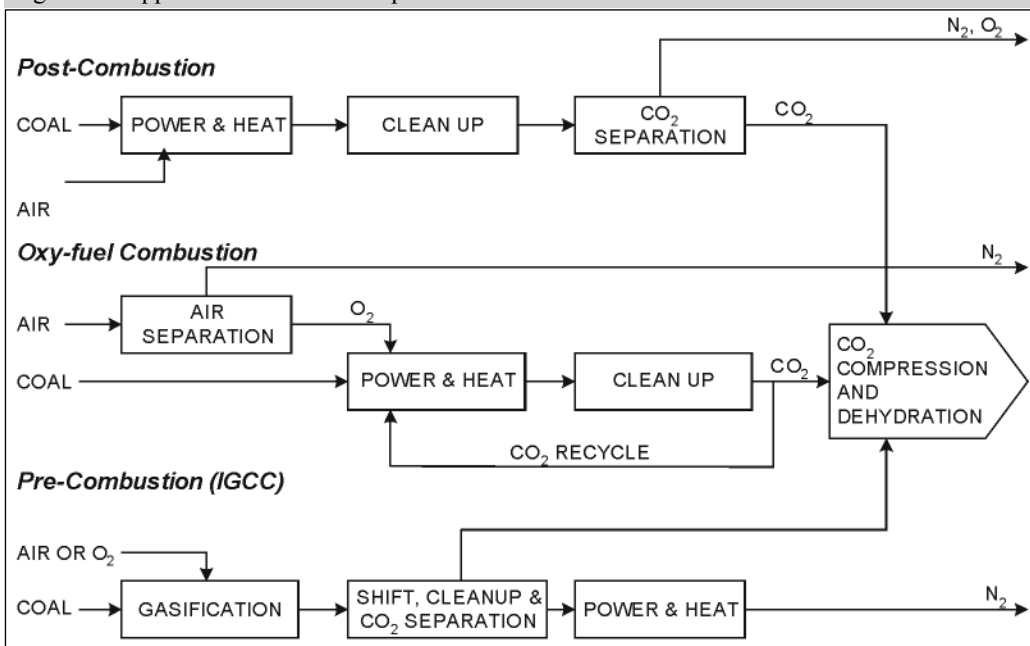
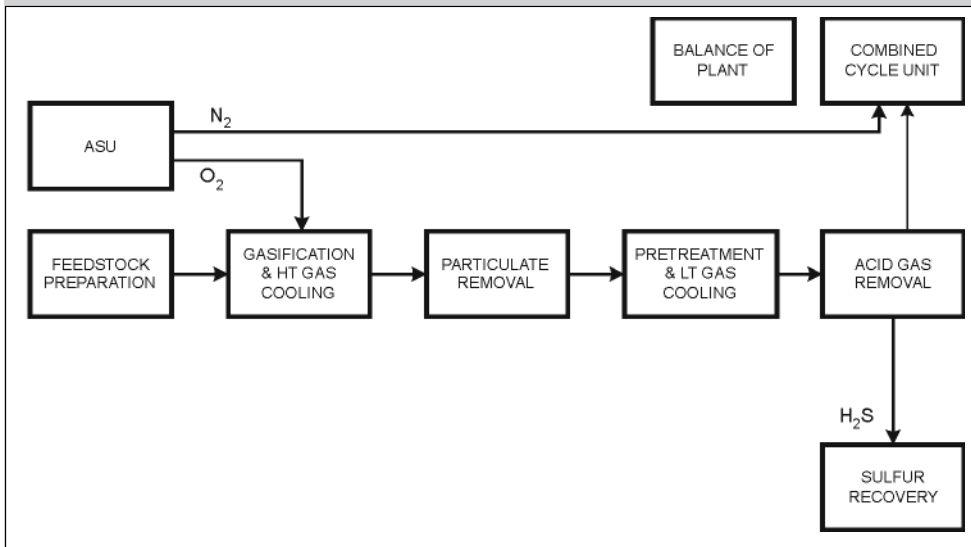


Figure 3 Typical IGCC without CO₂ Capture



operate elsewhere. Plants with refinery residue feeds up to 500 MW_e are in operation in Italy, Japan and Singapore. Power plants of about 630 MW_e are under construction in the USA. Typical is the Edwardsport, Indiana plant being built by Duke Energy [Sears, 2008]. This generation of plant does not incorporate carbon capture and storage.

A typical line up, which is shown in Figure 3 includes gasification of coal with oxygen, produced in a conventional, cryogenic air separation unit (ASU) to produce a raw synthesis gas consisting primarily of hydrogen and carbon monoxide, but which also contains some carbon dioxide, hydrogen sulphide and other trace components. The hydrogen sulphide is removed using standard acid gas removal technologies available from the natural gas industry, leaving the sulphur as a saleable, solid elemental sulphur. The clean gas is fired in a standard gas turbine, which has been slightly modified to accept the lower calorific value fuel, and which is operated in combined cycle with a steam turbine. The implementation of this technology is slightly different in each of the various operating plants,

so that a more detailed description is reserved for the adaptation to the carbon capture configuration.

The basic technology required to include carbon capture in an IGCC is also available from the fertilizer industry at an appropriate scale. The CCS configuration for an IGCC is shown in Figure 4. The gasification of coal with oxygen to produce a raw synthesis gas takes place in a similar manner to that of the non-capture case. This takes place at a temperature in the range of 1250-1600°C. The gas is cooled by quenching with water. This technique, which is common in chemical applications, is not used in the non-capture configuration, since it sacrifices some efficiency in the system. The advantage in the CCS configuration is that it automatically supplies the steam for the next process stage, CO Shift. In this step, the carbon monoxide is converted with steam to form CO₂ and more hydrogen. This may be performed in one, two or even three stages, depending on the degree of capture desired.

The gas at the outlet of the CO Shift still contains the CO₂ and the H₂S. These

are removed separately in a selective acid gas removal (AGR) system such as Rectisol or Selexol, both of which have extensive references at a suitable size. The use of an amine wash is a third possibility. The great advantage of this pre-combustion configuration is that the CO₂ is available at a relatively high concentration (about 30% or more) and at high pressure. This makes the removal process much simpler and cheaper than if it is available at atmospheric pressure diluted in a large flue gas stream. There are two other points worth noting. Firstly some of the CO₂ in

this configuration is recovered under a slightly elevated pressure and one can take advantage of this to reduce the CO₂ compression costs. Secondly, at the inlet to the AGR, there is a bed of activated carbon to remove any traces of mercury. The mercury retention rate in syngas service is known to be higher than 94% and may approach the levels of over 99% achieved with the same technology in liquefied natural gas (LNG) plants.

The product of the acid gas removal system is a crude hydrogen stream, which, depending on the degree of capture aimed at, may have a hydrogen content of well over 90%. The remainder will consist of any CO not converted in the CO shift together with small quantities of methane, nitrogen and argon. The current generation of low NO_x gas turbine burners, which are based on pre-mix technology, cannot handle this high hydrogen fuel, because of the very high flame speed of the hydrogen. The older, diffusion flame burners are therefore used, also in the non-capture configuration. In addition the hydrogen fuel is diluted with nitrogen from the ASU to reduce the

flame temperature. While the NO_x performance is not quite so good as with the pre-mix burners, there are examples, such as the Buggenum IGCC in The Netherlands, where single digit NO_x figures are achieved.

5 Applications for Chemical and Fuels Production

As mentioned above, much of the technology for an IGCC is already in daily operation in the chemical industry,

Figure 4 Typical IGCC with CO₂ capture

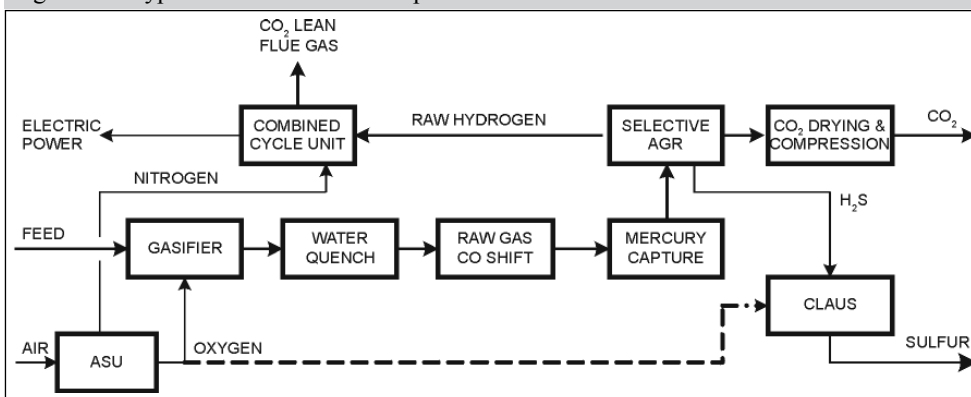
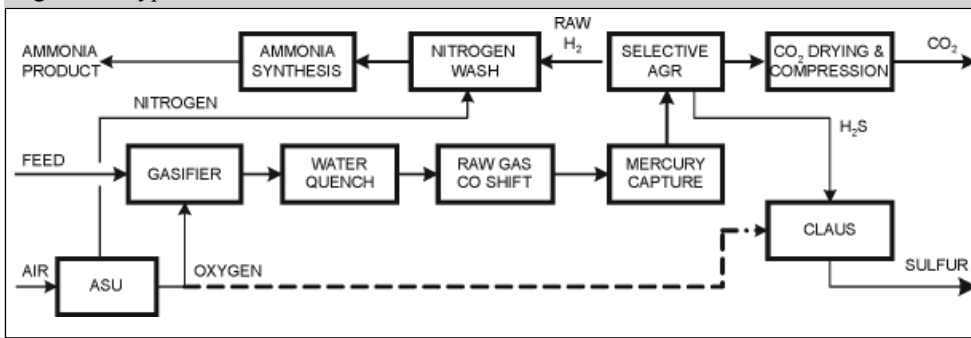


Figure 5 Typical Ammonia Plant based on Gasification



to see gasification making its contribution as one of a portfolio of technologies being used.

typically for ammonia fertilizer and methanol production. This can be seen by comparing Figures 4 and 5, the latter showing an ammonia production facility. The only real difference is that the raw hydrogen stream is fed to a nitrogen wash unit (removing CO to under 10ppm) and ammonia synthesis in the once case and to a gas turbine in the other. For methanol, one would need to bypass some gas around the CO shift in order to obtain the correct stoichiometry for the synthesis unit.

Such plants are in reliable operation around the world. Typical examples include:

- 600 t/d methanol plant for Eastman Chemicals in Kingsport, TN with coal feed.
- 1000 t/d ammonia plant for Coffeyville Resources in Coffeyville, KS with petroleum coke feed.
- 2000 t/d ammonia plant for Yara in Brunsbüttel, Germany with refinery residue feed.
- 160 MMSCFD (180000 Nm³/h) synthetic natural gas (SNG) plant for Dakota Gasification Company in Beulah, ND with brown coal feed.

The CO₂ removal facility of the last mentioned is equivalent to about a 340 MW_e power plant. In both the ammonia plants a large proportion of the CO₂ is compressed to about 150 bar for urea production. This pressure is similar to that typically required for CO₂ transport and storage.

In the case of the Dakota SNG plant, CO₂ is not only captured, but is transported over 300 km to the Weyburn oil field in Canada, where it is injected and stored for tertiary oil recovery.

6 Commercial Experience

The experience in commercial operation of these chemical plants has been good. Eastman regularly reports an on-stream factor of about 98% for their methanol plant, which was commissioned in 1984. Eastman is now building another of similar design at a new location. The availability of the Coffeyville ammonia

plant is also reported as being over 95%.

The reported availability of the first power plants based on gasification technology built in the mid-1990s was not so good [EPRI, March 2007]. Nonetheless, one can see that the lessons from the first generation of plants are being well learned. Last year the Buggenum plant increased its longest run time to over 4000 hours without interruption. The Nakoso plant in Japan, commissioned in late 2007 recorded an uninterrupted run of over 2000 hours in 2008. The 500 MW_e Sarlux plant in Italy which operated on refinery residue and was commissioned in 2000 has run consistently over 90% on-stream time.

There is however no doubt that without carbon capture, IGCC technology is more capital intensive than conventional combustion equipment. Most studies show however that when the cost of carbon capture is added, then IGCC is competitive. When looking at operating costs however, it is interesting to note that the Polk County IGCC is the lowest cost producer in Tampa Electric's total system [McDaniel and Hornik, 2002]. This can be attributed to its ability to consume low cost feedstocks such as petroleum coke.

7 Conclusion

Reduction of CO₂ emissions to a level that ameliorate the current rate of global warming can only be accomplished by a portfolio of measures. Carbon capture and storage can play an important role in helping reduce the carbon footprint of the power industry and other energy intensive sectors in the chemical industry.

The Integrated Gasification Combined Cycle is a technology that is available today at commercial scale and can be adapted for carbon capture using existing technologies proven at a suitable scale already in the chemical industry.

As energy policy focuses increasingly on low carbon strategies, we can expect

Literature

- Electric Power Research Institute (EPRI), "Integrated Gasification Combined Cycle (IGCC) Design Considerations for High Availability, Vol. 1: Lessons from Existing Operations", (Product No. 1012226), Palo Alto, CA: March 2007
- Electric Power Research Institute (EPRI), "The Power to Reduce CO₂ Emissions: The Full Portfolio." EPRI, Palo Alto, August 2007.
- IPCC, "IPCC Special Report on Carbon Dioxide Capture and Storage." Cambridge University Press, New York, 2005.
- McDaniel, J. and Hornik, M., "Polk Power Station, 7th Year of Commercial Operation." Paper presented at Gasification Technologies Conference, San Francisco, October 2002.
- Pascala, S and Socolow, R., "Stabilization Wedges: Solving the Climate Problem for the Next 50 years with Current Technologies." Science, 305, pp 968 ff. (2004).
- Sears, R., "Edwardsport IGCC Project Update." Paper presented at Gasification Technologies Conference, Washington, DC, October 2009.
- Tullius, K., "CCS in Europe: Supporting Early Demonstration." European Commission, DG-TREN, Paper presented at The International Symposium about Capture and Storage of CO₂, Seville, December 2008.
- "Die CO₂-Abscheidung ist erst noch ein Versuch.", VDI Nachrichten, 20th February, 2009

E. Karpenko, Branch Centre of Plasma- Energy Technologies of the RJSC “EES of Russia”, Gusinoozersk, Russia

V. Messerle, Ulan-Ude Branch of the Institute of Thermophysics of SB RAS, Ulan-Ude, Russia

A. Ustimenko, Research Department of Plasmotechnics, Research Institute of Experimental and Theoretical Physics of Kazakhstan National University, Almaty, Kazakhstan

P. Rakin, IHIS Naučno Tehnološki Park Zemun”, Beograd, Srbija

D. Rakin, IHIS Razvojno Proizvodni Centar, Beograd, Srbija

UDC: 662.61/.949 : 621.311.22

Plazma asistirano sagorevanje uglja za efektivno i ekološko korišćenje goriva

Uvod

Kotlovi na ugalj imaju dva problema, prvi - potreba da se koristi skup mazut za paljenje i drugi – povećan komercijalni pritisak na operatere da koriste sve raznovrsnije vrste uglja, ponekad i izvan preporuka datih od strane proizvođača opreme za sagorevanje. Oba ova problema imaju nepovoljan uticaj na životnu sredinu. Korišćenje mazuta pri paljenju povećava količinu gasa i čestica koje opterećuju pogon. Paljenje uglja lošijeg kvaliteta ima dva nedostatka: smanjene performanse stabilnosti plamena koje zahtevaju podršku mazutom i kao posledicu njihove emisije i naravno troškove koji iz toga proizilaze; takođe i smanjena efikasnost sagorevanja zbog povećanih količina ugljenika u ostatku pepela, što dovodi do povećanja štetnih emisija po proizvedenom MW električne energije. Plazma asistirano sagorevanje uglja predstavlja novu efektivnu i ekološki prijateljsku tehnologiju, koja je jednako primenljiva i za alternativna „zelena“ čvrsta goriva. Jedna od potencijalnih tehnologija je termo-hemijska plazmena priprema uglja za spaljivanje. Ova tehnologija se bavi gore navedenim problemima u TE. U okviru ove tehnologije neki deo sprasenog čvrstog goriva (SČG) je odvojen od glavnog toka SČG-a i podvrgava se aktivaciji pomoću plazma luka u specijalnoj komori - PGS-a (Slika 1.).

Vazdušni plazma plamen je izvor toplote i dodatne oksidacije, obezbeđuje sredinu sa visokom temperaturom obogaćenu radikalima, gde se mešavina goriva zagreva, isparljive komponente uglja se izdvajaju, i ugljenik se delimično gasifikuje. Ova aktivna mešava goriva može da zapali glavni

Rezime

Plazma asistirano sagorevanje uglja je tehnologija koja obećava za korišćenje u termo-elekttranama (TE). Ova tehnologija je realizovana kroz probe punog kapaciteta plazma asistiranog sagorevanja uglja korišćenjem plazma gorivnog sistema (PGS) koji je ugrađen u kotao TE. PGS je testiran za plazma paljenje i stabilizaciju plamena kotlova u raznim zemljama kod 30 parnih kotlova kod kojih je proizvodnja pare između 75 i 670 tona na sat koji su opremljeni različitim tipovima gorionika ugljene prašine. Kod testiranja PGS-a sve vrste energetske ugljeva (mrkog, bitumenoznog, antracitnog i njihovih mešavina) su korišćene. Sadržaj njihovih isparljivih komponenti su se kretale od 4 do 50%, pepela od 15 do 48% a kalorijske vrednosti od 6700 do 25100 kJ/kg. Ukratko, zaključeno je da razvije i industrijski testiran PGS poboljšava efikasnost sagorevanja uglja i umanjuje štetne emisije iz TE na ugalj.

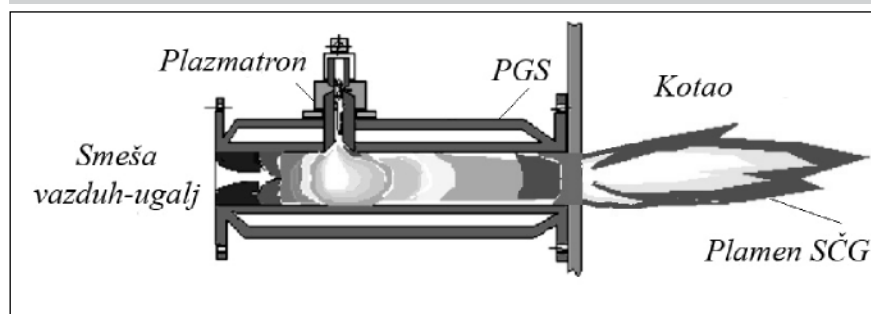
Ključne reči: ugalj, sagorevanje, termo-hemijska priprema, plazma-gorivo sistem, industrijsko testiranje

Abstract

Plasma supported solid fuel combustion is promising technology for use in thermal power plants (TPP). This technology was realised through full-scale trials of plasma supported coal combustion using plasma-fuel systems (PFS) mounted on a TPP boiler. PFS have been tested for boilers plasma start-up and flame stabilization in different countries at 30 power boilers steam-productivity of 75 to 670 tons per hour equipped with different type of pulverized coal burners. At PFS testing power coals of all ranks (brown, bituminous, anthracite and their mixtures) were used. Volatile content of them varied from 4 to 50%, ash - from 15 to 48% and calorific values - from 6700 to 25100 kJ/kg. In summary, it is concluded that the developed and industrially tested PFS improve coal combustion efficiency and decrease harmful emission from pulverised coal fired TPP.

Key words: Coal, Combustion, Thermo chemical preparation, Plasma-fuel system, Industrial tests.

Slika 1 Skica plazma – gorivo sistema (PGS)



energija

sčg tok koji se ubacuje u peć. Ova tehnologija obezbeđuje paljenje kotlova i stabilizaciju plamen SCG-a i eliminiše potrebu za dodavanjem jako reaktivnog goriva.

PGS su ispitani za paljenje kotlova i stabilizaciju plamena u raznim zemljama na 30 kotlova sa produktivnošću od 75 do 670 t/sat opremljenih sa različitim tipovima gorionika koji koriste sprášeni ugalj [1]. Razvijeni i industrijski ispitani PGS poboljšava efikasnost sagorevanja uglja i smanjuje štetne emisije iz TE koje koriste sprášeni ugalj za paljenje.

Sledeće prednosti plazma tehnologija za stabilizaciju potpale (goriva) i plamena kod bezmazutnih kotlova u odnosu na konvencionalne tehnologije su:

- smanjenje korišćenja mazuta i gasa u termoelektranama;
- efikasnost proizvodnje struje plazma-gorivo sistema je 3-4 puta veća, jer relativni strujni kapacitet plazmatrona čini (u zavisnosti od vrste uglja i gorionika) samo 0,5-2% od toplotnog kapaciteta gorionika na sprášeni ugalj;
- zamena stabilizujućeg goriva (mazuta ili prirodnog gasa) ugljem omogućuje smanjenje nastanka azotnih oksida za 40-50% zahvaljujući pretvaranja gorivnog azota u molekularni azot u zonama sa manjkom kiseonika za paljenje i sagorevanje, emisija sumpor oksida za 30-40% (u slučajevima kada se zameni mazut sa visokim sadržajem sumpora), a emisije vanadijum pentoksida su skoro u potpunosti otklonjene;
- takođe ukupne količine emisija ugljen dioksida su smanjene na račun povećanja efikasnosti procesa sagorevanja kod kotlova koji koriste sprášeni ugalj kao rezultat smanjenja nesagorelog ugljenika iz goriva;
- mogućnost paljenja energetskih blokova termoelektrana koje rade na sprášeni ugalj pri nedostatku pare za sopstvene potrebe;
- korišćenje širokog spektra energetskih ugljeva, lignita, uljanih škriljaca, treseta, biomase i njihovih mešavina dok su tehnički, ekonomski i ekološki indeksi energetskih blokova ostali isti.
- drugi korak razvoja plazma gorivnog sistema je njihova upotreba za gasifikaciju uglja i dobijanje od nisko kaloričnih ugljeva visoko kalorični i ekološki čist sintetski gas ($\text{CO} + \text{H}_2$) za spaljivanje u termoelektranama. Gasifikacija uglja pomoću vazdušne i parne plazme u

pilot kombinovanom gasifikatoru (potrošnja uglja od 32000 kg/h) je proučavana.

- upotreba plazma gorivnog sistema u termoelektranama smanjuju nesagoreli ugljenik za 40-50%, azotne okside za 50-60% i emisije ugljen dioksida se mogu smanjiti za 1-2%.

Dobijeni rezultati su omogućili formulisanje glavnih principa projektovanja plazma gorivnog sistema za njihovu industrijsku primenu.

Osnovni principi tehnologije plazma-energije

U [2] prikazano je da preko plazma plamena, čestice uglja sa početnom veličinom od 50-100 μm iskuse „toplotni udar“ i dezintegrišu se u fragmente veličine 5-10 μm . Ovo povećava aktivni interfejs čestica, značajno ubrzavajući odstranjivanje isparljivih materija (CO , CO_2 , H_2 , N_2 , CH_4 , C_6H_6 i druge) i 3-4 puta ubrzava proces oksidacije zapaljivih materija goriva.

Imate gorionik sa tokom od uglja i primarnog/prenosnog vazduha. Kiseonika za sagorevanje nema dovoljno, faktor viška vazduha je manji od 0,5. Uvođenjem plazma izvora zagreva se mešavina uglja i vazduha do temperature potpune isparavanja

isparljivih materija i indukuje delimičnu gasifikaciju ugljenisanog ugljenika, proizvedeći visoko reaktivno dvofazno gorivo (zapaljivi gas i ugljenisani ugljenik). Ovo visoko reaktivno gorivo inicira oksidaciju preostalog uglja. Obzirom da je u vazduhu manjak kiseonika, ugljenik se uglavnom oksidira u ugljen monoksid, koji dalje povećava reaktivnost vrele mešavine u gorioniku. Kada se ova mešavina ubrizga u peć ona podstiče paljenje glavnog dela uglja koji nije bio tretiran plazmom, koji sa se sa sekundarnim vazduhom uvodi u peć pomoću konvencionalnih gorionika.

PGS je testiran u laboratorijskim i u industrijskim uslovima za razne vrste energetskih ugljeva (škriljac, mrki ugalj, bitumenozni ugalj i antracit, uključujući mešavine lignita i antracitnog uglja koji ima visoki sadržaj pepela). Karakteristike korišćenih ugljeva su date u tabeli 1 [3]. Prinos isparljivih materija varira od 4 do 50%, sadržaj pepela od 15 do 80% i kalorijske vrednosti od 6.700 do 26.000 kJ/kg.

Industrijski testovi

PGS su bili ugrađeni u razne dodatne peći u TE na ugalj [4,5]. Tehnologija je uspešno testirana na 30 kotlova koji koriste sprášeni ugalj sa proizvodnjom pare u rasponu od 75 do 670 tona na sat u 17 TE u sedam zemalja (Rusija,

Tabela 1 Termotehničke karakteristike ugljeva

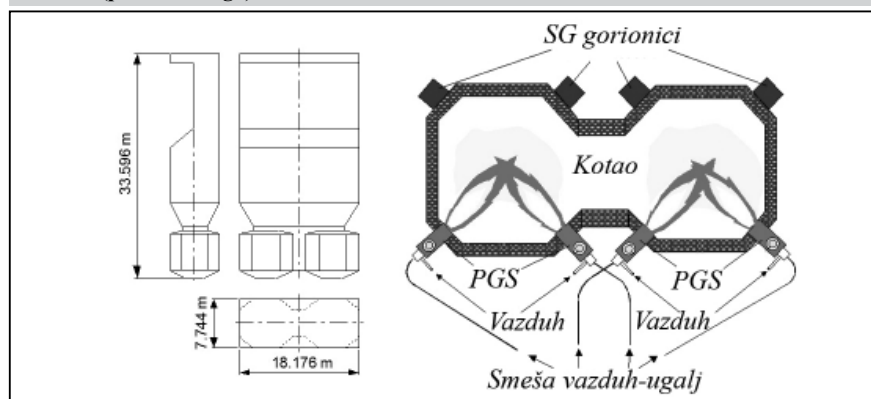
Vrsta uglja	W ^w , %	A ^d , %	V ^{dal} , %	Q ^w , kJ/kg
Mrki	25-35	15-20	35-50	12.500-16.000
Škriljac	40-50	75-80	48-50	6.700-8.500
Bitumenozni	5-12	20-45	15-40	16.500-21.000
Antracitni	5-8	25-35	4-10	18.000-26.000
Mešavina ugljeva	10,4	48,5	38,2	13.150

Napomena za skraćenice: W^w je vlaga na suvoj osnovi; A^d je sadržaj pepela na suvoj osnovi; V^{dal} je volitalizacija na suvoj osnovi; Q^w je niska kalorijska vrednost na suvoj osnovi

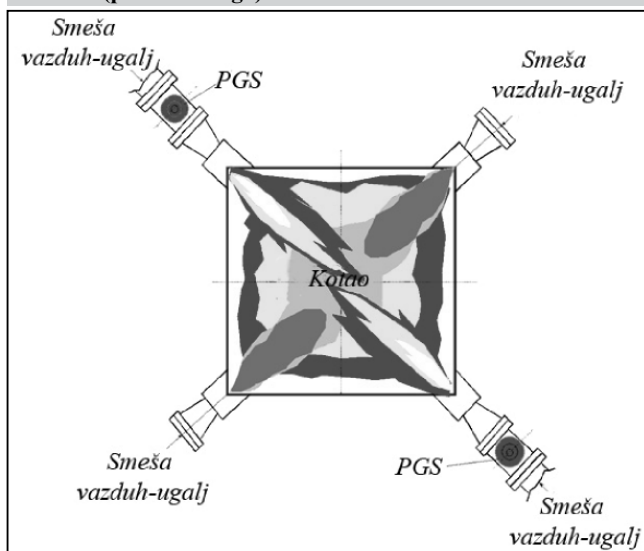
Tabela 2 Hemijska analiza bitumenoznog uglja iz Tugnuiski-a (na suvoj osnovi), Wt %

C	O	H	N	S	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O
61.7	13.2	4.1	1.2	0.39	10.99	4.34	1.94	1.16	0.35	0.16	0.12

Slika 2 Šema industrijske peći BKZ 640-140 kotao i peć opremljena sa četiri PGS (prikaz odozgo)



Slika 3 BKZ-420 peć kotla opremljena sa dva PGS (prikaz odozgo)



(sprašeno gorivo) gde se SG ubacuje iz punjača gde se ujedno i lageruje. Ukupno više od 70 plazma gorivnih sistema je bilo ugrađeno i testirano na kotlovima za sagorevanje. Na primer, PGS je bio ugrađen u peć sa parnim kotlom koji u punom kapacitetu proizvodi 640 tona na sat pare (Gusinoozersk TE, Istočni Sibir, Rusija). Šematski prikaz

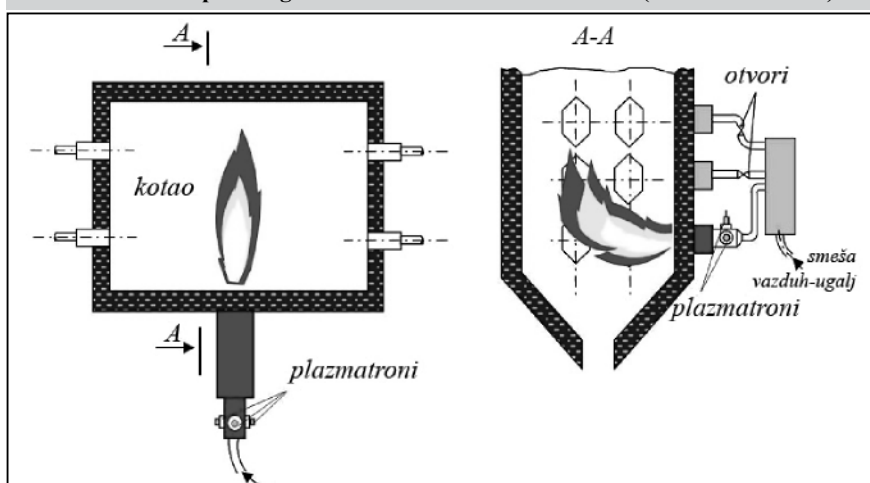
rade za vreme perioda zagrevanja kotla i u slučaju nestabilnog plamena. Kada je rad kotla stabilizovan, plazmatroni se isključuju i PGS nastavljaju da rade kao konvencionalni gorionici na SG. U slučaju nestabilnosti plamena, plazmatroni se ponovo uključuju. Kao gorivo korišćen je Tunguiski bitumenozni ugalj (Tabela 2) [3]. Ukupno, četiri sagorevača ove TE su bili opremljeni sa 16 PGS. Procenjeno je da je od 1995. godine više od 20.000 tona mazuta uštedeno u ovom objektu. Ovo odgovara smanjenju emisije oksida azota i sumpora, ugljen monoksida i vanadijum pentoksida za nekih 13.000 tona godišnje.

Slika 3 prikazuje šemu rasporeda PGS u peći kotla BKZ-420 u TE-4 u Ulan Batoru (prikaz odozgo). Dvanaest upaljenih gorionika na uglovima su postavljani na tri visine. Dva PGS su montirana u uglove u donjem redu.

Svih osam kotlova u termoelektrani su opremljeni sa PGS za korišćenje bezmazutnog goriva za paljenje kotlova. Nakon 2-3 sekunde posle paljenja sa PGS, temperatura oba plamena od sprašenog uglja je povećana do 1100-1150°C. Posle jednog sata, temperatura plamena dostiže 1260-1290°C i dužinu od 7-8 m. U saglasnosti sa uputstvom za rukovanje, ukupno vreme potrebno za paljenje kotla iznosilo je 4 sata.

Slika 4 prikazuje šemu rasporeda tri plazma generatora na gorioniku, koji radi na sprašeni ugalj sa direktnim džet pljosnatim (ravnim) plamenom, donjeg reda kotla BKZ-640 u Gusinoozersk TE (levo je dat prikaz odozgo; desno je dat presek).

Slika 4 Šema rasporeda gorionika i PGS na kotlu BKZ-640 (Gusinoozersk TE)



Kazahstan, Koreja, Ukrajina, Slovačka, Mongolija i Kina). U ove kotlove za sagorevanje ugrađeni su različiti sistemi sistema za paljenje pomoću sprašenog uglja kao što su direktni injezioni i indirektni sistemi za SG

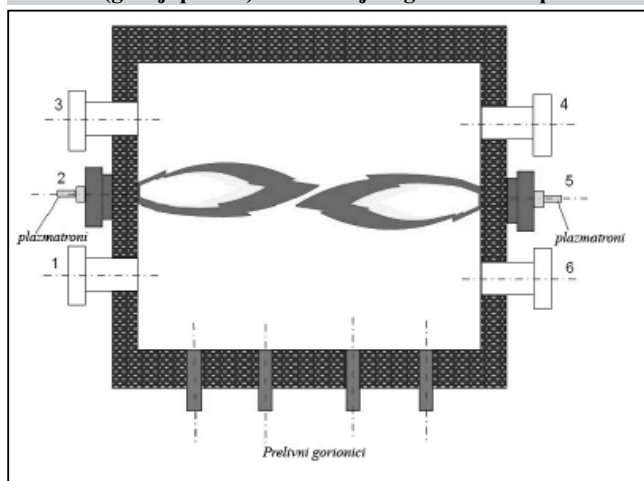
peći opremljenom sa PGS, zajedno sa glavnim dimenzijama je prikazan u slici 2. Peć se sastoji od dva simetrične komore za sagorevanje (polu peći), i svaka je opremljena sa 8 tangentalno usmerenih gorionika na SG (sprašeno gorivo) u dva sloja. Komore za sagorevanje su međusobno povezane pomoću centralnog odeljenja. Svaki gorionik uključuje primarno odeljenje za isporuku vazduha/SG odvoda i odeljenja za sekundarni vazduh. Četiri PGS zamenjuju četiri gorionika iz donjeg reda kao što je prikazano na desnoj strani Slike 2. Plazmatroni

Slika 5 ilustruje šemu rasporeda dva plazma generatora sa dva vorteksa gorionika donjeg reda kotla sa kapacitetom proizvodnje od 160 tona pare na sat u Neryungry TE u Rusiji.

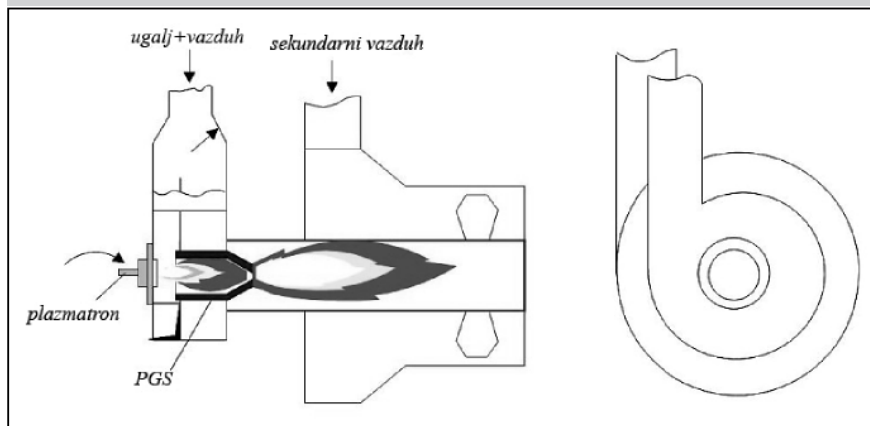
Na slici 6 prikazana je šema rasporeda plazma generatora sa komorom za termohemijski tretman goriva koji je ugrađen u „puža“ za mešavinu vazduha.

Poznavanje specifične potrošnje struje plazmatrona je potrebno da bi se procenila efikasnost PGS-a. Ovaj parametar je definisan kao odnos električne snage plazmatrona i potrošnje sprašenog goriva u PGS. Slike 7 i 8 predstavljaju eksperimentalne rezultate za NO_x umanjenja i smanjenje nesagorelog ugljenika za vreme rada PGS prema specifičnoj potrošnji energije za plazmatron. Vidi se da je koncentracija NO_x prepolovljena, a količina nesagorelog ugljenika je umanjena 4 puta. Smanjenje NO_x je zbog činjenice da azot iz goriva, koji se oslobađa iz uglja koji se nalazi u PGS u

Slika 5 Šema peći kotla KVTK-100 u TE Neryungry (gornji prikaz): 1-6 – brojevi gorionika na peći



Slika 6 Šema PGS koji je ugrađen na peć kotla KVTK-100 TE Neryungry



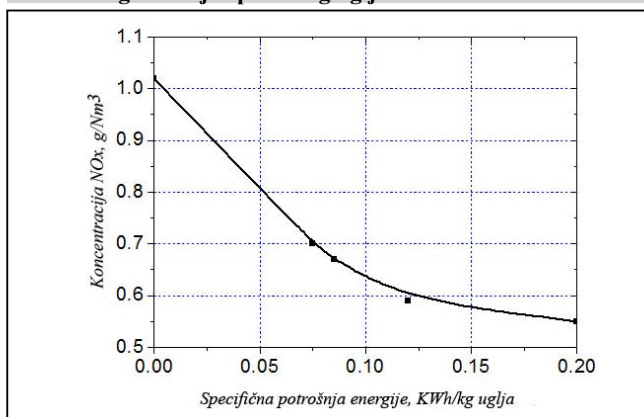
uglja usled „eksplozije toplote“ i fragmentacije kao rezultata njihove interakcije sa plazma lukom.

Tabela 3 predstavlja bazne indekse plazma-ugalj gorionika za paljenje uglja niskog kvaliteta u termoelektranama u Rusiji, Kini i Slovačkoj. Kao što se vidi iz tabele temperatura plamena je varirala u rasponu od 1.150 do 1.400 °C a njegova dužina može dostići od 2,5 do 6 m.

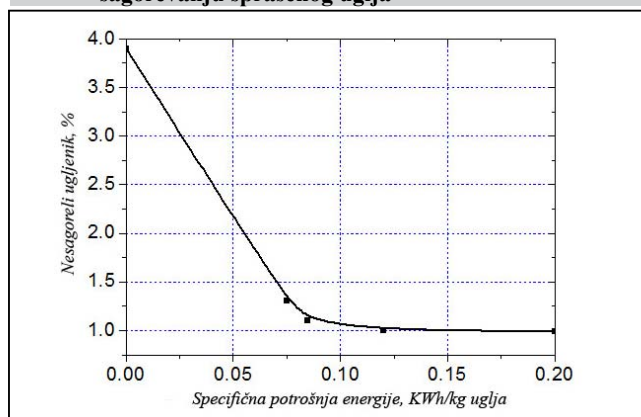
Zaključak

Razvijeni, ispitani i industrijski testirani plazma-gorivo sistemi poboljšavaju efikasnost sagorevanja uglja, dok

Slika 7 Specifičan uticaj potrošnje struje na redukciju koncentracije azotnih oksida pri plazma asistiranom sagorevanju spraešenog uglja



Slika 8 Specifičan uticaj potrošnje struje na redukciju nesagorelog ugljenika pri plazma asistiranom sagorevanju spraešenog uglja



uslovima smanjene količine kiseonika, formira molekularni azot u gasnog fazi. Obzirom da se azot iz goriva razvija unutar PGS i tu je pretvoren u molekularni azot, uglavnom se termalni azotni oksidi stvaraju unutar prostora (zapremine) inceneratora. Međutim,

azot iz goriva je glavni izvor emisije azotnog oksida iz klasično paljenih peći na spraešena goriva [6]. Što se tiče nesagorelog ugljenika (slika 8), njegovo smanjenje ukazuje na povećanje reaktivnosti goriva koja se objašnjava uvećanjem reaktivne površine čestica

u jedno umanjuju štetne emisije iz Termoelektrana koje koriste spraešeni uglj za paljenje. PGS eliminiše potrebu za skupim gasom ili mazutom pri paljenju, stabilizaciji plamena od spraešenog uglja i stabilizacije isteka tečne šljake iz peći sa odstranjivanjem

Tabela 3 Osnovni indeksi plazma-ugalj gorionika za plazma paljenjem uglja niskog kvaliteta

	Termoelektrana			
	Ekperimentalna klupa Centra Tehnologije Plazma-Energije, Rusija	Cherepetsk, Rusija	Shaogyang, Kina	Voyany, Slovačka
Snaga plazmatrona, kWh	320	150	320	260
Tip gorionika	vihorni gorionik	gorionik sa direktnim tokom	vihorni gorionik sa zidovima sa vazдушnim hlađenjem	vihorni gorionik sa postavljenim zidovima
Primarna potrošnja vazduha, m ³ /h	1.800	2.500	2.100	3.500
Maksimalna potrošnja uglja, t/sat	3	3	4	4,7
Toplota od sagorevanja uglja, MJ/kg	25	23	19,3	25,5
Proizvodnja isparljivih materija, %	4	15	8,2	7,5
Pepeo, %	19	27	30,5	18,7
Finoća mlevenja, % (R ₉₀)	48	15-20	10	8
Temperatura plamena, °C	1.200	1.150	1.170	1.400
Dužina plamena, m	2,5	6	4	4

tečne šljake. PGS popravlja zapaljivanje uglja i sagorevanje bez potreba za pomoćnim radnjama kao što su povećanje temperature mlina, smanjenje faktora viška vazduha ili finije mlevenje.

Literatura

1. E.I. Karpenko, V.E. Messerle, A.B. Ustimenko. 2008. Plasma-fuel system application in heat-and-power engineering // *Symposium "Power Plants 2008"*, 28-31 October, 2008. – Belgrade: Society of Thermal Engineers of Serbia and Montenegro, 2008, CD of the proceedings of the Symposium "Power Plants 2008", Vrnjjacka Banja, Serbia, Invited Lecture, p. 1-10
2. V.E.Messerle, V.S.Peregudov. 1995. Ignition and Stabilisation of Combustion of Pulverised Coal Fuels by Thermal Plasma, Thermal Plasma and New Materials Technology, in: O.P.Solonenko, M.F.Zhukov (Eds) *Volume 2: Investigation and Design of Thermal Plasma Technology*, Cambridge International Science Publishing, London.
3. Matveeva I.I., Novitski N.V., Vdovchenko V.S. et al. 1979. *Power generating fuel of the USSR (fossil coal, shale oil, peat, fuel oil and gas fuel)*. Handbook, Moscow: Energy, 128 p.
4. E.I.Karpenko, V.E. Messerle, A.B. Ustimenko. 2007. Plasma-Aided Solid Fuel Combustion // *Proceedings of the Combustion Institute*, V.31, Part II, pp.3353-3360
5. E.I.Karpenko, V.E.Messerle, A.B.Ustimenko. 2007. Plasma Aided Coal Combustion. *Abstracts and Full-Papers CD of 18th International Symposium on Plasma Chemistry* // Kyoto, Japan, August 26-31, Kyoto University, Japan – Abstract – p. 652, CD – Topic 28P-181
6. Tike D.H., Slater S.M., Sarofim A.F. and Williams J.C. 1974. Nitrogen in Coal as a Source of Nitrogen Oxide Emission from Furnace. *Fuel*, 53, pp 120-125

Daniela Marasová

Fakulta BERG TU v Košiciach, Košice

Kučera Matej, Kučera Stanislav

Elektrotechnická fakulta Žilinskej univerzity, Žilina

UDC: 622.33 : 621.313.001.6 : 504

Possibilities of Increasing of Ecological Conditions in Mining Environment by a Reconstruction of the Present Engine DH30

Abstract

Solving the problems of increasing requirements on transport, while respecting actual environment criteria, new solutions are being looked for to make an optimum mutual equilibrium. One of the possibilities of increasing ecological conditions, which are decreased by means of transport in a mine, shows this contribution that suggests a reconstruction of the original diesel-hydraulic engine DH30 to two-system drive and to hybrid drive. In the reconstruction a DC and an asynchronous engine are suggested as traction engines. This reconstruction of drive means not only increasing of the ecological conditions in the mine but also an ability of using biofuel made from crop that grew on contaminated soil.

1. Introduction

The demand for quality of environment has recently increased. This fact evolved its impact on criteria of devices that change energy from oil products to traction energy. Mine engine with combustion engines, which are widely used in The Hornonitrianske Bane /mining company/ are a typical representative of a moving detrimental emission product. Results of researches and a monitoring of smoke particles in exhaust gases as well as mechanism of their creation and their influence to human body mean an intricate problem that is necessary to solve. In general these solutions could be made in two ways.

- by increasing of the efficiency both ventilation and air conditioning of subterranean spaces
- by decreasing of detrimental emission

The first suggestion is highly economically demanding therefore the second suggestion should be taken into consideration. One of the ideas which could be applied to this problem is using of *two-system traction drive powered from electroaccumulator*

2. Suggestion

2.1 Two-system Traction Drive for Engine DH30

Considering a present economic status complete elimination of pollution in mining spaces caused by exhaust gases from the DH30 Engine could only be done by reconstruction of the Engine.

The aim of the reconstruction is to replace the combustion engine and hydraulic distribution with an electric drive while traction characteristics will remain at their values. A scheme of such reconstruction where the source of energy are electric/accumulator batteries shows *fig.2. 2*

The batteries are recharged while the engine operates on cabled section of a route. Braking with a use of a recuperator decreases demand for energy and extends the life expectancy of traction wheels.

An important parameter which essentially determines the actual design of traction batteries is the time spent on uncabled route and their energy requirement.

2.1.1 Drive with DC Traction Engine

Exploiting of DC engine in traction application are well known. By using

Fig. 1 Basic dimensions of DH30 Engine

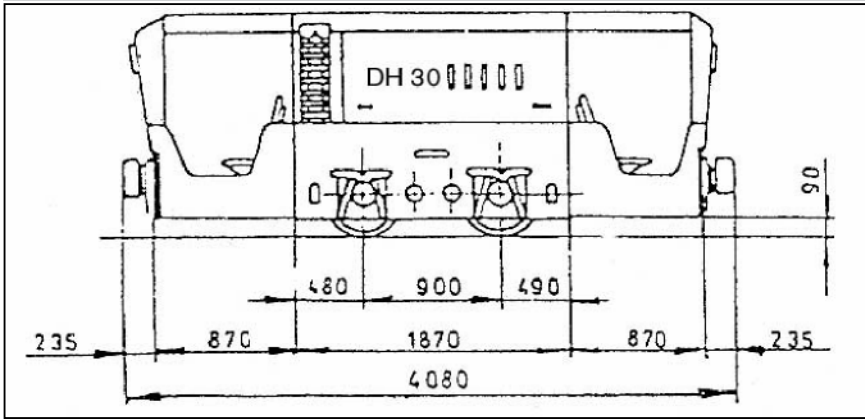


Fig. 2.2 A scheme of electric traction circuits of the reconstructed, two-system engine DH30

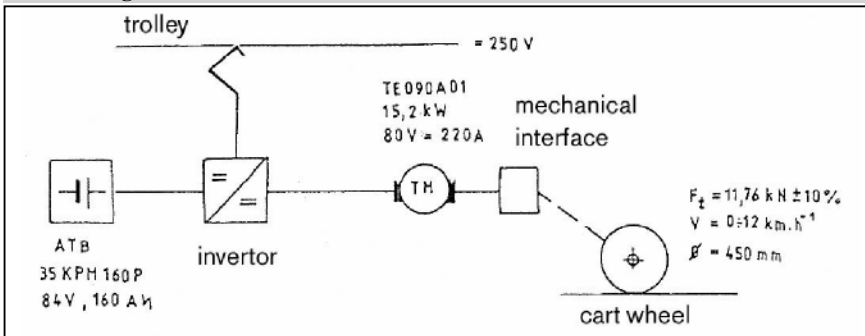
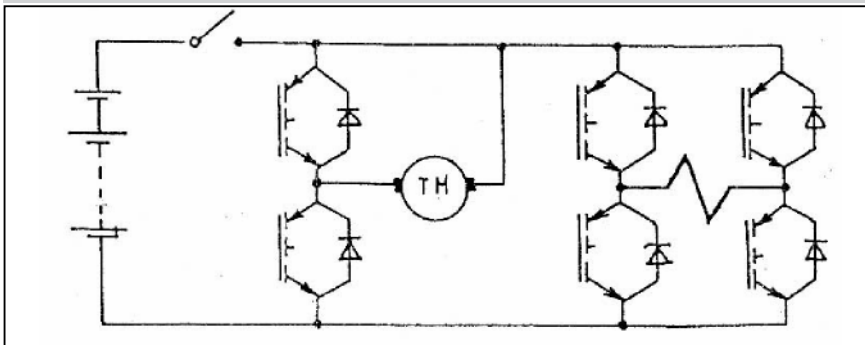


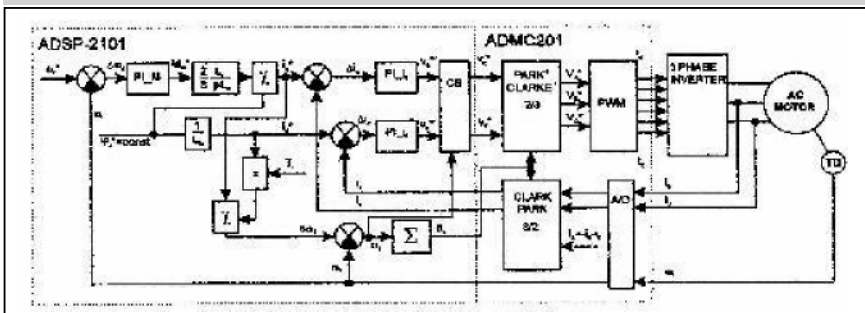
Fig. 2.3 A scheme of connection of the DC engine with independent exciter



of power electronic it is possible to supply such drive that the energetical loading of electro acomulators will be at minimum. A high quality power transistors /current loading 400A, voltage 120V, galvanically separated control element excitement in one integrated box together with power

part/ and their ability of working at the frequency of 20kHz, that is above a human hearing level, enable reliable and noiseless operation. Fig2.3 shows a scheme of connection of the DC engine with independent exciter. Excitement of the engine is powered from a 4-quadrant changer. The amount

Fig. 2.4 A scheme of connection and of control of the asynchronous engine



of voltage is controlled by a 2-quadrant changer. This scheme is used in applications where quick changing from drive to braking regime is necessary.

2.1.2 Drive with an Asynchronous Traction Engine

An one-engine traction drive with an asynchronous engine with short circuit armature is regarded as one of the most perspective for an output range from several W up to MW. According to its output, regulation range, kind of loading, quadrant characteristics, dynamical requirements, etc an array of solutions arise. Each solution differs from one another with a kind of frequency changer, way of control and technical devices. In motoric regime the changer changes input DC values to AC values of different rate, frequency and number of phases. In case of electric braking the engine changes to generator. A scheme of connection and of control of the asynchronous engine is in Fig. 2.4.

2.2 Hybrid traction drive

Using of electro-petrol and electro-diesel engines in mines has been used for more than 70 years. The first electro-petrol engine in Slovakia was introduced in The Mine Hodruša in 1928. Output of a 4-stroke petrol engine was 5.85kW and a clutched dynamo had an output of 6.2kW that produced voltage of 380V. An Electro-diesel engine was used in Slovakia for the first time in the year of 1934. This system of traction drive has been used until present time by the terms of transport requirements in the mine.

on the similar principle is based the proposed reconstruction of the mining engine DH30 (Fig.1). The essence of this reconstruction is replacing of the original diesel-hydraulic drive unit with electro-diesel-accumulator unit where the asynchronous engine acts the traction engine. A block diagram of the electrical part of this reconstruction is on Fig.2.5.

Most of applied combustion engines eue liquid fuel. What kind of fuel can be used for for combustion engines shows Fig. 2.6

3. Distribution of Traction Output

Distribution of traction output could be done partially according to a user or according to a predefined software. An autonomous control of a microprocessor unit for the distribution of traction output is depicted in Fig.3.1.

In system of control information from operator is prossessed together with

Fig. 2.5 Block diagram of the electrical part of this reconstruction

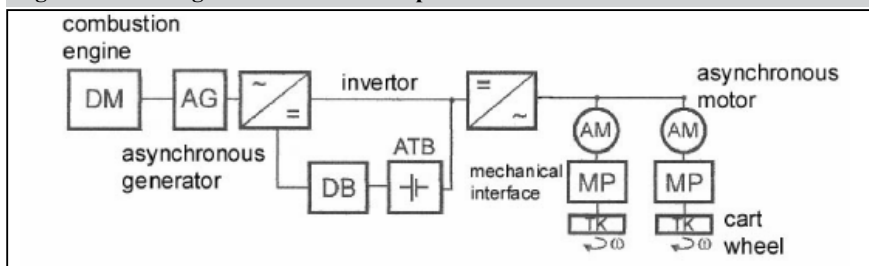
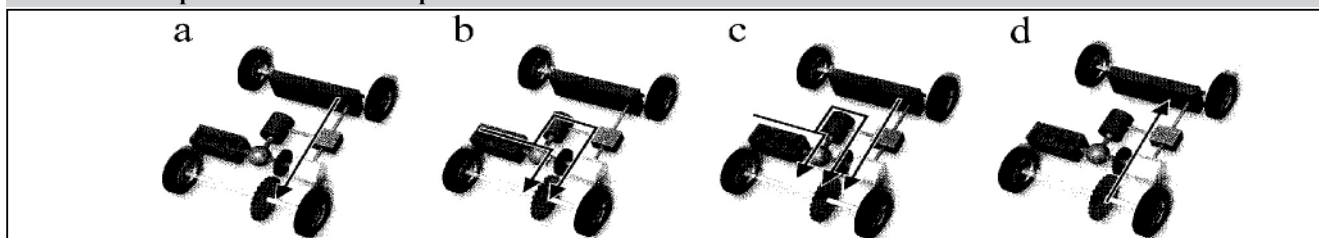


Fig. 2.6

Engine	Fuel	Energy [MJ.liter ⁻¹]	Efficiency [%]
Elsbett	vegetable oil	34.3	31.0
Diesel	MERO	31.1	28.1
Diesel	diesel	35.1	28.0
Alcohol	methanol	18.0	31.0
Alcohol	ethanol	21.1	30.0

Fig. 3.1 a- normal operation,, b- drive with insufficient accumulator capacity, c- drive with using of all energetical sources, d- recuperation of traction output



information about a state of input supply, impulse changer, inverter and traction engine. The control must fulfill specific requirements derived from a traction engine and from technology of transport. It means mainly the control of a magnetic flow in the engine and torque. Drives for general purposes are often dealt with a cheap solution without speed sensors and only with small number of other sensor for electrical values. For drives with dynamic requirements a vector control has become common. This enables to control a magnetic flow and torque in steady-state regime as well as in transition state. Mathematical simulation of controlled traction drive with an asynchronous engine reveals very good dynamical characteristics.

4. Conclusion

Actual operation of mine engines DH30 and DH100 involves large costs for working environment. This article shows that using of electrical energy for traction purposes highly eliminates (hybrid system) or almost completely reduces (two-system drive) detrimental influences on working environment. Several options of reconstruction of the DH30 engine for two-system or hybrid electric traction enables to use an asynchronous engine or DC engine as a traction engine. By using the

asynchronous engine powered from semiconductive changer the problem of pulsing parts of torque is dealt with regulation. This reconstruction also means energy saving. This system also improves storing and manipulation with oil product in the mine. Another advantage apart from increasing the ecological conditions and energy saving is that, that the Elsbett engine uses vegetable oil which can be produced on contaminated soil.

5. Literature

- [1] Kučera, S., Šály, V.: Distribution of Power Output in the Hybrid Passenger Automobile. 23rd International Spring Seminar on Electronics Technology. Budapest 2000, 429.
- [2] Ružinský, M., Smola, A., Šály, V.: Obnovitelné zdroje elektrické energie. Elektrotechnika-Elektroenergetika, october 1999, 8
- [3] Kučera, S. a kol.: Výskum možnosti zníženia ekologického zaťaženia životného prostredia efektívnym využitím elektrickej trakcie v aplikáciách konvenčnej a nekonvenčnej dopravy, Výskumná správa -VŠDS- Žilina, 1996.

- [4] Kučera, S., Michalík, J.: Elektrische Traktion und ihre Einfluß an die Untertagebergbauumwelt. IWKM '98 – Band B – Moderne Energiesysteme. 11.-14. november 1998 in Mittweida-Germany, Mittweida 1998. 143.
- [5] Technické informácie fy. Toyota Motor Corporation.sezóna r. 2001.
- [6] Kučera, S. a kol.: Návrh osobného hybridného elektromobilu. Výskumná správa 031/602/2001. Žilinská univerzita v Žiline EF - KTAE, Žilina 2001.

Sirovinska baza i perspektive razvoja rudnika uglja "Štavalj" - Sjenica

Uvod

Geološko-rudarskim istraživanjem šireg područja Sjeničko-štavaljskog basena utvrđene su velike rezerve kvalitetnog mrkolignitskog uglja. Utvrđene rezerve uglja u Sjeničko-štavaljskom basenu, predstavljaju značajan energetske potencijal i sirovinsku bazu za izgradnju rudnika sa jamskom eksploatacijom, basen svrstavaju u najperspektivnije u pogledu količina i kvaliteta u Srbiji.

U okviru ovog rada dat je kraći prikaz utvrđenih geoloških rezervi uglja, postojećih proizvodnih kapaciteta, kao i moguće proizvodnje uglja iz ležišta.

Geografski položaj, morfološko-hidrološke i klimatske karakteristike basena

Sjeničko-štavaljski ugljonosni basen, nalazi se na jugozapadu Srbije. Prema teritorijalno-administrativnoj podeli pripada južnom delu zlatiborskog okruga i opštini Sjenica. Sjenički kraj je u geografsko-morfološkom smislu dosta izolovan (*slika 1*). Sa severa i severo-istoka okružen je visokim planinama Javorom i Golijom, sa istoka Ninajom, Homarom i Suharom, sa juga Krušićicom, Humom, Žilindarom, Jarutom i sa zapada Giljevom planinom, Jadovnikom i Zlatarom.

Prirodni uslovi za ostvarivanje saobraćajnih veza su otežani, pa ovaj kraj „zaobilaze“ glavne saobraćajnice. Sjeničko-štavaljski ugljonosni basen nalazi između dve železničke pruge (Beograd-Bar i Beograd-Kraljevo-Skoplje) i dva drumska koridora (Ibarska magistrala i Beograd-Užice-Crnogorsko primorje). Najznačajnija saobraćajnica je regionalni put Raška–Novi Pazar–Sjenica–Prijeopolje,

Rezime

Od svih aktivnih eksploatacionih ugljenih basena za jamsku eksploataciju u Republici Srbiji Sjeničko-štavaljski basen raspolaže sa najviše geoloških i komercijalnih rezervi veoma kvalitetnog tvrdog mrko-lignitskog uglja. Ukupno do sada istražene geološke rezerve uglja na svega 20 % istraženog prostora iznose oko 240.000.000 tona uglja.

Mogućnost i uslove razvoja proizvodnje uglja u Sjeničko-štavaljskom ugljenom basenu, odnosno mogućnosti izgradnje novih proizvodnih kapaciteta, treba posmatrati ne samo na osnovu mogućnosti i uslova ležišta i aktuelne energetske situacije i energetske politike zemlje, već i sa aspekta geografskog položaja ležišta i specifičnih klimatskih uslova, koji vladaju na Sjeničkoj visoravni.

Gljučne reči: Sirovinska osnova, regionalni razvoj, energetska situacija.

Abstract

Off all active exploitation basines with underground exploitation in Republic of Serbia, the Sjenica-štavaljs basin has with biggest geological and commercial reseivs of the hard brown coal of the best quality. totally until now is reserched geological reseivs of coal of approximately 20 % of coal field and they are 240.000.000 t.

Possibility and conditions of development the coal production in Sjenica-štavaljs basin, respectively the capability of bilding the new production facilities, ought to be considered not only on base of capability but also from the aspect of geographic position of deposits and specific climate conditions, which exists on Sjenicas highland.

Key words: Mineral base, regional delopment, energetic situations.

jer povezuje ovaj kraj sa železničkim prugama i magistralnim drumskim saobraćajnicama.

Sjeničko-štavaljski ugljonosni basen u tektonskom pogledu prestavlja poprečnu potolinu spuštenu i duboko usečenu u stariji paleoreljef koji je izgrađen od paleozojskih stena, trijaskih karbonatnih naslaga i tvorevina dijabaz-rožnačke formacije.

Sjeničko područje obiluje brojnim potocima i rekama koji obrazuju mrežu površinskih tokova. Hidrografska mreža u celini pripada slivu reke Vape površine oko 500 km².

Prema geografskom položaju Sjeničko-štavaljski basen pripada pojasu umereno kontinentalne klime. Zbog značajne nadmorske visine vazduh je hladniji i klima zadobija obeležja „subplaninskog klimata“.

U sjeničkoj kotlini dolazi do temperaturne inverzije usled nagomilavanja i zadržavanja hladnog vazduha koji se spušta sa okolnih planina. Ovaj vazduh, jako rashlađen, zadržava se na dnu kotline, dok su na većim visinama, odnosno na obodnim planinama, temperature vazduha više.

Slika 1 Geografski položaj sjeničko-štavaljskog ugljunosnog basena (položj ležišta označen žutim kvadratom)



Geološke karakteristike Sjeničko-štavaljskog basena

U geološkoj građi Sjeničko-štavaljskog basena učestvuju sledeći litostratigrafski članovi predstavljeni po vremenu stvaranja stenama različite starosti: Mlađi paleozoik (donji i gornji karbon), Mezozoik (donji, srednji, gornji trijas i srednja i gornja jura) i Tercijar (srednji i gornji miocen, donji pliocen).

Istraživanja šire okoline basena ukazuje da on leži na preseku regionalnog razloma reke Vape na zapadu i Ljutske reke na istoku. Razlom reke Vape čine dva međusobno paralelna gravitaciona raseda duž kojih je došlo do tonjenja i formiranja široke doline reke Vape, tako da ovaj blok u strukturnom smislu predstavlja tektonski rov. Glavne tektonske strukture prate dolinu Ljutske reke i doline reka Vape i reke Jablanice, što ukazuje na stepeničasto spuštanje tektonskih blokova od severoistoka prema jugozapadu.

Stvaranje tektonskih rovova i potolina vezano je za fazu "alpske orogeneze", koja je na našim terenima imala bitnog uticaja pri formiranju tercijarnih basena sa pretežno mrko-lignitskim ugljevima. Svim dosadašnjim izvedenim istražnim radovima, geološkim kartiranjem, istražnim bušenjem i rudarskim radovima utvrđena je produktivna ugljunosna serija na prostoru od oko 30 km². U središnjem delu basena na bazi do sada sprovedenih geoloških istraživanja, od reke Vape do sela Brnjice, utvrđene ugljene rezerve iznose oko 194.000.000 tona. Stepennost istraživanja basena je dosta neujednačen, tako da je u pojedinim delovima postignut visok stepen, sa

obračunatim ugljenim rezervama A+B+C₁ kategorije, dok je u drugim delovima ugljene rezerve mogu razvrstavati u kategoriju C₂. Na bazi do sada sprovedenih geoloških istraživanja i dobijenih pozitivnih rezultata konstatovano je da je središnji deo basena produktivan, pa se u okviru potvrđenog jedinstvenog ugljunosnog prostora mogu izdvojiti 4 ugljunosna polja od posebne ekonomske vrednosti.

Zapadno ugljunosno polje

zahvata najveći prostor u Sjeničko-štavaljskom basenu, između sela Štavalj na istoku i doline reke Vape na zapadu na površini od oko 13 km². Istraženo je isključivo istražnim bušenjem u kome je utvrđeno postojanje ugljene serije sa ugljenim slojem promenljive debljine 5,0 do 24,0 m, dok je debljina čistog uglja u proseku oko 9,0 m. U donjem delu sloj je delimično protkan jalovim proslojcima, dok je u gornjem delu čist i kompaktan ugalj. Cela ugljena serija blago zaleže pod uglom 5-20°. Na osnovu strukturno-tektonskih odnosa ovo polje je izdvojeno u tri velika samostalna bloka označena kao severni, srednji i južni blok.

Severni blok zahvata površinu oko 5,0 km². Stepennost istraživanja je takav da se može pristupiti izradi investiciono-tehničke dokumentacije, a i rudarskim putem razrađivati i pripremati za eksploataciju. Geološke rezerve uglja u ovom bloku iznose oko 55.000.000 tona.

Srednji i južni blok, na površini od oko 8 km² ima potvrđenih oko 94.000.000 tona rezervi uglja.

Centralno (eksploataciono) polje zahvata centralni deo basena, izdvojeno na prostoru od 1,3 km², istraženo dubinskim istražnim bušenjem, a otvoreno rudarskim jamskim radovima i površinskim kopom. U centralnom polju se vrši aktivna eksploatacija a rezerve uglja iznose oko 11.500.000 tona.

Istočno polje izdvojeno je u istočnom delu basena. Zahvata površinu od oko 5 km², u predelu zaseoka Radsulići i Kokošića na zapadu, sela Stupa i Raspoganča na severu, Brnjice i Brnjičke reke na istoku i Veskova kleča na jugu sa rezervama oko 28.000.000

Tabela 1 Ukupne rezerve uglja u Sjeničko-štavaljskom basenu utvrđene dosadašnjim istraživanjima

KATEGORIJA	REZERVE (t)
A	2.731.463
B	110.739.167
C ₁	81.120.096
A+B+C ₁	194.590.726
C ₂	50.000.000
UKUPNO	244.590.726

tona. Prosečna debljina ugljenog sloja kreće se oko 7,5 m.

Južno ugljunosno polje izdvojeno je u južnom delu basena JZ od reke Vape u predelu Krće-Medare na površini od oko 10 km². Južno polje nije detaljnije istraživano pa se rezerve uglja procenjuju na oko 50.000.000 tona. Ugljeni sloj je veoma složene strukture, raslojen u više manjih slojeva, naizmenično smenjivih sa ugljevitim laporcem, ređe ugljevitom glinom. Debljina ugljenog sloja u proseku iznosi oko 4,5 m. Ovaj prostor predstavlja perspektivu za istraživanje i utvrđivanje novih ugljenih rezervi.

Posmatrajući Sjeničko-štavaljski basen u celini, dosadašnjim istraživanjima i na osnovu njih izvršenih proračuna, potvrđene su rezerve uglja čije su ukupne količine prikazane u tabeli 1.

Pregled dosadašnje proizvodnje

Najstariji podaci o eksploataciji uglja u ovom basenu datiraju iz 1936. godine, kada su i započeta istraživanja, da bi se intenzivirala posle Drugog svetskog rata. Organizovana i sistematska istraživanja uglja dubinskim bušenjem započela su 1953. godine koja, sa prekidima traju do danas.

Ova istraživanja omogućila su otvaranje rudnika na lokaciji Stupsko polje u selu Stup 1955. godine. Početna proizvodnja od 3.750 tona 1955 godine porasla je 1965. godine na 50.000 tona komercijalnog uglja. Jama „Stupsko polje“ napuštena je 1967. godine, iste godine otvorena je nova jama „Nada“ u selu Štavalj.

Eksploatacija uglja u jami „Nada“ se vršila sve do 1976. godine, kada je jama prinudno zatvorena zbog jamskog požara. Te godine je otvorena nova jama „Štavalj“ gde se i danas vrši eksploatacija.

U tabeli 2 prikazana je ostvarena proizvodnja po godinama od početka aktivne eksploatacije do danas.

Trenutna proizvodnja koju rudnik „Štavalj“, ostvaruje iznosi između 60-70 hiljada tona komercijalnog uglja godišnje. U jami se paralelno sa

Tabela 2 Pregled proizvodnje uglja

Rudnik	godina	proizvodnja (t)	Rudnik	godina	proizvodnja (t)
STUP	1950	x	ŠTAVALJ	1980	56.958
	x	x		1981	36.000
	1954	otvoren		1982	73.764
	1955	3.750		1983	73.976
	1956	4.100		1984	83.310
	1957	7.900		1985	100.036
	1958	8.700		1986	80.933
	1959	9.000		1987	83.362
	1960	14.000		1988	83.685
	1961	16.000		1989	74.063
	1962	22.000		1990	59.230
	1963	40.000		1991	61.896
	1964	50.000		1992	73.380
	1965	52.400		1993	86.230
	1966	40.200		1994	60.025
1967	37.100	1995	46.435		
1968	zatvoren	1996	45.595		
UKUPNO U STUPU	1955 – 1967	305.150			
ŠTAVALJ	1968	42.300		1997	65.085
	1969	40.500		1998	88.111
	1970	42.000		1999	72.080
	1971	31.600		2000	87.319
	1972	38.200		2001	57.727
	1973	42.200		2002	50.406
	1974	42.600		2003	56.190
	1975	53.200		2004	60.737
	1976	39.190		2005	67.394
	1977	46.045		2006	56.858
	1978	42.532		2007	61.125
	1979	54.979		2008	69354
		UKUPNO U ŠTAVALJU	1968-2008	2.486.610	
			SVE UKUPNO 1950-2008	2.791.760	

- Rudnik je pustio 2000. godine mokru separaciju koja čisti ugalj na principu autogene suspenzije, ista se mora maksimalno koristiti jer njeni kapaciteti premašuju projektovane proizvodne kapacitete.
- Glavni limitirajući faktor sigurne i ekonomski opravdane proizvodnje u rudniku „Štavalj“, a i u celom basenu predstavljaju veoma složeni hidrogeološki uslovi ležišta. Izvori ovodnjenosti su podzemne vode iz pukotinskokarsne i pukotinskorazlomne sredine i površinske vode mesne hidrografske mreže, prognozirani dotoci su oko 200-300 m³/h rede 700-800 m³/h. Koeficijent vodoobilnosti se kreće između 20-30. Sa tog aspekta kada se govori o perspektivama daljeg razvoja rudarstva u basenu mora se dati prioritetan značaj hidrogeološkim istraživanjima kako u fazi istraživanja za izradu investiciono-tehničke dokumentacije, tako i u fazi eksploatacije uglja.

otkopavanjem, vrše i pripreme za dalji nastavak otkopavanja i otvaranja novih otkopnih polja.

Perspektive razvoja

Mogućnosti i uslovi proizvodnje uglja u Sjeničko-štavaljskom basenu, treba posmatrati prvo u smislu postojećih prirodnih i tehničko-tehnoloških uslova eksploatacije i drugo u smislu mogućnosti izgradnje novih proizvodnih kapaciteta.

Proizvodno-razvojne mogućnosti u postojećim uslovima rudnika "Štavalj"

Rudnik "Štavalj" ima najveći sirovinski potencijal od svih rudnika sa podzemnom eksploatacijom u Srbiji. Sa stanovišta sirovinske baze (9.970.000 t. – bilansnih rezervi) rudnik "Štavalj" može biti ne samo nosilac sopstvenog razvoja već i podzemne eksploatacije uglja u Srbiji. Rezerve uglja u Centralnom eksploatacionom polju od 16.014.976 tona koje se eksploatišu u postojećoj jami, realno obezbeđuju kontinuirani proizvodni kapacitet od minimum 130.000 tona godišnje u narednih 40 godina eksploatacije.

Proizvodno-tehničke mogućnosti Rudnika karakteriše sledeće:

- Relativno mala razuđenost jame sa skoro pravolinijskom komunikacionom povezanošću osnovnih prostorija otvaranja i pripreme sa proizvodnim revirima, kao i njihova propustna moć odgovaraju kapacitetu godišnje proizvodnje i preko 130.000 tona komercijalnog uglja.
- Dekoncentracija proizvodnje, koja je bila osnovna karakteristika dosadašnje eksploatacije, umanjuje produktivnost i uvećava troškove pri istim uslovima eksploatacije.
- Istražni i pripremni radovi moraju se izvoditi sa prioritetom i dinamikom koja obezbeđuje kontinuitet otkopavanja.
- Primenjena metoda i tehnologija otkopavanja su neracionalni sa stanovišta iskorišćenja eksploatacionih rezervi uglja i brzine izvođenja priprema novih otkopnih polja. Zato se mora preći na produktivniju metodu i tehnologiju otkopavanja. Istražne i osnovne pripreme u jami izvoditi mehanizovanim postupkom uz primenu mašina za izradu rudarskih prostorija.
- Neohodna je edukacija radne snage, svih kvalifikacionih struktura.

Navedene činjenice i njihovo tehničko-tehnološko razrešenje, čine osnovu buduće koncepcije razvoja jame i Rudnika. Sa ovog stanovišta postoje razlozi daljeg razvoja Rudnika ali u granici limita koga objektivno postavljaju lokacija Rudnika i klimatski uslovi, tržište, ekološki uslovi i drugo.

Razvoj ležišta u celini

Mogućnosti i uslovi razvoja proizvodnje uglja u Sjeničko-štavaljskom ugljonosnom basenu, odnosno mogućnosti izgradnje novih proizvodnih kapaciteta, treba posmatrati ne samo na osnovu mogućnosti i uslova ležišta i aktuelne energetske situacije i energetske politike zemlje, već i sa aspekta okolnosti koje realno ograničavaju iskorišćenje, bez sumnje velikog proizvodnog potencijala ovog ugljonosnog basena. Kao uticajni elementi, koji nasuprot sirovinskom bogastvu i relativno povoljnim eksploatacionim uslovima, ograničavajuće deluju na planu njegovog iskorišćavanja, navode se sledeći:

- Opšti klimatski uslovi u dužem vremenskom periodu (od novembra do aprila), značajno reduciraju transportni kapacitet do potrošača i to u periodu kada je ugalj najpotrebniji.

energija

- Geografski položaj sa drumsko-kamionskom povezanošću sa potrošačkim centrima, u velikoj meri utiče na dostavni kapacitet do potrošača kao i na visinu transportnih troškova.
- Svi značajniji potrošači uglja, nalaze se izvan radijusa udaljenosti od 80 km, gde troškovi transporta (prevoza) znatno utiču na konkurentsku sposobnost rudničkog proizvoda.
- Nedostatak velikog ili većeg potrošača uglja u gravitacionom području ležišta, umanjuje profitabilnost poslovanja u celini.
- Blokovska makro i mikro struktura ležišta, zahteva za masovnije proizvodnje uglja velika ulaganja i to uz povećane troškove eksploatacije.

Konfrotirajući neke očigledne komparativne prednosti Rudnika i ležišta (sirovinska osnova, radna snaga, relativno povoljni eksploatacioni uslovi itd.) sa takođe nekim očigledno nepovoljnijim okolnostima po Rudnik i ležište (mala trenutna proizvodnja, slaba konkurentna sposobnost na tržištu, klimatski uslovi nepovoljni, relativna udaljenost od potrošača i drugo), onda se kao imperativ nameće dalja optimizacija razvoja ležišta u celini.

Ovde treba istaći da se negativne okolnosti drumskog transporta mogu prevazići korišćenjem železničke stanice u gradu Raški (stanica Rudnica) udaljenoj oko 60 km od Rudnika.

Na osnovu analize rudarsko-geoloških uslova eksploatacije i stanja ugljenih rezervi, činjenice da se na ovom području i sada vrši eksploatacija, kao i svih komparativnih prednosti može se zaključiti da postoje realne tehničke mogućnosti za izgradnju rudnika sa velikim proizvodnim kapacitetima.

Polazeći od uslova eksploatacije i raspoloživih rezervi, aktuelne energetske situacije u zemlji, zatim kvaliteta uglja a time i mogućnosti plasmana mogu se razmatrati sledeće varijante proizvodnog kapaciteta i to: "Zapadna varijanta" sa 300.000 t/god. komercijalnog uglja i "Istočna varijanta" sa 150.000 t/god. komercijalnog uglja.

I u zapadnoj i u istočnoj varijanti izgradili bi se moderni proizvodni kapaciteti isključivo jamske eksploatacije. Sa proizvodnjom iz postojeće jame rudnika "Štavalj" ukupna proizvodnja iz celog basena iznosila bi oko 600.000 t/god. komercijalnog uglja. Ove količine uglja predstavljale bi veću proizvodnju od celokupne sadašnje proizvodnje JPPEU

"Resavica". Time bi se celokupna Zapadna i centralna Srbija podmirili ovom vrstom energenta.

Izgradnja proizvodnog kapaciteta po "Zapadnoj varijanti" vršila bi se u Severnom bloku zapadnog polja gde su rezerve uglja oko 55.000.000 tona. Mikrolokacija jame bi se nalazila u Mravin polju. Postojeća infrastruktura Rudnika "Štavalj" bi u potpunosti zadovoljavala potrebe jame "Mravin polje".

Za potrebe proizvodnje po Istočnoj varijanti izgradio bi se moderni Rudnik na mikrolokaciji Vilujak nekih 600 m od asfaltnog puta ka selu Stup. Iz ove jame zahvatale bi se rezerve uglja Istočnog polja istočno prema selu Veskovićima i zapadno prema jami rudnika "Štavalj". Infrastruktura postojećeg Rudnika "Štavalj" opet bi koristila kao baza za preradu i klasiranje uglja i dalje otpremu prema potrošačima.

Izvesno je da bi se morala izgraditi mokra separacija kapaciteta oko 500.000 tona godišnje. Čitav proces eksploatacije po obe varijante zasniva se na primeni kompleksne mehanizacije i automatizacije svih tehnoloških faza rada. Sadašnje poznavanje sirovinske baze pokazuje velike mogućnosti izgradnje proizvodnih kapaciteta koje bi trebalo graditi etapno.

Posebno se, u vezu koncepta perspektivnih mogućnosti eksploatacije uglja, ističe potreba i značaj istraživanja i iznalaženja posebnog oplemenjivanja inače kvalitetnog rovnog uglja iz Sjeničko-štavaljskog basena kao i izučavanje mogućnosti eksploatacije i drugih mineralnih sirovina koje su indicirane. Naime Sjenička visoravan sa velikim rezervama uglja može predstavljati područje gde je tehnički i ekonomski opravdana eksploatacija ne samo uglja nego i drugih prirodnih resursa.

Sektor za razvoj i unapređenje proizvodnje JP za PEU, Beograd.

4. Izveštaj o geološkim istraživanjima uglja u Sjeničkom basenu u periodu 1993-1999. Fond rudnika „Štavalj“.
5. Izveštaj o geološkim istraživanjima uglja 1999-2004. godinu. Fond rudnika „Štavalj“.
6. Đukanović D., Ivković M., Milenković J., 2006: Energetski potencijal rudnika sa podzemnom eksploatacijom uglja u Republici Srbiji, Energija br. 3-4/2006, Savez energetičara, Beograd, str. 63-65;
7. Đukanović D., Ivković M., Milenković J., 2007: Actual condition and perspective development underground exploitation coal at Republic Serbia, 2nd Balkan Mining Congress, Beograd, str. 65-70;

Literatura

1. Blečić N. i Gagić D. i dr., 2002. g: Rudnik uglja Štavalj, ležište Centralno polje studija: Geološki uslovi za bezbedno i rentabilno podzemno otkopavanje uglja u Srbiji, str. 91-106, Beograd, 152 s, 32 graf. priloga.
2. Grupa autora, 1994: Elaborat o rezervama ležišta Centralno polje Rudnik „Štavalj“, stanje 31.12.1994, Preduzeće Tekon-Tehnokonsalting, Beograd.
3. Investicioni program daljeg razvoja Rudnika „Štavalj“ Sjenica, 1994.

Plazma tehnologija za efikasno korišćenje goriva i mineralnih sirovina

Uvod

NTO PLAZMOTEHNIKA uspešno već niz godina saraduje sa Regionalnim Centrima plazma – energetske tehnologije, koji se nalazi u gradu Gusinoozersk (Republika Burjatija, Rusija). OC PET kao deo OAO (otkriveno akcionarsko društvo) „Гусиноозерскаја ГРЕС“ uspostavljen je ukazom RAO „ЕЕС России“ br.573 od 14.12.1995 god. Prema tom ukazu određeni su sledeći pravci delovanja RC PET: usavršavanje plazma tehnologija za korišćenje goriva i izrada oprema za njihovu realizaciju; proširene oblasti primena tih tehnologija, izrada plazma opreme i opremanje njima kotlova na sprášeni ugalj termoelektričnih stanica (TES).

Od 2008 godine gore navedeni naučni centri aktivno saraduju sa beogradskim naučno – tehnološkim parkom (IHIS Naučno Tehnološki Park Zemun) u oblasti širenja i implementaciji plazma – energetske tehnologije za efikasno korišćenje goriva i mineralnih sirovina.

Značaj navedenog naučnog pravca je uslovljen činjenicom da je 21 vek karakterisan iscrpljivanjem rezervi fosilnih goriva i mineralnih sirovina i slabljenjem njihovih kvaliteta [1 -11]. U vezi sa tim posebnu aktuelnost imaju razvoj i primena savremenih energetske efikasne i ekološko prijateljske tehnologije korišćenja goriva i prerade mineralnih sirovina, koje su zasnovane na korišćenju visoko resurskim plazmatronima, plazma – gorivim sistemima (PGS) i elektromagnetskim reaktorima (EMP) [3 -12].

U ovom radu je prikazan pregled plazma energetske tehnologije korišćenja čvrstih i tečnih goriva i prerade prirodnih bazalta kvarcita.

Rezime

U radu je dat pregled osvojenih tehnologija efikasnog korišćenja goriva i prerada mineralnih sirovina primenom originalnih plazma i elektromagnetnih reaktora. Pokazana je realnost njihovog tehničkog izvođenja kao i energetska i ekološka efikasnost. Opis novih tehnologija i opreme za njihovu primenu data su u (15) petnaest odeljaka.

Takođe su prikazani matematički modeli i programi za njihovu realizaciju za numeričko ispitivanje procesa prerade goriva i prirodnih minerala u plazma i elektromagnetnim reaktorima, plazma - gorivim sistemima i kotlovskim postrojenjima.

Ključne reči: ugalj, gasifikacija, sintetski gas (sin-gas), plasma-gorivi sistem, matematičko modeliranje

Abstract

The article presents review of developed technologies of fuel usage and mineral raw processing using original plasma and electromagnetic reactors. It is shown technical realizability, energy and ecological-economical effectiveness. Description of new technologies and equipment for their realization is given in fifteen sections.

Also mathematical models and realizing them codes for numerical investigation of the processes of fuel and natural minerals processing in plasma and electromagnetic reactors, plasma-fuel systems and power boilers are described.

Key words: coal, gasification, synthesis gas (syn-gas), plasma-fuel systems, mathematical modeling

Ove tehnologije su osvojene u industrijskim i polu industrijskim razmerama [13 -33]. Pored toga, u radu su prikazani savremeni pravci primene plazma tehnologija u oblastima: prerade ostataka pri dubokoj rafinaciji nafte, dobijanje visoko efikasne ugljenične sorbenata, bezmazutnog pečenja keramike, opeka i crepa, a takođe i šeme energetske efikasne, ekološki prijateljske decentralizovanih postrojenja za toplifikaciju uz korišćenje plazma gasifikatora i toplotnih pumpi

1. Plazma tehnologije bez mazutnog pripalivanja kotlova na ugljenu prašinu i stabilizaciju plamena ugljenog

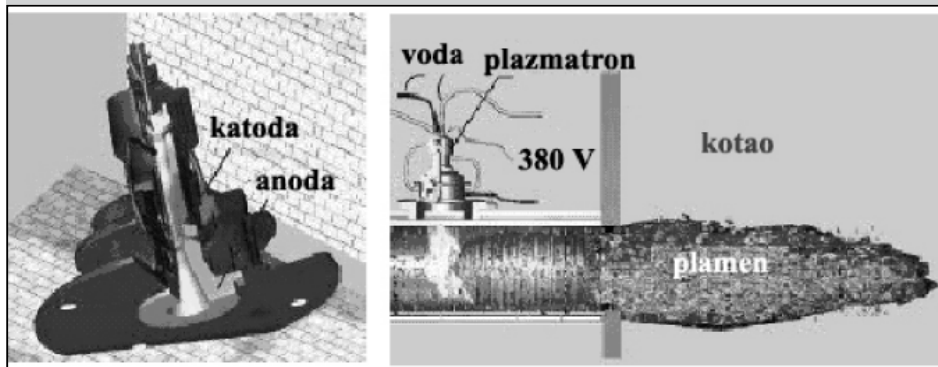
[138]

praha sa tehnoekonomskim pokazateljima korišćenja na TEC Rusije

U periodu od 1995-2008 g. razvijene su i osvojene sledeće plazma-energetske tehnologije (PET) korišćenja čvrstih goriva [1 - 8]:

1. Startovanje kotlova na sprášeni ugalj.
2. Stabilizacija plamena kod sprášenih ugljeva sa plazmatronom.
3. Bezmazutna stabilizacija stopljene šljake kod kotlova gde se šljaka uklanja u rastopljenom stanju.
4. Plazmena allo-autotermijska gasifikacija uglja.
5. Kompleksna prerada čvrstih ugljeva.

Slika 1 Plazmatron i šematski prikaz ugradnje na plamenik sa sprasnim ugljem



U cilju povećavanja efikasnosti sagorevanja energetskih ugljeva i smanjivanja količine štetnih emisija napravljeni su novi plazma-gorivni sistemi (PGS). Radi se o gorionicima sprasnog uglja, opremljenim

sa elektrolučnim plazmatronima (*sl.1*). PGS omogućuju bezmazutno startovanje kotlova sa sprasnim ugljem, stabilizaciju plamena sprasnog uglja, a istovremeno smanjuju udeo nesagorelog dela i obrazovanje oksida azota.

Tehnologija PGS se zasniva na plazma termohemijskoj pripremi uglja za sagorevanje. Ona se sastoji u zagrevanju aerosmeše (sprasni ugalj + vazduh) elektrolučnom plazmom do temperature izlaska isparljivih sastojaka i delimičnoj gasifikaciji koksnog ostatka. Samim tim se iz niskokaloričnog uglja dobija visokoreakciono dvokomponentno gorivo (užareni gas + koksni ostatak). Pri njegovom mešanju sa sekundarnim vazduhom u prostoru kotla dvokomponentno gorivo se zapaljuje i stabilno gori bez dopunskog visokoreakcionog goriva (mazut ili gas), koji tradicionalno koriste za startovanje kotla i stabilizaciju plamena sprasnog uglja. Ispitano je 74 PGS na 17 TES Rusije,

Tabela 1 Prikaz industrijskih ispitivanja plazma gorivnih sistema na termoelektranama (TE)

№	Mesto gde se nalazi TE i vreme ispitivanja	Tip kotla i količina na kojim je ugrađen PGS	Proizvodnja pare jednog kotla t/h	Količina PGS komada
1	Гусиноозерская ГРЭС (г. Гусиноозерск, Россия, 1994-1995)	ТПЕ-215 – 2 котла БКЗ-640 – 2 котла	670 640	8 7
2	Черепетская ГРЭС (г. Суворов, Россия, 1997)	ТП-240 – 1 котел	240	4
3	Нерюнгринская ГРЭС (г. Нерюнгри, Россия, 1997)	КВТК-100 – 1 котел	Тепловая мощность 116 МВт	2
4	Партизанская ГРЭС (г. Партизанск, Россия, 1998)	ТП-170 – 1 котел	170	2
5	Улан-Удэнская ТЭЦ-2 (г. Улан-Удэ, Россия, 1997)	ТПЕ-185 – 1 котел	160	2
6	Хабаровская ТЭЦ-3 (г. Хабаровск, Россия, 1998)	ТПЕ-216 – 1 котел	670	4
7	Кураховская ТЭС (г. Курахово, Украина, 1998-1999)	ТП-109 – 1 котел	670	4
8	Мироновская ГРЭС (п.Мироновский, Украина, 1989)	ТП-230 – 1 котел	230	2
9	Алматинская ГРЭС (г. Алма-Ата, Казахстан, 1996)	БКЗ-160 – 1 котел	160	2
10	Усть-Каменогорская ТЭЦ (г. Усть-Каменогорск, Казахстан, 1989)	ЦКТИ-75 – 2 котла	75	4
11	Улан-Баторская ТЭЦ-4 (г. Улан-Батор, Монголия, 1994)	БКЗ-420 – 8 котлов	420	16
12	Эрдэнэтская ТЭЦ (г. Эрдэнэт, Монголия, 1995)	БКЗ-75 – 1 котел	75	1
13	Баодийская ТЭС (г. Баоди, Китай, 1995)	Ч-200 – 1 котел	200	3
14	Шаогуанская ТЭС (г. Шаогуан, Китай, 1999-2001)	F-220/100-W – 1 котел К-75 – 1 котел	230 75	4 1
15	ТЭС «Золотая Гора» (Шеньян, Китай, 2007)	BG-75/39-M – 1 котел	75	2
16	Восточно-Пхеньянская ТЭС (г. Пхеньян, С.Корея, 1993)	Е-210 – 1 котел	210	3
17	Белградская ТЭС «Никола Тесла» (г.Обреновац, Сербия, 2007)	ТП-210 – 1 котел	650	16
18	ТЭС «Вояны» (г.Велки-Капушаны, Словакия, 2000)	TAVICI-1 котел	350	2

energija

Kazahstana, Ukrajine, Koreje, Kine, Slovačke i Mongolije na 29 kotlova proizvodnošću pare od 75 do 670 t/h (tabela 1), opremljenih različitim tipovima praškastih gorionika (direktne, mufolne i vihorne). Pri ispitivanju PGS sagorevani su svi tipovi svetskih energetskih ugljeva (mrki, kameni, antraciti i njihove smeše) sa sadržajima isparljivih komponenti od 4 do 50%, čvrstim ostatkom od 15 do 48% i toplotom sagorevanja od 1600 do 6000 Kkal/kg.

Ova tehnologija je spremna za eksploataciju u svim energetskim kotlovima, gorionicima sprasenog uglja i ugljeva. Za postavljanje PGS na jednom kotlu potrebno je 10 meseci od momenta prve uplate po ugovoru. Period otplativosti ovih investicija je od 0,5 do 2,5 godina zavisno od odnosa cena uglja, mazuta, prirodnog gasa i električne energije.

2. Plazmena allo - autotermička gasifikacija uglja za dobijanje energetskog gasa, sa prikazom odgovarajućeg gasifikatora.

U okviru OC PET (Gusinozersk, Rusija) izvršena su ispitivanja plazma allo-autotermijske gasifikacije (PAAG) uglja proizvodnošću od 500 kg/h uglja. Zajedno sa Sveruskim toplotehničkim institutom (VTI) izvedena su ispitivanja

PAAG (proizvodnošću na ugalj do 9 t/h) na kotlu BKZ – 640 (st.No 3). Pozitivni rezultati ispitivanja omogućili su projektovanje zajedničkog industrijskog PAAG (Sibenergomaš) sa Barnaulskom fabrikom kotlova. PAAG je namenjen termohemijskoj pripremi goriva uz dodavanje njegovih visokoreakcionih produkata (užareni gas + koksni ostatak) neposredno u prostor kotla, što omogućuje rešenje bezmazutnog starta kotla, stabilizaciju plamena praha uglja, stabilizaciju rastopljene šljake i njenog istakanja u kotlovima tog tipa, smanjivanje emisije oksida azota i sumpora (dodavanjem dolomita u ugalj), a takodje proširenje game ugljeva koji se mogu koristiti a da to ne utiče na smanjenje kotlovskih tehnokonomsko ekoloških pokazatelja [2, 4,17,21,22].

Na slici 2. prikazan je PAAG, koji se koristi za povećanje reakcionih osobina energetskih ugljeva i ekoloških svojstava kotlova sa sprasenim ugljem. Na kotlu BKZ – 640 (st.No1) sa proizvodnošću pare od 640 t/h postavljen je kombinovani PAAG sa dva plazmena stupnja. Proizvodnost PAAG po uglju je 32t/h. Gas ima sledeći sastav (zapr.%) : CO = 17,4; H₂ = 8,7; CH₄ = 1,5; CO₂ = 4,7; N₂ = 67,5; NO_x = 40-60 mg/Nm³; SO_x = 100-150 mg/m³. PAAG sa proizvodnošću od 500 kg/h uglja može se koristiti za obuku. PAAG sa proizvodnošću na ugalj od

32t/h i više neophodno je ispitati na TES i definisati preporuke za njegovu dalje korišćenje u termoenergetici.

3. Plazma-parna gasifikacija i kompleksna prerada uglja za dobijanje sintetskog gasa (CO + H₂), vodonika (H₂) i korisnih nuzproizvoda iz mineralnog sastava ugljeva

Plazmena gasifikacija i kompleksna prerada niskokaloričnih ugljeva orijentisana je na perspektivni razvoj nekoliko industrijskih pravaca (elektroenergetika, hemijska industrija, metalurgija) [2, 22, 33]. Sa ekološke tačke gledišta ovo postaje najperspektivnija metoda. Ideja se sastoji u zagrevanju sprasenog uglja u plazmi luka, koja se ispoljava kao oksidant, do temperature potpune gasifikacije, pri čemu organski deo uglja prelazi u ekološki čisto gorivo. To je sintetski gas, slobodan od čvrstih čestica, oksida azota i sumpora. Istovremeno se dešava redukcija oksida mineralnih materija u uglju i obrazovanje kvalitetnih komponenti, kao što su tehnički silicijum, ferosilicijum, aluminijum i silicijum karbid, uključujući tu i retke mikroelemente: uran, molibden, vanadij i drugi.

Procenjuje se tržišna vrednost gasovitih i kondenzirajućih proizvoda, dobijenih u plazma termohemijskoj obradi uglja, desetostruko više od cene samog uglja i opreme za njegovu preradu.

Projektovani su plazma gasifikatori za preradu ugljeva snage od 100 KW (Sl.3) i 1000 KW (Sl. 4). Princip za oba navedena gasifikatora je isti. U njima se iz organskog dela uglja formira sintetski gas (CO+H₂) sa prinosom do 96%, a iz mineralne mase ugljeva nastaju korisne komponente (tehnički silicijum, ferosilicijum, silicijum karbid i dr.) sa prinosom do 47%.

Prema rezultatima eksperimenata na reaktoru od 100 KW isprojektovan je eksperimentalan uređaj snage 1000 KW za preradu ugljeva plazma tehnologijom.

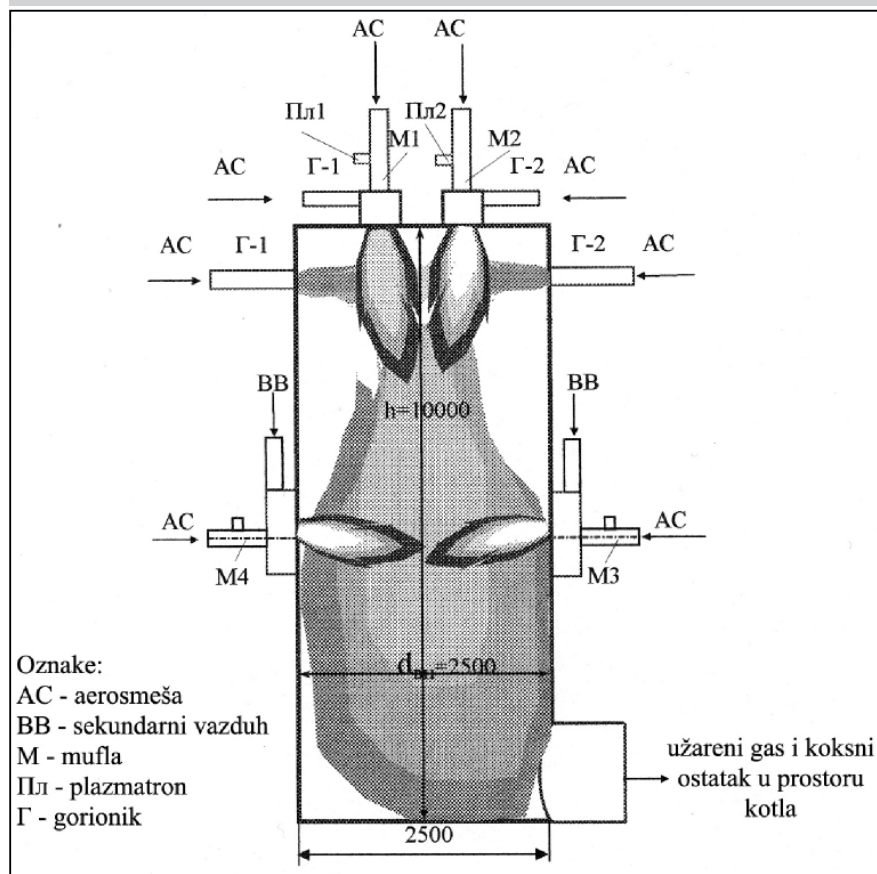
Vrednost jedne tone sintetskog gasa, dobijenog gasifikacijom uglja je 119 dolara, a njegova svetska cena je 207 dolara po toni.

Rok za izradu pilot postrojenja je 18 meseci.

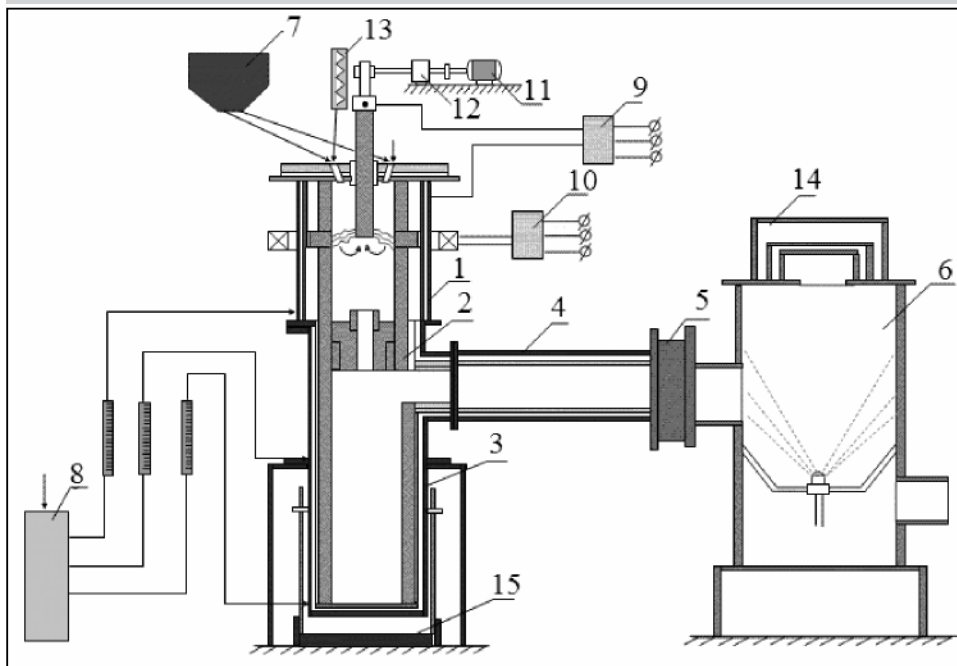
Iz dobijenog sintetskog gasa može se dobiti tečno gorivo (metanol, dimetilestar), a takodje i vodonik.

Dole su prikazane postojeće i tehnologije koje se predlažu za dobijanje vodonika, preko plazmene

Slika 2 Šema plazmenog allo-autotermijskog gasifikatora

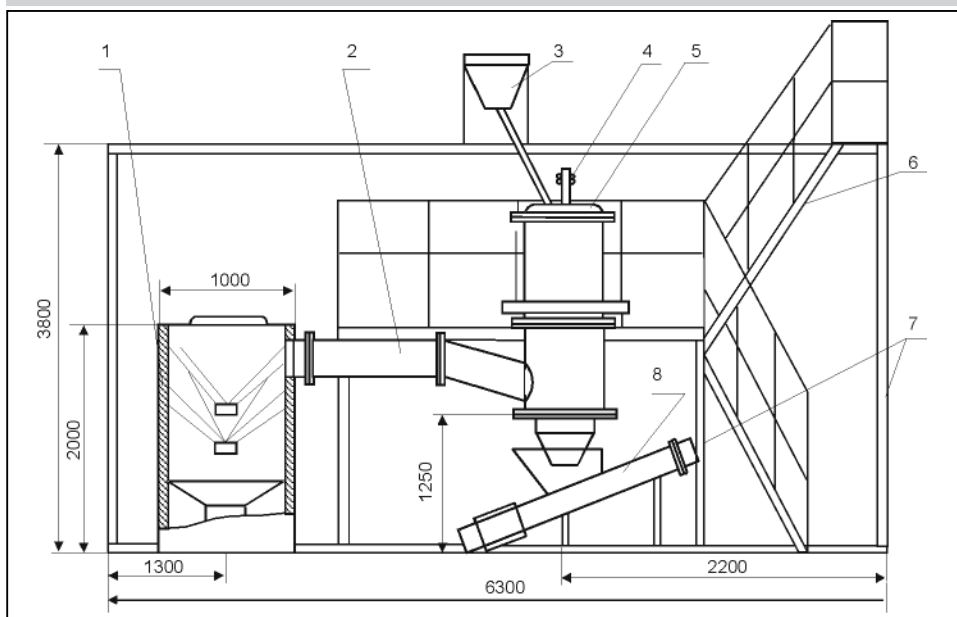


Slika 3 Šematski prikaz plazma postrojenja za gasifikaciju uglja



1-plazma gasifikator, 2-komora razdvajanja gasa i šljake, 3-sakupljač šljake, 4-komora za odvođenje sintetskog gasa, 5-dijafragma, 6-hidrataciona komora, 7-dodavač praša uglja, 8-sistem za hlađenje, 9 i 10 sistemi elektro napajanja, 11 i 12 – uređaji za dodavanje elektroda, 13-generator pare, 14-preklopnik u nuždi, 15- posuda za prijem šljake.

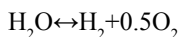
Slika 4. Šema pilot postrojenja snage 1 MW za plazma gasifikaciju uglja



1- hidrataciona komora, 2- komora izdvajanja odlaznih gasova, 3- bunker praša sa dodavačem praša, 4-mehanizam za dodavanje elektroda, 5-plazma reaktor (gasifikator), 6-merdevine, 7-noseća konstrukcija, 8-pužni nosač šljake.

gasifikacije ugljeva.

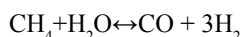
1. Elektroliza vode



P=40 atm., $GH_2 = 4-500 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_{\text{spec}} = 56.7-62.2 \text{ kW h/kg } H_2$

Vrednost 1 tone vodonika – 6.300 dolara

2. Katalitička konverzija prirodnog gasa vodenom parom

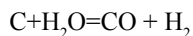


$P=30 \text{ atm.}$, $T=1100-1300 \text{ K}$, $GH_2 = 7000-8000 \text{ m}^3/\text{h}$,

$Q_{\text{spec}} = 9.5 \text{ kW h/kg } H_2$, Katalizator – Ni

Vrednost 1 tone vodonika – 2.840 dolara

3. Plazmeno-parna gasifikacija ugljeva



$P=1 \text{ atm.}$, $T=2000-3200 \text{ K}$, $GH_2 = 700-800 \text{ m}^3/\text{h}$,

$Q_{\text{spec}} = 18-20 \text{ kW h/kg } H_2$

[141]

Vrednost 1 tone vodonika 1.630 dolara

(<http://www.vestnik.comissues/2004/0915/win/shvartz.htm> podaci na dan 15.09.2004).

4. Plazma tehnologija bezmazutne (ili bez gasne) stabilizacije izlaza tečne (rastopljene) šljake iz kotlova sa istekom tečne šljake

Kod kotlova sa odstranjivanjem šljake u stopljenom stanju, razvijena je tehnologija stabilizacija rastopa šljake, zasnovano na elektrotermohemijskoj pripremi goriva za sagorevanje. Za realizaciju ove tehnologije razvijen je nadpodni plazma-uljeni gorionik, kao zamena mazutnih nadpodnih gorionika iste namene. Šematski prikaz ovakvog postrojenja je dat na sl. 6 i 7.

Ispitivanja su izvedena na kotlu BKZ-640 pri opterećenju kotla od 450t/h pare, tj 70% od nominalne proizvodnje pare. Snaga plazmatrona je bila 70 kW, utrošak uglja preko plazma ugljenih gorionika 3,7 t/h. Temperatura plamena na izlasku plazma-ugljenih gorionika je dostigla 1.300 °C, a temperatura tečne šljake se povećala za 70 – 80 °C, što je omogućilo stabilnu evakuaciju šljake u kotlu sa tečnim uklanjanjem šljake. Na taj način može se zaključiti da nadpodni plazma-ugljeni gorionici stabilizuju izlaz rastopljene šljake u bezmazutnom režimu rada i spremni su za praktičnu primenu. U energosistemu Sibira (OES Sibirenergo) takvih kotlova ima preko 50 (stanje iz 2004 g.).

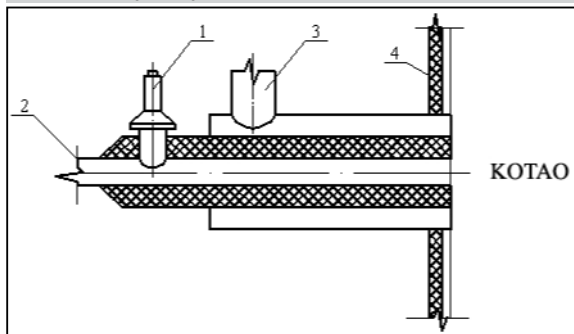
Ova tehnologija je spremna za upotrebu u svim tipovima kotlova, gorionik sa prahom uglja i svih vrsta ugljeva. Za uvođenje ove tehnologije na nekom kotlu potrebno je 12

meseći. Rok isplativosti uvođenja ove tehnologije kreće se od 0,5 do 1,5 god. zavisno od odnosa cena uglja, mazuta, prirodnog gasa i elektroenergije.

5. Plazma tehnologije za dobijanje redukcione gasne smeše koja u metalurgiji moze zameniti potrebu za koksom

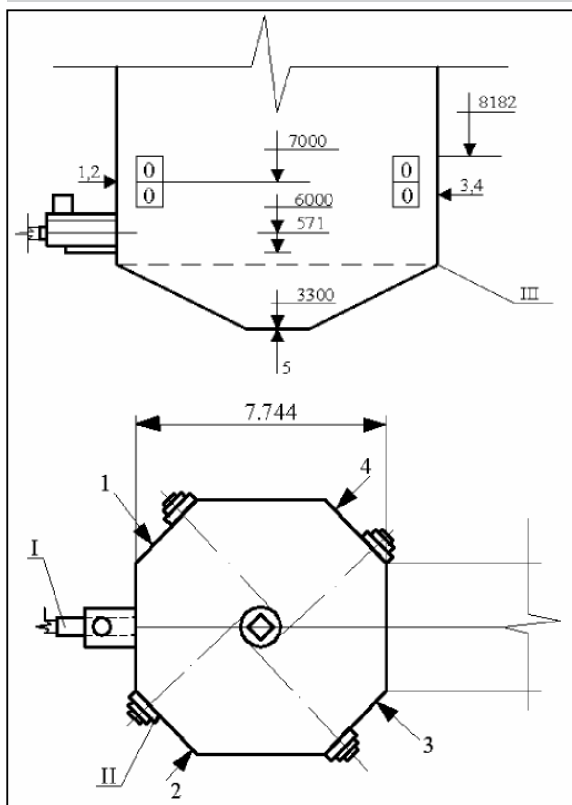
Ispitivanja su izvršena po nalogu NPO Tulačermet u cilju dobijanja

Slika 6 Nadpodni plazma-ugljeni gorionik pre uključenja



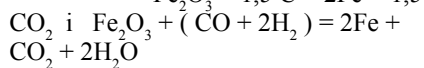
1 – plazmatron; 2 – dovod aerosmeše; 3 – dovod sekundarnog vazduha, 4 – zid kotla

Slika 7 Šematski prikaz mernih tačaka temperature plamena kotla



I- Nadpodni gorionik; II- Osnovni gorionik; III- Linija poda kotla

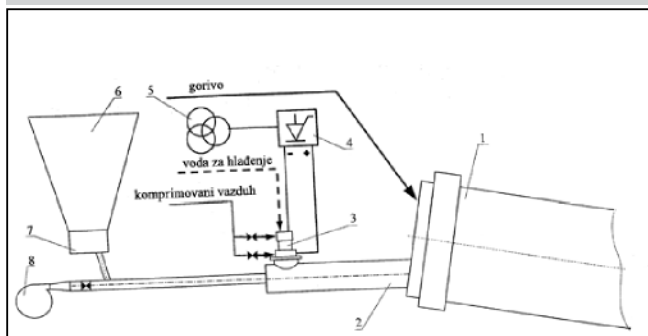
visokopotencijalnog gas-reduktora ($\text{CO} + \text{H}_2$) kao zamene koksa za redukciju (metalizaciju) ruda gvožđa. Izveden je niz eksperimenata na



jednu tonu metalurškog koksa može zameniti 1,8 tona sintetskog gasa što

je 214 dolara, 20% manje nego metalurškog koksa za iste namene.

Slika 8 Šematski prikaz postrojenja za spaljivanje ODPN sa PTS



6. Plazma tehnologije za korišćenje ostatka pri dubokoj rafinaciji nafte

Tradicionalni način uklanjanja ODPN je njegovog

spaljivanje u specijalnim gasnim rotacionim pećima sa utroškom 12 t/h ODPN i utroškom gasa od 1.000 Nm^3/h (prema informaciji naše Rafinerije u Pančevu taj ostatak se troši u izradi asfalta). Pri ovom spaljivanju stepen konverzije ODPN je 30-40%, a specifični utrošak energije dostiže 100-120 KWh/t spaljivanog PDPN. Za povećanje efikasnosti ovog procesa osvojena je plazma tehnologija spaljivanja ODPN zasnovana na prethodnoj plazmatermohemijskoj pripremi (PTHP) ODPN za spaljivanje u specijalnoj komori. Pri proizvodnosti plazma postrojenja od 1 t/h (Sl.8) specifični utrošak energije je 33 kWh/t , što je 3-4 puta niže od dosadašnjeg načina spaljivanja tog ostatka.

Pri ovome ekonomski efekat za NAFTOHIM, Burgas, Bugarska, bi iznosio oko 0,8 miliona dolara godišnje za spaljivanje 90.000 t ODPN ili 9 dolara po toni (to je ušteda).

Na jednu rotacionu peć za spaljivanje ODPN neophodno je montirati dva plazma postrojenja. Rok otplativosti ovog sistema je ispod 4 meseca. Izrada i projektovanje dva PTS 6-8 meseci. Postoji komercijalni predlog za izradu ovog sistema za Rusiju i Bugarsku.

7. Elektrotehnologija za topljenje prirodnih bazalta u elektromagnetnom reaktoru (EMR)

Razvijen je, izrađen i ispitan visokoefikasni elektromagnetni reaktor snage 250 kW za topljenje prirodnog bazalta sa proizvodnošću od 250 kg/h rastopa [9 – 12, 15, 36]. Spec. utrošak energije je 0,8-1 kWh/kg rastopa, što je 3.4 puta niže od klasičnog načina sa mazutom ili gasom.

Elektromagnetni reaktor sa 3 grafitne elektrode je osnovni deo linije za proizvodnju bazaltnih vlakana. Na sl.9 prikazan je reaktor sa centralnim dodavanjem sirovine.

Kao rezultat rada sa komorom zapremine 0,2 m^3 dobijaju se sledeći uprosečeni rezultati.

Snaga
170 ÷ 200 kW

Proizvodnost rastopa
180 ÷ 200 kg/h

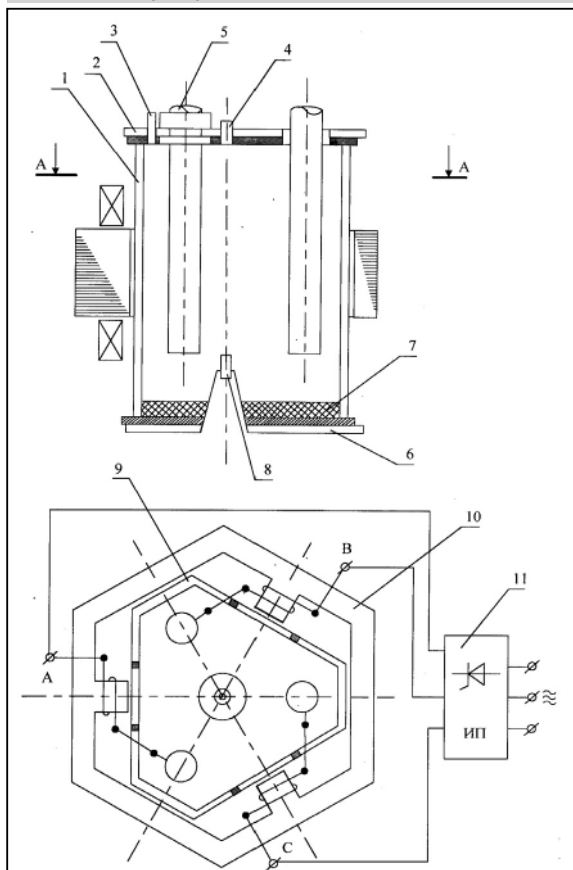
Temperatura rastopa koji ističe
1.540 ÷ 1650°C

Spec. utrošak energije ~
0,9 kWh/kg

Vreme izlaska na radni režim ~
60 min.

Predložena tehnologija omogućuje da se proizvodni pogon montira tamo gde

Slika 9 Trofazni elektromagnetni reaktor sa uronjavajućim elektrodama



1 - komora za rastapanje; 2 - poklopac reaktora; 3 - otvor za dovod bazaltnog granulata; 4 - otvor za odvođenje gasa; 5 - grafitne elektrode; 6 - dno reaktora; 7 - vatrootporna obloga reaktora; 8 - ispuštanje rastopa bazalta; 9 - sekcije komore reaktora; 10 - trofazni elektromagnet; 11 - izvor napajanja

je potrošač toploizolacionih materijala na bazi bazaltnih vlakana, jer su ulaganja

Ekološko – ekonomska ocena efikasnosti prirodnih bazaltnih

u proizvodnju značajno manja nego kod klasične proizvodnje, a ova je u situaciji povećanja troškova železničkog transporta vrlo pogodna. Ovo je posledica velike razlike specifične težine ulaznih sirovina (u 2.500 kg/m³) i proizvodi u vidu mekih izolatora (bazaltna vuna) ili čvstih ili polučvrstih panela (50 -150 kg/m³).

Šema postrojenja mini fabrike za proizvodnju bazaltnih vlakana data je na sl.10.

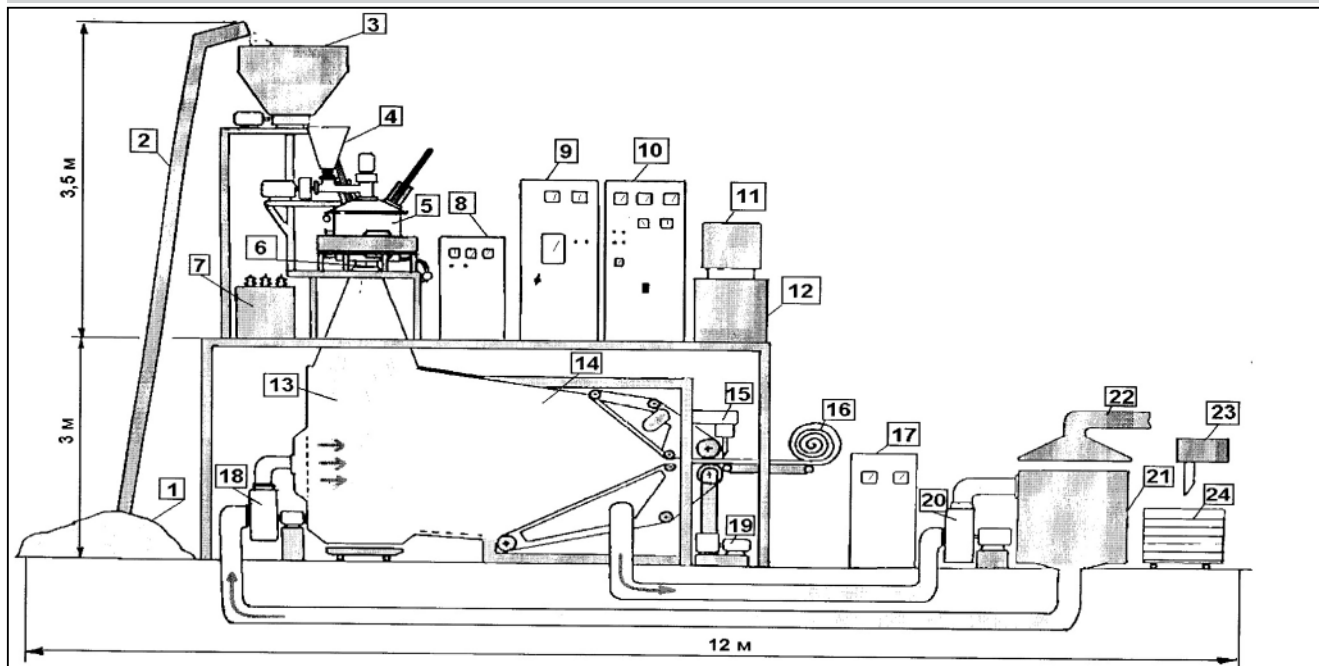
Osvajanje nove tehnologije proizvodnje bazaltnih toploizolacionih materijala (BTM) korišćenjem elektromagnetnog rastvora (EMP) omogućuje da se građevinska industrija, elektroprivreda i naftna industrija obezbedi sa visokokvalitetnim toploizolacionim materijalima. Ovo je naročito bitno kod naftovoda sa visokoparafinskim sastavom za zimske periode.

toploizolacionih materijala je pokazala da je godišnji učinak uvođenja EMP u Rusiji (obim proizvodnje BTM 12 miliona m³/god) oko 234 miliona US\$ uz istovremeno smanjenje štetnih otpada (NO_x + SO_x + CO + V₂O₅) za 93%. Vreme za izgradnju EMP je 10 meseci.

8. Plazmeno-ciklonski postupak topljenja prirodnih bazalta

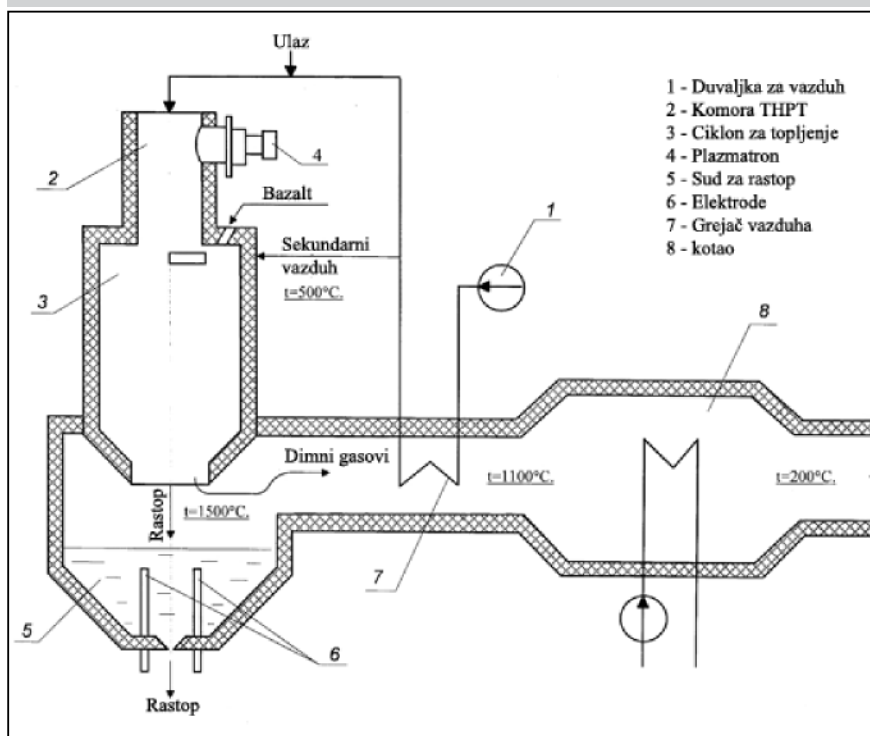
Plazma-ciklonska tehnologija rastapanja prirodnih bazalta je principijelno novi način dobijanja bazaltnog rastopa za proizvodnju mineralnih vlakana. Zasniva se na korišćenju ciklonskog plazma reaktora za rastapanje samlevenih mineralnih sirovina [19,36,38]. Za razliku od EMR u PCR za zagrevanje i rastapanje mineralnih materijala se ne koristi električna energija nego se koristi toplota sagorevanja uglja koji se tangencionalno uvodi u ciklon PCR, zajedno sa sprasnim mineralnim sirovinama. Pri tome se sam ugalj zapaljuje plazmatronom, koji se posle starta PCR može koristiti za stabilizaciju plamena, odnosno procesa zagrevanja i rastapanja bazalta. Vihorno kretanje radne smeše (ugljeni prah + prah bazalta) obezbeđuje neophodno vreme zadržavanja radne smeše u reaktoru. Proces rastapanja bazalta se vrši kako po zapremini reaktora tako i na zidovima ciklona, što omogućuje značajno povećanje proizvodnosti reaktora do 5 t/h smeše (25-30% uglja + 70-75% bazalta) pri

Slika 10 Šema linije za proizvodnju toploizolacionih materijala iz prirodnih bazalta



1 - drobilica bazalta; 2 - cevni konvejer za dovod bazaltnog granulata; 3 - bunker; 4 - dodavač bazaltnih granula; 5 - elektromagnetni reaktor; 6 - uređaj za razduvanje vlakana; 7 - transformator; 8 - regulator napona; 9 - upravljački pult; 10 - tabla automatike; 11 - blok komutacionog uređaja; 12 - otpornici; 13 - komora gde se formiraju vlakna; 14 - taložna komora sa transporterima gde se formira sloj bazaltnih vlakana; 15 - poprečno presecanje; 16 - namotavanje bazaltne vune; 17 - upravljački blok; 18 - razduvni ventilator; 19 - reduktor transportera; 20 - dimni gasovi; 21 - smeštajna komora; 22 - vakum postrojenje; 23 - uzdužno sečenje; 24 - kolica

Slika 11 Peć za rastapanje postrojenja za dobijanje bazaltnih vlakana



0,015 kW h/kg). Spec. utrošak energije za mljenje uglja je 0,02 kW h/kg, bazalta – 0,05 kW h/kg. Potreban pritisak vazduha koji se uduvava u ciklon je 50-70 kPa (0,5-0,7 atm.), utrošak na vazдушnom luku je (na 1 kg bazalta) 0,03 kW h/kg.

Za postrojenje proizvodnosti 4 t/h opšti utrošak energije iznosi oko 410 KW (bez dopunskog zagrevanja preko 1.500°C). Toplotna proizvodnost kotla koji koristi dimne gasove iznosi 2.600 – 3.000 KW.

Počev od 2003 god. PCR se nalazi u fazi razvoja i patentne zaštite kao najperspektivniji i najkonkurentniji agregat za rastapanje prirodnih bazalta, bez sličnih u svetu.

9. Plazma tehnologija topljenja prirodnih kvarcita u plamenom elektromagnetnom reaktoru (PEMR) sa negativnom obratnom vezom (NOV) za dobijanje elektrotopljenog kvarca

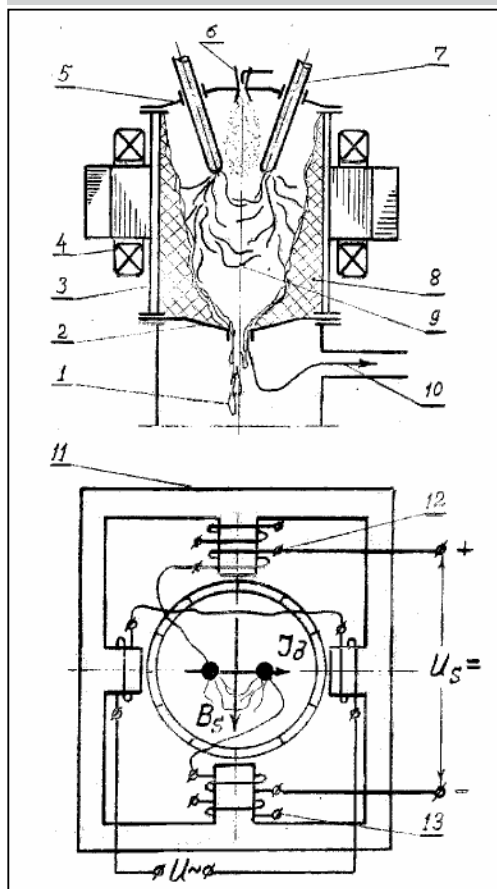
U Republici Burjatija postoji jedinstveno ležište prirodnog kvarcita sa vrlo visokim sadržajem kvarca (SiO_2) do 99,99%. Iz takvih kvarcita tradicionalnim elektrotermičkim pećima se proizvodi amorfni kvarc za izrade tiglova za razlivanje rastopa čelika u metalurgiji. Veliki specifični trošci elektroenergije u elektrotermičkim pećima na 1 kg kvarca i povećani utrošak elektrodnog grafita su usloveli da se pristupi razvoju plazma postupka rastapanja prirodnih kvarcita u PEMR sa NOV duž strujnica luka (Sl.12).

Izrađen je i ispitani novi plazma reaktor snage 150 KW sa NOV duž strujnica luka kroz poprečno magnetno polje, funkcionalno povezano sa strujom. PEMR je u obliku cilindrične komore sa unutrašnjim prečnikom od \varnothing 135 mm, sastavljene od 13 metalnih sekcija koje se hlade vodom (st. 12 x 18 H 10T) debljine zida od 1 mm. Komoru obuhvata elektromagnet poprečnog magnetnog polja sa 2 para polova, na 2 od kojih su namotani omotači koji se hlade vodom, izrađeni od bakarnih cevi \varnothing 6 x 1. Dole se nalazi dijafragma izlaza rastopa a gore je poklopac.

Na ovako opisanom plazma reaktoru električni luk gori u komori pražnjenja među krajevima elektroda.

Pri upaljenju lučnog pražnjenja između elektroda kroz omotač teče struja luka, gradeći osnovno poprečno magnetno polje (B_s) niz osu komore. Uzajamnost struje luka sa magnetnim poljem određuje se Lorencovom silom, koja je proporcionalna proizvodu jačine struje luka i magnetne indukcije,

Slika 12 Plazmeni reaktor konstantne jačine struje sa negativnom suprotnom vezom duž struje luka



1-kondenzovani proizvodi; 2-dijafragma; 3-rashladna komora koja se hladi vodom; 4-namotaji bočnog promenljivog polja; 5-poklopac; 6-uređaj za uvođenje reagenata; 7- grafitne elektrode; 8-istaložena čad sa slivajućim slojem rastopa; 9-elektrolučno pražnjenje; 10- nastali gasoviti proizvodi; 11-magnetna jezgra kroz koje ide magnetno

spec. utrošku elektroenergije od manje od 0,1 kW h/kg rastopa. Ovo je i za 10 puta manje nego kod EMR, a i do 30 puta manje nego kod klasičnog reaktora za rastapanje bazalta.

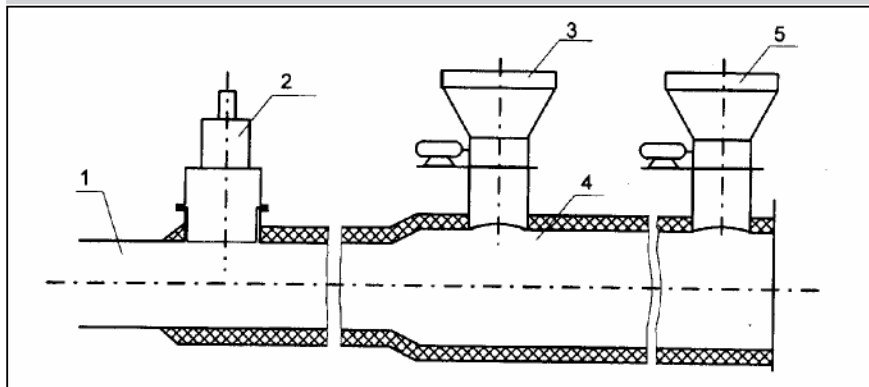
Spajanje THPT sa ciklonskom komorom sagorevanja omogućuje rastapanje mineralnih sirovina (bazalta, stakla i sl.) korišćenjem uglja kao goriva, što u mnogome pojeftinjuje procese rastapanja.

Naše iskustvo pokazuje da se za postizanje temperature rastopa od 1500°C na 1 kg bazalta troši 0,3 kg uglja ($k_m = 0,3 \text{ kg/kg}$). Toplota gasnih produkata sagorevanja goriva (sa temp. 1500°C) delimično ide na dogrevanje vazduha koji ulazi u ciklon, delimično se koristi u kotlu, a može se koristiti za zagrevanje, proizvodnju elektroenergije ili druge svrhe.

Na Sl.11 dat je šematski prikaz postrojenja sa osnovnim komponentama uređaja za rastapanje. Elektrode 6 se nalaze u komori rastopa 5 i koriste se ako je neophodno dopunsko zagrevanje rastopa više od 1.500°C. Proizvodnost ovakvog postrojenja može biti od 1 – 10 t/h.

Specifičan utrošak energije na plazmeno zapaljivanje uglja iznosi 0,03 – 0,05 kW h/kg (u prevodu na 1kg bazalta 0.01 –

Slika 13. Šema sistema za zagrevanje čvrstog toplosača i ugljenih granulata (komadići dobijeni drobljenjem)



1 – mufla; 2 – palzmatron; 3 – bunker praha; 4 – zagrevač; 5 – bunker ugljenih granulata

tj. u ovom slučaju proporcionalna kvadratu struje luka. Kvadratna zavisnost Lorencove sile od struje luka povoljno utiče na stabilnost gorenja: pri smanjenju jačine struje smanjuje se brzina kretanja lučnog stuba i razmena toplote sa okruženjem, što dovodi do sniženja njegovog električnog otpora i omogućava ponovno uspostavljanje struje luka. I obratno, povećanje struje luka vodi povećanju indukcionog magnetnog polja u kojem luk gori, a takođe i sile, koje deluju na luk, i brzina njegovog pokretanja i razmere petlje. Na taj način se ostvaruje stabilizacija pražnjenja uvođenjem negativne obratne veze duž struje luka kroz poprečno magnetno polje.

Izvršena ispitivanja su potvrdila veliku energetsku efikasnost PEMR pri utrošku kvarcita do 100 kg/h i specifičan energetski utrošak od 1.5 kW h/kg.

10. Plazma tehnološka prerada kvalitetnijih ugljeva u aktivne ugljeve

Bazne industrije u Rusiji i Kazahstanu (energentima, metalurgija, hemijska industrija, komunalna preduzeća i dr.) imaju ogromne potrebe za jeftinim sorbentima za prečišćavanje voda. Jedan od novih postupaka proizvodnje takvih sorbenata je plazma tehnološka prerada energetskih ugljeva u sorbente (aktivni ugalj) [20,38].

U okviru ЗАО „Отраслевой Центр плазменно – энергетических технологий“ (ОЦ ПЕТ) izvedena su ispitivanja tehnologije dobijanja ugljeničnih sorbenata (aktivnih ugljeva) iz Tunguskog uglja (radi se o visokokaloričnom uglju, primedba P.R) uz primenu plazma termohemijskog tretmana. Dobijeni proizvod je prošao kroz prethodna ispitivanja, koja su potvrdila principijelnu mogućnost proizvodnje ugljenih sorbenata tom tehnologijom.

Na bazi tih ispitivanja zajedno sa institutom Кржижановскова razrađena je tehnološka šema dobijanja ugljeničnih sorbenata, u kojoj se u tehnološkom nizu koriste tri komore termohemijske pripreme goriva (ТХИТ) sa plazmatronom. Dve komore ТХИТ se koriste u tradicionalnom režimu njihovog rada – analogno korišćenju u energetskim kotlovima TEC (termoelektričnih stanica). Treća komora sa plazmatronom je predviđena za zagrevanje tvrdog nosača toplote (sl.13). Pored toga u tom delu se vrši prethodno zagrevanje sirovine za dobijanje sorbenta – granule uglja.

U komoru termohemijske pripreme uvodi se aerosmeša Tunguskog uglja, industrijski samlevenog. Komora je opremljena plazmatronom čija plazmena baklja služi za zagrevanje dela protoka aerosmeše i za njeno zapaljivanje. Kao rezultat toga ostatak protoka aerosmeše se zagreva, odigrava se njena termohemijska priprema i delimično sagorevanje. Zatim, struja aerosmeše ulazi u zagrevač, gde u tu podgrejanu dvofaznu smešu goriva uvodi industrijski samleveni ugljeni prah – čvrsti nosač toplote. Posle (uz pomoć čvrstog nosača toplote) postizanja odgovarajuće temperature u taj tok uvode se granule uglja sa veličinom čestice uglja od 5 mm, od kojih se na kraju tehnološke linije dobija željeni proizvod – sorbent.

Kao rezultat ispitivanja na plazma – postrojenju sa proizvodnošću od 20 kg/h dobijen je jeftini i sasvim aktivni ugaljениčni sorbent iz Tunguskog uglja sa razvijenom unutrašnjom površinom. U saglasnosti sa dobijenim eksperimentalnim podacima i urađenim brojnim ispitivanjima na kompjuterskom programu „Plazma – ugalj“ izrađeno je pilot postrojenje sa tri plazma stupnja za proizvodnju ugljeničnih sorbenata iz niskokaloričnih ugljeva sa proizvodnošću od 500 kg sorbenata na sat.

11. Plazmena tehnologija zapaljivanja i stabilizacije plamena ugljenog praha u rotacionim pećima za proizvodnju glinice ili u proizvodnji cementa

Ačinski Kombinat glinice (AKG) ima 11 obrtnih peći prečnika 5 m i dužine 185 m. Proizvodnost peći je 102 t/h. Toplotna snaga peći je 108 MW. Ukupni utrošak gorivog mazuta na 1 peć je 17700 t/god. Za zamenu mazuta ugljem i povećanja ekološko – ekonomskih pokazatelja, razrađena je tehnologija bez mazutnog pripaljivanja i stabilizacije gorenja ugljene prašine u rotirajućim pećima. Treba znati šta se ova tehnologija bez bitnih izmena može primeniti i za bezbuzatno pripaljivanje rotacionih peći za cement.

Saglasno ovoj tehnologiji mazutni plamenik koji je stalno u funkciji (sl.19) sa utrošenim mazutom od 2 t/h, zamenjuje se sa plazma sistemom za pripaljivanje sa utroškom uglja od 3 t/h (sl.20). Pri sadašnjim cenama za mazut i ugalj (140 i 28 dolara/t) ekonomski efekat uvođenja plazma tehnologije na jednoj peći kombinata iznosi više od 800.000 dolara/god, a u celoj fabrici više od 8,4 miliona dolara/god.

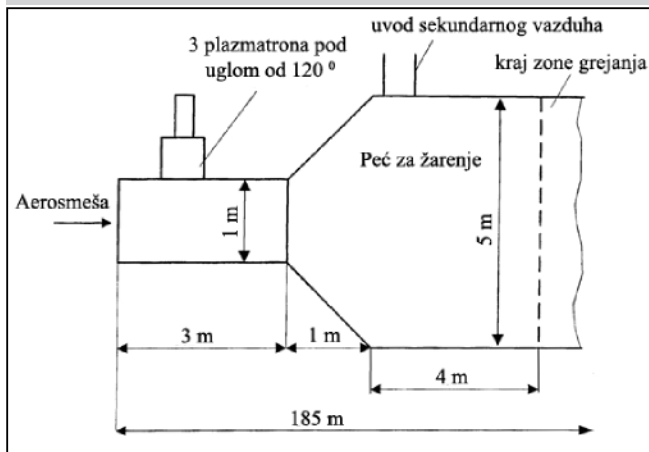
12. Plazma –ciklonska tehnologija pečenja cigala i crepa

Sada za pečenje cigala (odnosno keramičkih proizvoda) koristi gas i ugalj. Bez obzira na jedinstvenost i lakoću primene gasa za firme u Burjatiji to je nepogodno, jer ne raspolaže sa gasom. Zato je projektom za fabriku u Ulan – Ude za proizvodnju cigala predviđeno loženje ugljem. Zbog toga je vrlo teško obezbediti ravnomerno i uniformno prostiranje temperature po preseku i zapremini sušionice (peći). Ova neravnomernost dovodi do većeg škarta u proizvodnji.

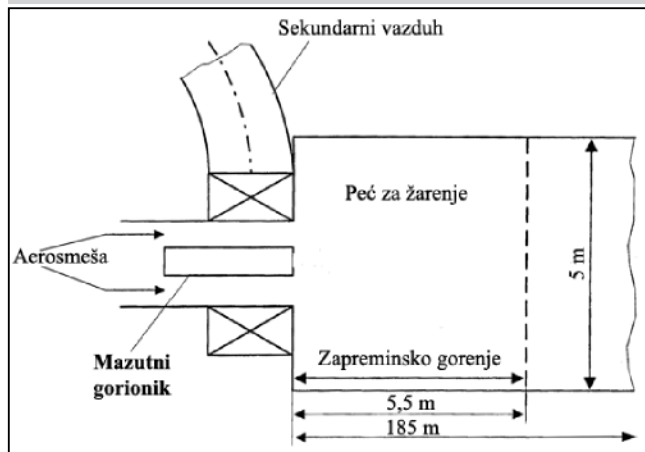
Da bi se obezbedila ravnomernost raspodele topljenog vazduha po celoj zapremini peći predlaže se primena nove tehnologije zasnovane na plazma – energetskoj tehnologiji korišćenja goriva [18, 19].

Po toj tehnologiji zapaljene struje sprasenog uglja vrši se na osnovu niskotemperaturne plazme ($T = 2.500 - 3.500 \text{ }^{\circ}\text{K}$) generisane DC plazma reaktorom. Spraseni ugalj se dodavačem ubacuje na mufalni gorionik na koji se postavlja plazma pogon. Pri kontaktu struje sprasenog uglja sa plamenom plazmatrona (nisko temperaturna plazma), čestice uglja se podvrgavaju elektrotermohemijskoj pripremi i rasplamsavanju. Iz gorionika izlazi zagrejan gas do $T = 1.100 - 1.200 \text{ }^{\circ}\text{K}$.

Slika 19 Šema plazma pripaljivanja aerosmeše u peći za žarenje



Slika 20 Šema plazma pripaljivanja aerosmeše u peći za žarenje



Razvijene su dve varijante postupka.

A. Korišćenje mufalnog plamenika sa plazmatronom (slika 21)

Mufalni plamenici (8 kom) raspoređeni su po periferiji peći a plazmatroni (8 kom) se napajaju sa jednog izvora elektronapajanja. Gorionici rade prema odgovarajućem rasporedu, uslovljeni režimom rada peći. Priključivanje izvora el. energije na sledeći plazmatron vrši se komutacionim prekidačima snage.

Dodavanje komprimovanog vazduha na plazmatron ide preko kompresora koji može da obezbedi 50 Nm³/h vazduha i pritisak od 0,6 MPa, sa proizvodnošću od 1 – 1,5 Nm³/h.

Dodavanje ugljenog praha iz bunkera vrši se dodavačem praha. Vazduh se dodaje ventilacijskim duvaljkama. Posle izlaska mufalnih gorionika na režim, užareni vazduh se propušta kroz peć. Regulacija t ° vazduha vrši se uz pomoć sistema koji umešava atmosferski vazduh sa vrelim vazduhom.

B. Korišćenje plazma – ciklonske komore

Za dobijanje užarenog gasa može se koristiti plazma – ciklonska komora (sl.22.). U ciklonsku komoru, tangencionalno se upušta preko mufalnog gorionika ugljena prašina. Na mufalnom gorioniku se postavlja plazmatron koji pripaljuje ugljenu prašinu. Dalje visokotemperaturna struja užarenog gasa ulazi u ciklonsku komoru i pod dejstvom centrifugalne sile tečna šljaka koja se obrazuje sagorevanjem uglja, pada na zidove ciklona i teče naniže u prijemnik šljake.

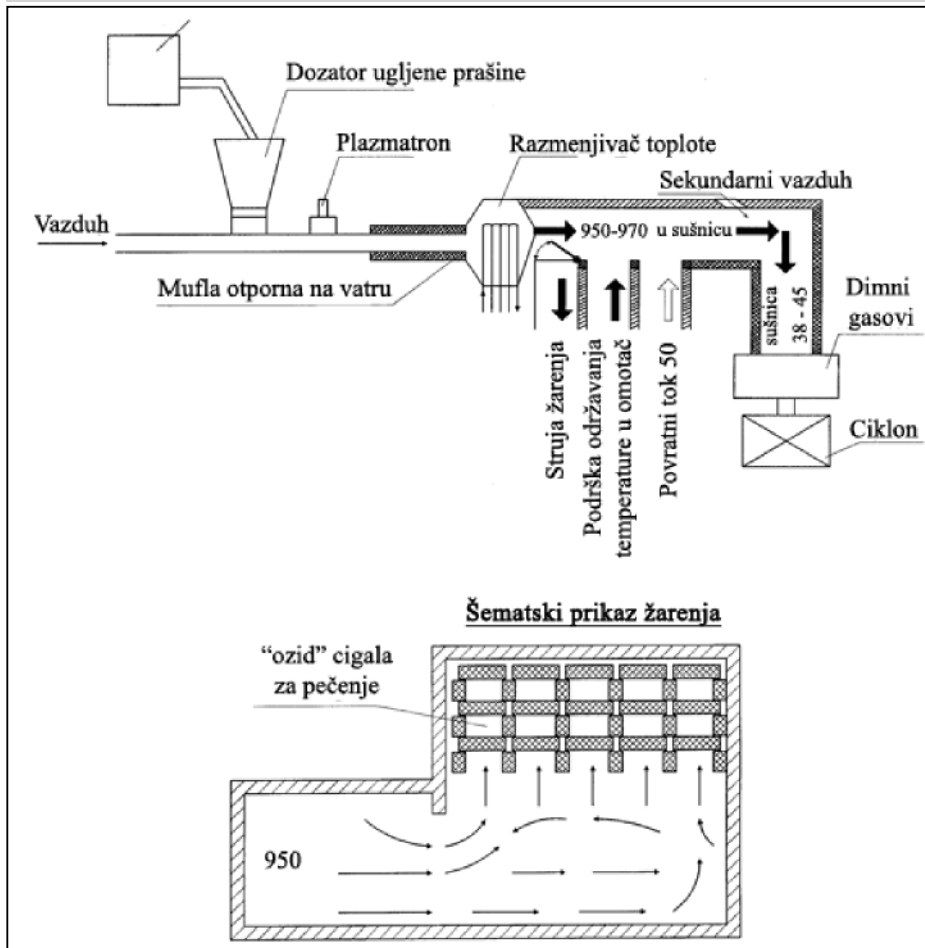
Užareni gas sa 1.000 – 1.200 K se centralnom cevi usmerava na opšti kolektor. Iz opšteg kolektora, užareni gas se raspodeljuje po sekcijama peći. Dodavanje gasa i t ° se reguliše sistemom šibera. Temperatura gasa takode zavisi od udaljenosti sekcije peći od kolektora. Ako je razmera peći velika mogu se upotrebiti i dve plazma – ciklon komore.

Količina toplote u komori je oko 3 – 4 MW/m³ pa se zidovi ciklona hlade vodom koja može cirkulisati. Voda se posle hlađenja ciklona može koristiti za staklenike.

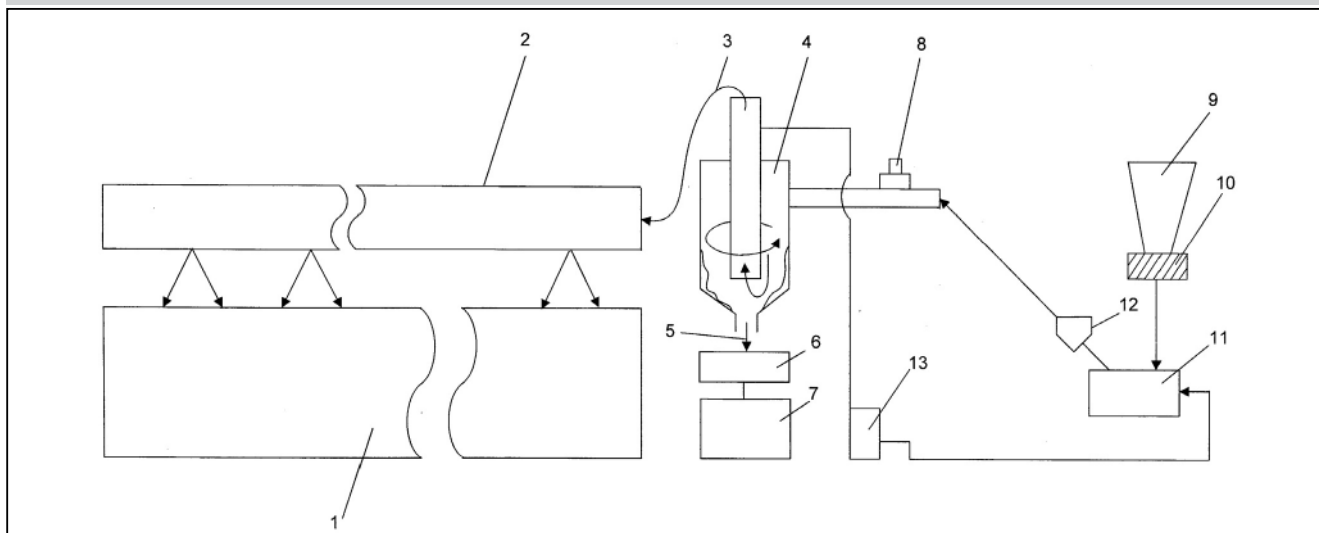
Dodatno uz ovu varijantu može se koristiti i minikotao. Minikotao na ugalj se montira za potrebe fabrike za zagrevanje i dobijanje tople vode. Zapaljivanje kotla se vrši plazmatronom. Užareni gas iz zagrejanog kotla se vodi u ciklon da se prečisti i zatim vodi u opšti kolektor. Dalje se užareni gas vodi u sekciju peći ili za zagrevanje proizvodnih pogona.

Tehno – ekonomska ocena efikasnosti sušenja i pečenja cigala u kružnoj peći sa plazma – ciklonskom komorom pokazala je da pri proizvodnosti peći od

Slika 21 Šema plazma – ugljenog generatora toplote za proizvodnju cigala



Slika 22. Šematski prikaz pečenja cigala u kružnoj peći sa ciklonskim principom sagorevanja



1 – kružna peć; 2 – izolovani dovod užarenog vazduha; 3 – užareni gasovi; 4 – ciklonska komora; 5 – tečna šljaka; 6 – dorada šljake; 7 – korisnik ili prijemnik šljake; 8 – plazmatron, 9 – bunker sirovog uglja; 10 – dodavač uglja; 11 – mlin; 12 – separator praha; 13 – ventilator.

20 miliona cigala u godini ekonomski efekat je 55.000 dolara/god uz duplo sniženje ispuštanja štetnih gasova u atmosferu. Sada se priprema puštanje u rad postrojenja u pomenutoj fabrici uz utrošak 800 kg uglja na sat.

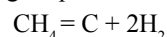
13. Plazmeno-ugljena tehnologija za zagrevanja i zarenja elemenata za kovanje

Plazma – ugljena tehnologija zagrevanja i žarenja delova vrši se uz korišćenje energetskih ugljeva, koji sagorevaju u plazma ugljenoj komori (sl. 23), umesto korišćenja mazuta ili gasa [36,38]. Prelaskom na novu tehnologiju povećava se ekonomičnost uz ekološku prednost za tu namenu. Tehnološka procena je pokazala duplo veće sniženje cene tretmana u odnosu na zagrevanje mazutom.

14. Plazma-tehnološki postupak dobijanja kompozitnih nanougljeničnih materijala (KNM) i vodonika pirolizom ugljovodoničnog gasa

Plazma DC reaktor omogućuje proizvodnju perspektivnih novih materijala iz ugljovodoničnih gasova – nanougljovodoničnih cevčica i kompozitnih nanougljovodoničnih materijala na njihovoj osnovi. Plazma tehnologija dobijanja KNM za razliku od do sada poznatih tehnologija koje se odigravaju pri pritisku manjem od 0,05 atm. u helijumu, zasniva se na korišćenju plazma hemijskog reaktora sa magnetnim fokusiranjem katodne emisije, što se odigrava na

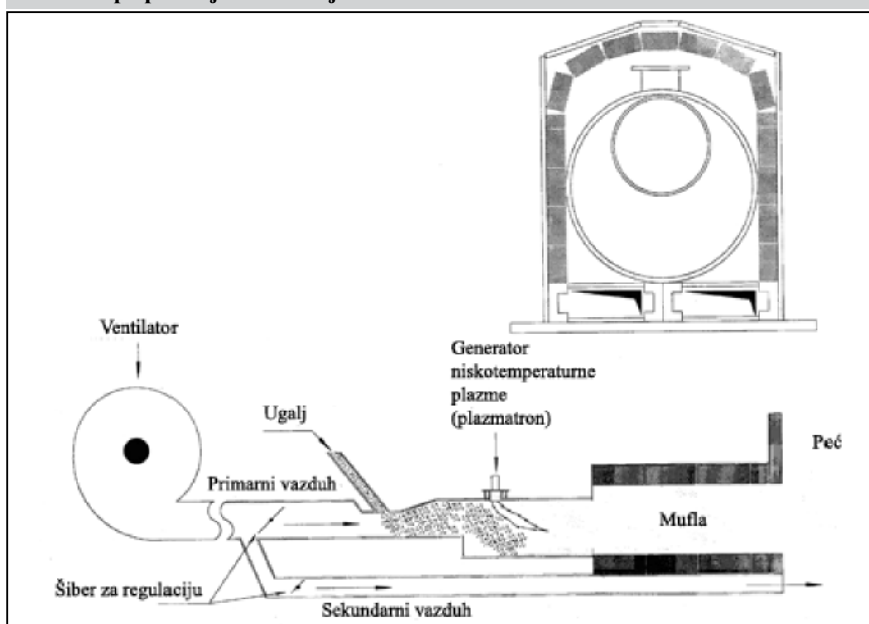
atmosferskom pritisku u plazma gasovima – vazduhu ili azotu. Takav način omogućuje pojeftinjenje konačnog proizvoda – KNM, koji se pojavljuje kao elektroodni depozit i istaložene ugljene nano čestice. Drugi ciljni proizvod ovog procesa je vodonik. Na primer, pri plazma – pirolizi prirodnog gasa proces se odvija na sledeći način:



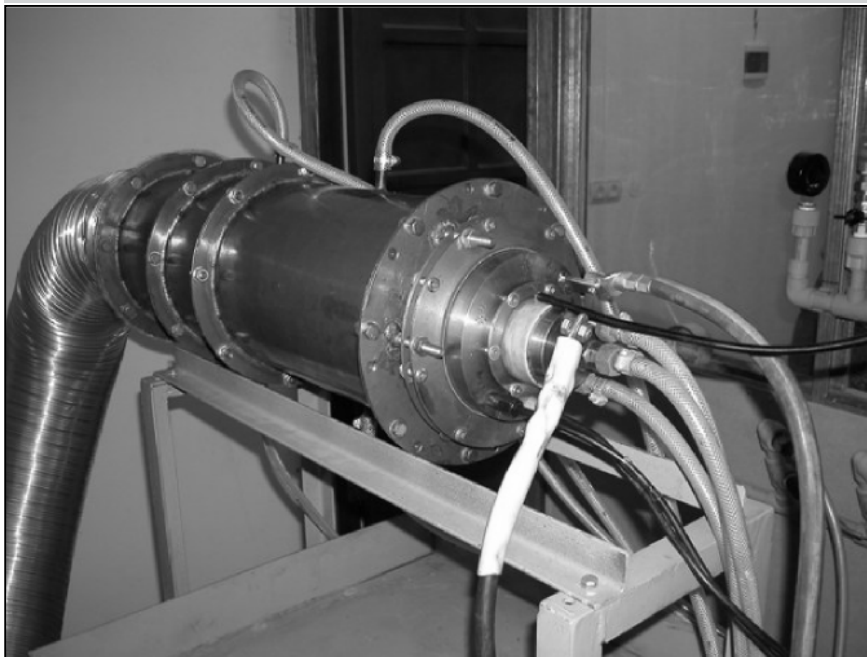
Iz ugljenika, koji se pri ovom procesu izdvaja u plazma reaktoru (sl. 24), obrazuje se KNM (slika 25).

- Izvršeni su eksperimenti sa dobijenim KNM u plazma reaktoru i izvršena su fizičko – hemijske analize tog materijala uz korišćenje skenirajućih i prosvetljujućih elektronskih mikroskopa, rendgenske mikroanalize i Raman – spektroskopije.
- Kondezat koji se obrazuje na elektrodama je provodni polikristaličan materijal sličan grafitu i predstavlja KNM. Niti ugljenika (cevčice) su jedna drugoj paralelno orijentisane i normalno površini depozita ili površini grafitne prevlake katode. Površina pokrивke okrenuta površini pražnjenja je blistava i glatka površina sive boje.
- Na bazi detaljnih Raman – spektroskopskih ispitivanja uzoraka kondezata, pokazalo se da je elektroodni depozit, koji se dobija pirolizom propan – butan smeše u uslovima jako – strujnog pražnjenja sa magnetnim fokusiranjem ustvari kompozitni ugljenični materijal izrađen od nanoklastera ugljenika koji se uglavnom sastoji od mnogozidnih ugljeničnih nanocevčica i drugih

Slika 23 Plazma - ugljena komora za zagrevanje i žarenje delova koji se pripremaju za kovanje kao i čeličnih odlivaka



Slika. 24 Fotografija postrojenja plazma reaktora sa komorom za izdvajanje KNM



ugljeničnih oblika (nanotrake, nanovlakna, nanopločice i dr.) sa izvesnom količinom atoma bakra, interkoliranih u ugljeničnu matricu.

- Na osnovu dobijenih rezultata zaključeno je da je sagrađen plazma hemijski DC reaktor, kom nema sličnih u svetu i na kojem se može realizovati proces dobijanja ugljeničnih nanomaterijala pri

atmosferskom pritisku, bez korišćenja plemenitih gasova argona i helijuma.

- Praktični značaj rezultata ispitivanja se sastoji u uspostavljanju metode dobijanja ugljeničnih nanomaterijala u plazma reaktoru novog tipa, koji su konkurenti u poređenju sa postojećim razvojem u svetu kao u SAD (<http://www.predmaterijals.com/nanosize/>

[index.html](#)) i Japanu. (Abstrakti i kompletni članci na CD sa 18 Int. Symposium on Plasma Chemistry// Kyoto, Japan, August 26 – 31, 2007. Kyoto University, Japan, 768 p.)

Očekivana proizvodnost plazma reaktora je 50 gr KNM na sat.

15. Matematičko modeliranje procesa plazmenog zapaljivanja, sagorevanja, gasifikacije čvrstih goriva i prerade mineralnih sirovina

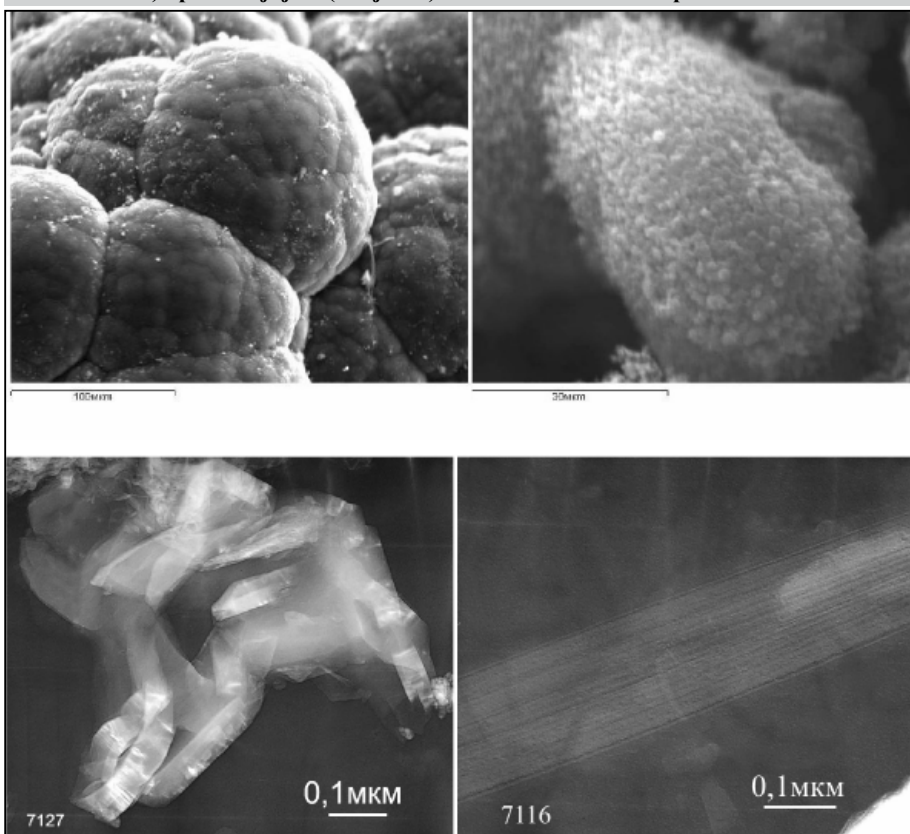
Za numeričko ispitivanje gore opisanih tehnologija i projektovanje opreme za njihovo izvođenje korišćeni su sledeći razvijeni i standardni matematički modeli i kompjuterski programi.

- Automatizirani program termodinamičkih razmatranja višekomponentnih heterogenih sistema „TERRA“ [22].
- Kompjuterski program „plazma – ugalj“ za razmatranje procesa kretanja, zagrevanja i kinetike termohemijskih promena aerosmeše kod plazma ugljeničnih gorionika [21].
- Kompjuterski program FLOREAN (Toplotehnički Institut, Brauišvajg, Nemačka) [23], CINAR ICE (Imperial Colega, London, UK) [24], i KIVA – F (Ruan Univerzitet, Francuska) za gorionike energetskih kotlova na spraseni ugalj, koji se koriste u PGS [16].

Za termodinamičku analizu procesa široko se koristi univerzalni program razmatranja višekomponentnih heterogenih sistema TERRA, koji je izrađen za visokotemperaturne procese. Za razliku od tradicionalnih metoda razmatranja u hemijskoj termodinamici ravnotežnih parametara uz korišćenje energije Gibbsa konstante ravnoteže i zakona delujućih masa Guldberga i Waage-a, univerzalni program termodinamičkih razmatranja TERRA, zasniva se na principu maksimuma entropije za izolovane termodinamičke sisteme, koji se nalaze u stanju ravnoteže.

Metodsku osnovu termodinamičkog razmatranja predstavljaju fundamentalni zakoni termodinamike, zajedno sa zakonima održanja mase, energije i električnog naboja. Ovo omogućuje da se za zatvorene termodinamičke sisteme sačini matematički model za opšti slučaj obrazovanja elektro neutralnih i jonizovanih komponenti u ravnotežnim gasovitim i kondenzovanim materijama.

Slika 25 Mikrofotografije elektrodnog depozita dobijene pomoću skenirajućeg (gornji red) i prosvetljujući (donji red) elektronskih mikroskopa



energija

U opštem slučaju sistem koji se ispituje je heterogen i sastoji iz nekoliko raznorodnih faza razdvojenih vidljivim granicama i sve materije koje formiraju gas nalaze se u jednoj gasnoj fazi. Kondenzovane materije mogu formirati različite faze. Pri tome formiranje gasne faze je obavezno za svaki sistem koji se razmatra u momentu kada se kondenzovani sistemi ne moraju formirati. Ravnoteža sistema u saglasnosti sa drugim zakonom termodinamike, karakteriše se maksimumom entropije odgovarajućih termodinamičkih stepena slobode u čemu su temperatura (T), pritisak (P) i koncentracija komponenata ravnotežne smeše Ci. Posle postizanja pune termodinamičke ravnoteže faza i hemijskog sastava sistema koji se posmatra moraju biti jednoznačno povezani sa drugim parametrima stanja (P, T, ρ , U) gde ρ i U su gustina i unutrašnja energija sistema.

Program TERRA poseduje sopstvenu bazu termodinamičkih svojstava pojedinačnih komponenti, koja se stalno dopunjava i pojašnjava. Sada se u banci podataka nalaze termodinamičke funkcije za 3500 pojedinačnih materija u intervalu temperatura od 300-6000 K.

Razmatranje plazma-termohemijskih tretmana uglja u PGS realizuju se pomoću matematičkih modela kretanja, prenosa toplote i termohemijskih promena sprasjenog uglja u gorionicima sa plazma izvorima. Model opisuje dvofaznu hemijski reagujuću struju (ugljene čestice i gas-oksidans) sa unutrašnjim izvorom toplote (električni luk, plazma plamen ili egzotermička reakcija). Aerosmeša ulazi u komoru u kojoj se dešava razmena toplote između gasa i električnog luka, gasa i čestica različitih frakcija. Uočavaju se takođe hidrodinamički otpori reagujućem protoku i razmena toplote sa zidovima.

Razmatraju se sledeće hemijske promene goriva i oksidansa: izdvojenih gasovitih produkata iz uglja, njihova promena u gasnoj fazi, a takođe i reakcija gasifikacije ugljenika iz goriva.

Sistem običnih termodinamičkih jednačina uključuje izjednačavanje koncentracije komponenata (jednačine hemijske kinetike) zajedno sa jednačinama brzine i temperature gasa i čestica. Plazmeni izvor se uzima u vidu unutrašnjeg izvora toplote sa empirijskom raspodelom izdvajanja toplote niz osu PGS u jednačini održanja energije. Model se odlikuje detaljnim opisom kinetike hemijskih reakcija (ukupno 116 hemijskih reakcija), čija opšta shema, zajedno sa reakcijama izdvajanja primarnih

produkata, određuje reakcije njihovih daljih promena. Temperaturna zavisnost konstante brzine iskazuje se Arenijusovim zakonom.

Matematički model je realizovan u vidu kompjuterskog programa „plazma-ugalj“.

Za matematičko modeliranje procesa koji se dešavaju u trodimenzionalnim prostorima kotlova pri sagorevanju uglja koriste se kompjuterski programi CINAR ICE, FLOREAN i KIVA – F, zasnovani na numeričkim rešenjima trodimenzionih jednačina prenosa energije i materije uz učešće hemijskih reakcija. Sva tri matematička modela su složeni sistemi nelinearnih trodimenzionih diferencijalnih jednačina sa elementima jednačina neuništivosti sredine, sastava idealnog gasa i kretanja dvofazne sredine, jednačina prenosa toplote, hemijske kinetike i difuzije za komponente reagujuće smeše sa učešćem radijacionog i turbulentnog prenosa koji se iskazuje pomoću k-e-modela turbulentnosti.

U svim modelima se razmatraju pojednostavljena hemijskog modela sagorevanja, u kojem se ne nalaze prelazne reakcije i prelazne komponente, uočavaju se isparljivi sastojci iz uglja, njihova oksidacija do oksida ugljenika i sagorevanje ugljenika.

Kompjuterski programi omogućuju određivanje brzine {u, v, w}, polja temperature, pritiska, koncentracije proizvoda gorenja, uključujući okside azota.

Primećujemo da se u programima CINAR ICE i KIVA – F počinjanje gasne faze, dvofaznog reagujućeg toka opisuje na osnovu pristupa Ejlera istovremeno kad se ponašanje pojedinačnih čestica opisuje na osnovu pristupa Lagranža. U programu FLOREAN za opis kako gasne faze tako i čestica koristi se pristup Ejlera, pri čemu se pretpostavlja, da brzina čvrstih čestica odgovara brzini gasa, tj. efekat usaglašavanja.

Svi navedeni programi su verifikovani upoređivanjem računskih podataka sa rezultatima laboratorijskih i prirodnih uslova [22,24,32].

Zaključci

Iz prikazanog pregleda razvijenih tehnologija korišćenja goriva i prerade mineralnih sirovina očigledna je njihova tehnička realnost i energetska i ekološko-ekonomska efikasnost.

Za realizaciju opisanih tehnologija koriste se malogabaritna i energetskefikasna oprema. Aktualnost,

pogodnost i perspektivnost plazma tehnologije i opreme za njihovu implementaciju potvrđeni su nizom patenata Rusije i Kazahstana [7, 9, 13, 25-31].

Korišćeni matematički modeli predstavljaju samostalnu naučnu vrednost, predstavljajući moćnu alatku ispitivanja savremenih tehnologija i procesa prerade goriva i mineralnih sirovina. Korišćeni kompjuterski programi omogućuju konkurentnost novih tehnologija na račun smanjenja troškova naučnoistraživačkih i eksperimentalno-konstruktorskih radova, a takođe suštinski skraćuju njihovo trajanje i ubrzavaju proces implementacije rezultata razvoja u konkretne industrijske procese.

Literatura

1. Карпенко Е.И., Жуков М.Ф., Мессерле В.Е. и др. Научно-технические основы и опыт эксплуатации плазменных систем воспламенения углей на ТЭС (безмазутная растопка котлов и стабилизация горения пылеугольного факела).– Новосибирск: Наука, 1998.– 137 с.
2. Messerle V.E., Karpenko E.I., Ustimenko A.B. Plasma-energy Technologies for Improvement and Economy Indexes of Pulverized Coal Incineration and Gasification // The Proceeding of the 28-th International Conference on coal Utilization and Fuel Systems / Clear Water, Florida, USA.– U.S. Department of Energy and Coal Technology Association of USA.– 2003.– P.255-266.
3. Karpenko E.I., Messerle V.E., Ustimenko A.B. Plasma-fuel system for environment and economy indexes of pulverized Coal incineration and gasification Improvement // Proceeding of Seventh International Conference on Energy for a Clean Environment / Lisbon, Portugal, 2003.– CD of Proceedings.– N 32.09; Book of Abstracts.– P.171.
4. Карпенко Е.И., Мессерле В.Е., Чурашев В.Н. и др. Эколого-экономическая эффективность плазменных технологий переработки твердых топлив.– Новосибирск: Наука, 2000.– 159 с.
5. Общие требования к системам безмазутной растопки котлов и стабилизации пылеугольного факела с использованием электродуговых плазмотронов (Нормативный документ) РАО

- «ЕЭС России».– ВТИ – ОЦ ПЭТ
РАО «ЕЭС России». М.: 2001.– 9 с.
6. Сертификаты оценки стоимости интеллектуальной собственности ЗАО «ОЦ ПЭТ» РАО «ЕЭС России». Регистрационные номера 325, 326, 327 от 21.06.99.– Международный институт промышленной собственности. – М.: 1999.– 39 с.
 7. Карпенко Е.И., Мессерле В.Е., Перегудов В.С. Способ плазменного воспламенения пылеугольного топлива // Патент РФ № 2210700/ Бюллетень № 23 от 20.08.2003.
 8. Karpenko E.I., Messerle V.E., Ustimenko A.B. Plasma-Fuel Systems for Enhancement Coal Gasification and Combustion / Abstracts of Work-in-Progress Poster Presentations of 30th International Symposium on Combustion // University of Illinois at Chicago, July 25-30, 2004.-5F4-03;-P.423.
 9. Карпенко Е.И., Лукьященко В.Г., Мессерле В.Е., Иванов А.А., Малых А.В. Электромагнитный реактор и способ его пуска // Патент на изобретение Российской Федерации № 2225685 / Бюллетень изобретений № 7 от 10.03.2004 г. (Срок действия патента до 29.12.2021 г.).
 10. Карпенко Е.И., Лукьященко В.Г., Мессерле В.Е. и др. Трехфазный электромагнитный реактор для плавки базальтовых пород // Доклады 3-й Всероссийской научно-практической конференции «Техника и технология производства теплоизоляционных материалов из минерального сырья».–М.: ЦЭИ «Химмаш».– 2003.– С.23-25.
 11. Доклады 3-й Всероссийской научно-практической конференции «Техника и технология производства теплоизоляционных материалов из минерального сырья». Бийск–М.: ЦЭИ «Химмаш».– 2003.– 87 с.
 12. Земцов А.Н., Лашманов Ю.Г., Пономарев В.Б. Рынок минераловатных утеплителей, их потребительская безопасность и перспективы отечественных производителей // Проектирование и строительство в Сибири.-2004.-№ 2(20).-С.29-33.
 13. Лукьященко В.Г., Карпенко Е.И., Мессерле В.Е. Плазменный реактор постоянного тока // Патент на изобретение РФ № 11 от 24.04.1999 г.
 14. Борзов А.И. Использование продуктов переработки угля Канско–Ачинского бассейна в технологии промышленных производств. Сб. докладов Международной научно–практической конференции, Красноярск, апрель 1998, с.82 – 87.
 15. Карпенко Е.И., Лукьященко В.Г., Мессерле В.Е., Иванов А.А., Малых А.В., Вербуль В.Г., Устименко А.Б. Исследование рабочих параметров электромагнитного реактора для плавки базальтовых пород // Доклады 4 Всероссийской научно-практической конференции «Техника и технология производства теплоизоляционных материалов из минерального сырья» 1-4 июня 2004, Бийск. М.: ЦЭИ «Химмаш» 2004 – С.59-60.
 16. Askarova A.S., Karpenko E.I., Messerle V.E., Ustimenko A.B. “Modeling of Plasma Activated Coal Combustion” The 7th Asia-Pacific International Symposium on Combustion and Energy Utilization (7th APISCEU) //The Hong Kong Polytechnic University, December 15-17, 2004, Hong Kong SAR, Abstract Booklet – P. 25, CD Proceedings – A3-101.
 17. Karpenko E.I., Messerle V.E. and Ustimenko A.B. “Plasma-Fuel Systems for Ignition, Combustion and Gasification of Pulverised Coal”, The 7th Asia-Pacific International Symposium on Combustion and Energy Utilization (7th APISCEU) //The Hong Kong Polytechnic University, December 15-17, 2004, Hong Kong SAR, Abstract Booklet – P. 64, CD Proceedings – B2-102.
 18. Карпенко Е.И., Мессерле В.Е., Коногоров Н.М. Плазменно-энергетические технологии использования угля для эффективного замещения мазута и природного газа в топливном балансе ТЭС // Теплоэнергетика, №10, 2004, С.53-60
 19. В.П. Войчак, В.Е. Мессерле, З.Б. Сакипов Исследование аэродинамики и теплообмена плазменно-циклонной электродуговой камеры // Тезисы доклада 6 Всесоюзной конф. по генераторам низкотемпературной плазмы, Фрунзе, Изд. ИЛИМ, 1974, с. 74
 20. Карпенко Е.И., Перегудов В.С., Мессерле В.Е., Пичугина Т.А. Кинетический расчет получения полукокса-сорбента // Теплоэнергетические системы и агрегаты: Сб. научн. трудов НГТУ: Новосибирск, 2003. – С.179-186.
 21. Карпенко Е.И., Мессерле В.Е., Устименко А.Б. Математическая модель процесса воспламенения, сжигания и газификации пылеугольного топлива в электродуговых устройствах. // Теплофизика и аэромеханика. – 1995. - Т.2, №2, С.151-165.
 22. Карпенко Е.И., Мессерле В.Е., Трусов Б.Г., Тютеебаев С.С., Устименко А.Б. Моделирование Плазмохимической переработки твердых топлив // Горение и плазмохимия, Том 1, №4, 2003, С.291-310
 23. Мессерле В.Е., Аскарлова А.С., Устименко А.Б., Карпенко Е.И., Локтионова И.В. Оптимизация процесса сжигания энергетических углей с использованием плазменных технологий // Теплоэнергетика, №6, 2004, С.60-65
 24. A.Ustimenko, V.Messerle, E.Karpenko, Z.Jankoski, F.C.Lockwood, M.Gorokhovski, Mathematical Modelling of the Pulverised Coal Preparation for Combustion Using Plasma // 31st EPS Conference on Plasma Phys. London, 28 June - 2 July 2004 ECA Vol.28G, P-1.027
 25. Карпенко Е.И., Мессерле В.Е., Перегудов В.С. Способ плазменного воспламенения пылеугольного топлива (варианты) и плазменная пылеугольная горелка (варианты). // Патент Республики Казахстан №12641. Бюл. Изобретений №2 от 16.02.2004
 26. Е.И. Карпенко, В.Г. Лукьященко, В.Е.Мессерле, А.А. Иванов, А.В. Малых, Электромагнитный технологический реактор и способ его пуска // Патент Республики Казахстан №13473. Бюл. Изобретений № 9 от 15.09.2003
 27. Карпенко Е.И., Мессерле В.Е., Перегудов В.С. Способ плазменного воспламенения пылеугольного топлива (варианты) и плазменная пылеугольная горелка (варианты). // Патент Российской Федерации №2210032 от 10.08.03 Бюллетень Изобретений 22, Приоритет 28.12.2000.
 28. Карпенко Е.И., Мессерле В.Е., Перегудов В.С. Способ плазменного воспламенения пылеугольного топлива (варианты) и плазменная пылеугольная горелка (варианты). // Патент Республики Казахстан №12641. Бюл. Изобретений №2 от 16.02.2004
 29. Е.И. Карпенко, С.Л. Буянтуев, В.Е. Мессерле, С.Ф. Михайлов, Д.Б. Цыдыпов, Способ

- газификации углей и установка для его осуществления // Патент РФ № 2062287 от 30.03.1995
30. E.I. Karpenko, V.E. Messerle, A.B. Ustimenko. Plasma-fuel system application in heat-and-power engineering. // Symposium "Power Plants 2008", 28-31 October, 2008. – Belgrade: Society of Thermal Engineers of Serbia and Montenegro, 2008, CD of the proceedings of the Symposium "Power Plants 2008", Vrnjaska Banja, Serbia, Invited Lecture, p. 1-10
31. В.Е. Мессерле, З.Б. Сакипов, Ш.Ш. Ибраев, Т.М. Сейтимов, Способ переработки углей и устройство для его осуществления // Авт. свид. СССР № 1369258, 1987
32. Аскарва А.С., Мессерле В.Е., Устименко А.Б., Локтионова И.В. Трехмерное моделирование двухступенчатого сжигания экибастузского угля в топочной камере котла ПК-39 Ермаковской ГРЭС // Теплоэнергетика, №8, 2003, С.22-26
33. V.E. Messerle, A.B. Ustimenko The 3rd International Workshop and Exhibition on Plasma Assisted Combustion // Thermophysics and Aeromechanics, 2008, Vol. 15, No. 2. - P.351-358
34. <http://www.predmaterials.com/nanosize/index.html>
35. Abstracts and Full-Papers CD of 18th International Symposium on Plasma Chemistry // Kyoto, Japan, August 26-31, 2007. Kyoto University, Japan, 768 p.
36. E.I.Karpenko V.E.Messerle, A.B.Ustimenko. New Plasma Technologies for Fuels Utilization // Proceedings of the 3rd International Workshop and Exhibition on Plasma Assisted Combustion (IWEPAC), September 18-21, 2007, Falls Church, USA, P.83-85
37. http://www.alibaba.com/catalog/10951811/Metallurgical_Coke.html
38. Е.И. Карпенко, В.Е. Мессерле, А.Б. Устименко. Новые плазменные технологии использования твердых топлив и отходов нефтепереработки // Материалы Международной научно-методической конференции «Научное сообщество этнических немцев в Центральной Азии и России: современное состояние и перспективы». Карагандинский Экономический Университет, 23-24 октября 2008 г., Караганда: Арко, 2008, с.172-181

Radmila Macura-Strajin

Prirodno-matematički fakultet, Banja Luka,

Jelena Penavin-Škundrić

Tehnološki fakultet, Banja Luka

Pero Dugić, Mirko Petković

Rafinerija ulja, Modriča a.d.

UDC: 665.7 : 543.51

Kinetika nastajanja oksidiranih produkata hidrogenizovanog baznog ulja P-160

Rezime

Oksidacioni procesi koji se dešavaju tokom eksploatacije maziva, kao konačnog produkta dobijenog iz baznog ulja, izazivaju stvaranje peroksi radikala, hidroperoksida, organskih kiselina, mulja i taloga koji su nepoželjni za mašinske sklopove u kojima se nalaze. Predmet istraživanja ovog rada je oksidaciona stabilnost hidrogenizovanog baznog ulja P-160 kao najvažnije karakteristike koja direktno utiče na vijek trajanja ulja. U cilju utvrđivanja kinetičke zakonitosti nastajanja oksidacionih produkata, izvođena su ispitivanja oksidacije u uslovima oksidacije vazduhom i oksidacije kiseonikom. Za ispitivanje su korištene standardne metode IEC, ASTM, a za ispitivanje oksidacione stabilnosti korištene su modifikovane standardne metode IP-48 i IP-306. Izvršena je karakterizacija oksidiranih produkata uzorka hidrogenizovanog baznog ulja infracrvenom spektrofotometrijom. Dobijeni rezultati doprinose boljem poznavanju kinetike oksidacije ispitivanog baznog ulja u širokom području temperatura i uz prisustvo vazduha i čistog kiseonika, što doprinosi boljem uspostavljanju kontrole nad veoma složenim i važnim problemom njihove primjene.

Кljučне riječi: hidrogenizovano ulje, oksidaciona stabilnost, kinetika, strukturni sastav.

Kinetics of isolated oxidation products hydrogenised base oil P-160

Oxidation processes which occur during the exploitation of lubricants, as final products of base oils, induce the formation of peroxide radicals, hydro peroxides, organic acids, silt and sediments which are undesirable for machines in which they found. The subject of research in this paper is oxidation stability of hydrogenised base oil P-160 as the most important characteristic which directly affects the oil's service life. The dependence of concentration of oxidation products, which contain a carbonyl group, has been studied in relation to the duration of oxidation. These tests have been conducted by standard methods of IEC and ASTM, and for the testing of oxidation stability modified standard methods IP-48 and IP-306 have been applied. Characterize of oxidation products from a hydrogenised base oil sample was done using an infrared spectrometry. Presented results contribute better understanding of kinetics oxidation of tested base oils in wide area of temperatures with presence of air and pure oxygen, which contributes better control over very complex and important issue of their application.

Key words: hydrogenised base oil, oxidation stability, kinetics, structural composition.

Uvod

Pravac hemijske reakcije i njena brzina zavise od svih hemijskih i fizičkih parametara procesa, a to su: temperatura, pritisak, vrijeme, agregatno stanje i odnos reaktanata,

primjena katalizatora, rastvarači i dr. U toku eksploatacije bazna ulja se izlažu visokim temperaturama uz prisustvo kiseonika iz vazduha, katalitičkim djelovanjem metala, pri čemu dolazi do promjene hemijskog sastava.

energija

Kao proizvod oksidacije obrazuju se slobodne i vezane kiseline, aldehidi, ketoni i druga jedinjenja kiseonika, a s druge strane odvijanjem reakcija oksidacije i polimerizacije nastaju smolasta i asfaltenska jedinjenja koja postaju nerastvorna i izdvajaju se kao talog. Maziva, kao krajnji produkt primjene baznih ulja, prilikom upotrebe su izložena različitim uticajima na njegovu oksidacionu stabilnost, pa se proces oksidacije ne može potpuno izbjeći, ali se može pokušati ublažiti izborom odgovarajućeg baznog ulja i aditiva koji ulaze u njegov sastav. Poznavanje kinetičkih zakonitosti oksidacije baznih ulja testiranih modifikovanim standardnim metodama daje veliki doprinos kvalitetnijem izboru komponenata maziva, tj. formulisanju gotovog proizvoda. Značaj produženja vijeka trajanja ulja je od ogromnog ekološkog značaja jer se smanjuje njegovo prisustvo u velikim količinama. Rešavanje tog problema doprinosi i poznavanje kinetičkih zakonitosti baznih ulja.

Bazna ulja

Bazna ulja obezbjeđuju niz funkcija finalnom proizvodu – mazivima: motornim i industrijskim uljima. Ona obezbjeđuju: podmazivanje – stvaranjem sloja fluida koji razdvaja pokretne površine, hlađenje i čišćenje kontaktnih površina – odvođenjem toplote i odnošenjem čestica habanja iz područja pokretnih radnih površina. Sam izbor maziva vrši se na osnovu konstrukcionih karakteristika uređaja, radnih uslova, i drugih faktora koji su vezani za primjenu maziva.

Pravilan izbor uključuje i poznavanje najvažnijih karakteristika maziva:

- viskoznost
- indeks viskoznosti
- tačka zapaljivosti
- tačka očvršćavanja
- neutralizacioni broj
- saponifikacioni broj
- sposobnost deemulgiranja
- prisustvo onečišćenja
- prisustvo vode
- prisustvo pepela
- boja
- specifična masa i dr.

Savremena motorna ulja formulisana su od različitih baznih ulja i sintetičkih hemijskih aditiva.

Niz novih i poboljšavanje postojećih osobina baznog ulja, kao i zaštita od oksidacije samog baznog fluida obezbjeđuju posebno razvijeni hemijski aditivi. Bazna ulja su istovremeno i nosioci aditiva, odnosno rastvarači koji moraju držati aditive u rastvoru u

širokom području radnih temperatura i pritiska.

Današnje svjetske potrebe za baznim uljima su oko 36 miliona tona. Još uvijek su u formulacijama motornih ulja najzastupljenija bazna ulja dobijena procesima iz sirove nafte. Bazna ulja se dobijaju nizom tehnoloških operacija destilacije, ekstrakcije, deparafinacije, završna obrada, itd.

S obzirom na složenost sastava sirove nafte, sve oštrije tehničke i ekološke zahtjeve koji se postavljaju pred proizvođače motornih ulja, klasični separacioni procesi prerade nafte u svrhu dobijanja baznih ulja, ne mogu da zadovolje sve zahtjeve. U svrhu promjene hemijskog sastava polazne sirovine, dobijanja baznih ulja koji imaju znatno bolje osobine od onih koji se postižu samo odstranjivanjem nepoželjnih jedinjenja, razvijeni su mnogobrojni katalitički hidrogenizacioni procesi. Svi procesi, s obzirom na složenost hemijskog sastava i moguće interakcije između različitih komponenata, zahtijevaju složena prethodna laboratorijska i motorna ispitivanja.

Kinetika mehanizma oksidacije

Radi dominantne uloge hidroperoksida u toku oksidacionog procesa sa kinetičkog aspekta važne su reakcije njihovog obrazovanja i razaranja. Za nastajanje oksidacionog lanca odlučujuće je odstranjivanje jednog atoma vodonika iz molekule ugljovodonika. Odstranjivanjem atoma vodonika ostaje ugljovodonični ostatak R sa slobodnim mjestima za reakciju, na C atomu odakle je odstranjen atom vodonika. Ova jednačina se može prikazati kinetičkom jednačinom za reakciju prvog reda.

$$- \frac{d(RH)}{dt} = K_a \cdot (RH)$$

gdje je: $K_a = B \cdot e^{-E/RT}$

K_a - konstanta proporcionalnosti zavisi od energije E koja je potrebna za kidanje C-H veze, od prostorne orijentacije molekule RH koja je izražena konstantom B i od reakcione temperature.

Kao posljedica reakcione sposobnosti radikalskih slobodnih mjesta je brzo reagovanje sa molekularnim kiseonikom, pri čemu se obrazuju peroksidni radikali. Ovaj reakcioni stepen se može prikazati sljedećom kinetičkom jednačinom:

$$- \frac{d(O_2)}{dt} = K_b \cdot (R) \cdot (O_2)$$

Navedena jednačina opisuje uticaj rastvorenog kiseonika na početnu brzinu u toku oksidacije, jer pored uticaja koncentracije radikala, brzina reakcije je direktno proporcionalna koncentraciji kiseonika. Pretpostavlja se da bi se ova reakcija mogla odvijati kao monomolekularna i njena brzina se može prikazati kao kinetička jednačina za reakcije prvog reda:

$$- \frac{d(ROOH)}{dt} = K \cdot (ROOH)$$

Neki istraživači, međutim, su utvrdili odstupanje od navedene kinetičke jednačine i pokazali da je takav reakcioni tok bimolekularan. Ovo odstupanje je posljedica energetskih promjena sistema uslijed uticaja vodoničnih veza, a kinetička jednačina ima slijedeći oblik:

$$- \frac{d(ROOH)}{dt} = K \cdot (ROOH)^2$$

Razlaganje hidroperoksida, takođe predstavlja i mjesto grananja lančanih reakcija.

S obzirom da ovaj proces zavisi od koncentracija hidroperoksida, može se porast brzine reakcije uočiti kao kraj indukcionog perioda.

Materijal i metode rada

Za izvidenje eksperimentalnog dijela ovog rada korišteno je komercijalno bazno ulje oznake P-160. P-hidrogenizovano bazno ulje je ulje sa visokim indeksom viskoznosti, a sa niskim sadržajem aromata i heterojedinjenja.

Procesi katalitičke hidrogenizacije postali su standardne metode finalne obrade baznih ulja, a hidrogenizacija pod oštrijim uslovima (viši pritisci i temperature i drugi tipovi katalizatora) koristi se kao zamjena rafinaciji sa rastvaračima za regulaciju sadržaja aromatskih ugljovodonika. Izuzev hidrorafinacionih katalitičkih procesa, svi procesi korišteni u savremenim rafinerijama za proizvodnju baznih ulja su fizičke separacione tehnike tj. svi krajnji produkti u gotovom baznom ulju prisutni su u izvornoj sirovoj nafti, a procesne metode su korišćene za koncentrisanje poželjnih komponenata, odnosno odstranjivanje manje poželjnih komponenata.

Oksidaciona stabilnost baznog ulja dobijenog procesom hidrogenizovanja ispitivano je standardnim metodama oksidacije i to: IP 48 i IP 306, koje su djelimično modifikovane. U *Tabeli 01.* su navedene osnovne fizičko-hemijske karakteristike korištenog baznog ulja.

Tabela 01 Osnovne fizičko-hemijske karakteristike korištenog baznog ulja

Oznaka baznog ulja	P-160					
Karakteristika	Kinematska viskoznost na 40°C	Kinematska viskoznost na 100°C	Indeks viskoznosti	Neutralizacioni broj	Sadržaj koksa	Sadržaj sumpora
Metoda	BAS ISO 3104	BAS ISO 3104	BAS ISO 2909	ISO 6618	BAS ISO 6615	ASTM D 4294
Jedinica mjere	mm ² /s	mm ² /s	-	mg KOH/g	% m/m	mg/kg
Rezultat	29,13	5,29	111	0,02	0,01	48,7

Tabela 02 FTIR-rezultati oksidacionog ispitivanja baznih ulja na talasnom broju 1710 cm⁻¹ na temperaturi od 160°C

Radna temperatura	Modifikovana metoda IP 48		Modifikovana metoda IP 306	
	Vrijeme trajanja oksidacije [h]	Apsorbanca na talasnom broju 1710 cm ⁻¹	Vrijeme trajanja oksidacije [h]	Apsorbanca na talasnom broju 1710 cm ⁻¹
t = 160°C	24	0	24	0
	48	0	48	0
	72	0	72	0,005
	96	0	96	0,008
	120	0	120	0,033
	144	0	144	0,061
	168	0	168	0,084
	240	0,01	240	0,108
	264	0,017	264	0,136
	360	0,024	360	0,179
	384	0,031	384	0,206

Kao osnova za eksperimentalni rad su poslužile standardne metode, ali je rađeno na slijedeći način: uzorci su izlagani uslovima oksidacije zagrijavanjem na tri različite temperature od 120°C, 140°C i 160°C, i prolazom vazduha (odnosno kiseonika) kroz uzorak brzinom od 1 l/h. Oksidaciono ispitivanje metodom IP 306 je rađeno bez korišćenja katalizatora. Oksidaciono ispitivanje je trajalo u deset perioda od po 24 časa.

Poslije isteka svakog perioda uzimana je odgovarajuća količina uzorka i praćena je oksidaciona promjena na FTIR spektrofotometru na talasnom broju 1710 cm⁻¹. Talasni broj u vrijednosti od 1710 cm⁻¹ je dio spektra karakterističan za jedinjenja koja sadrže karbonilnu grupu.

Karakterizacija uzoraka baznih ulja nakon provedenih oksidacionih testova vršena su u laboratorijama Rafinerije ulja Modriča korišćenjem infracrvene spektroskopije na FTIR spektrofotometru Perkin Elmer 1600.

Rezultati i diskusija

Temperatura od 120°C i 140°C, protok vazduha od 1L/h su prvi zadati uslovi

oksidacionog ispitivanja modifikovanim metodama IP 48 i IP 306. Ovim metodama za uzorak baznog ulja P-160 ni nakon 384 h trajanja oksidacije nisu uočeni mjerljivi oksidacioni produkti na FTIR-spekturu na talasnom broju 1710 cm⁻¹.

Na osnovu izvedenih eksperimenata jasno se može zaključiti da na temperaturama od 120°C i 140°C, za oksidacione testove po modifikovanim metodama IP 48 i IP 306 i dužini trajanja ispitivanja od 384 h, nije uočena promjena FTIR spektra na talasnom broju 1710 cm⁻¹, odnosno, nije primjećena pojava oksidiranih produkata, što upućuje na odličnu postojanost baznog ulja na tim temperaturama. Ovo saznanje može poslužiti za procjenu promjenjivosti baznih ulja bez modifikacije njihovog sastava, odnosno bez dodavanja inhibitora.

Temperatura oksidacije za obe metode je povećana dalje na 160°C uz protok vazduha, odnosno kiseonika, od 1 L/h i rezultati ispitivanja su prikazani u Tabeli 02.

Povećanjem temperature oksidacije na 160°C dolazi do vidljivih pojava

oksidiranih produkata u ispitivanom uzorku baznog ulja mjenim na FTIR-spektrofotometru. Već nakon 72 h, kod zadatih uslova može se uočiti pojava oksidiranih produkata kod uzoraka hidrogenizovanog baznog ulja, i to niska vrijednost apsorbance na talasnom broju 1710 cm⁻¹. Vrijednosti apsorbanci pokazuju da su se na toj temperaturi stvorili uslovi za oksidaciju jedinjenja koja su podložna oksidacionim promjenama. Nakon 384 h kod istog uzorka vrijednost apsorbance je porasla za 2,2 puta.

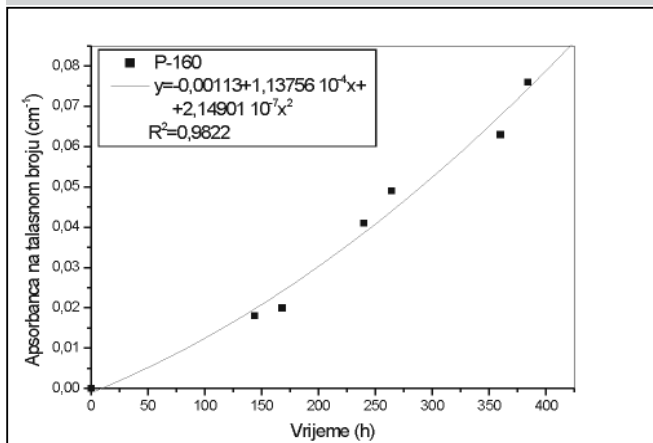
Predstavljena matematička kriva zavisnosti vrijednosti

apsorbanci od vremena, za metodu IP 48 je polinom drugog stepena, a za metodu IP 306 kriva ima oblik polinoma trećeg stepena. Važno je napomenuti da se svi matematički prikazi analiziranih oksidacionih procesa mogu primjeniti samo u slučajevima iste oksidacione metode i baznog ulja istog porijekla kao i ispitivani uzorci.

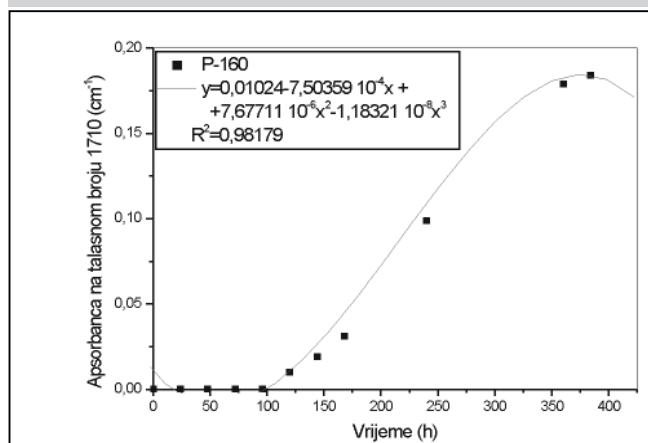
Sa snimljenih FTIR-spektara uzoraka baznih ulja očitane su apsorbance na talasnom broju 1710 cm⁻¹ koji je karakterističan za jedinjenja koja u svom strukturnom sastavu sadrže karbonilnu grupu (=CO). Talasni broj IR apsorpcije pojedinih traka zavisi od nekoliko faktora i to: tipa vibracije (valentne i deformacione vibracije), zatim mase atoma ili grupa koji prouzrokuju vibraciju, kao i prirode veza.

Na Slici 03. se jasno vidi promjena maksimuma trake na talasnom broju 1710 cm⁻¹ snimljenih u različitim vremenskim intervalima. Promjena intenziteta maksimuma trake karakterističnog za funkcionalnu grupu =CO na talasnom broju 1710 cm⁻¹ se mijenja u zavisnosti od količine nastalih jedinjenja koja sadrže karbonilnu grupu.

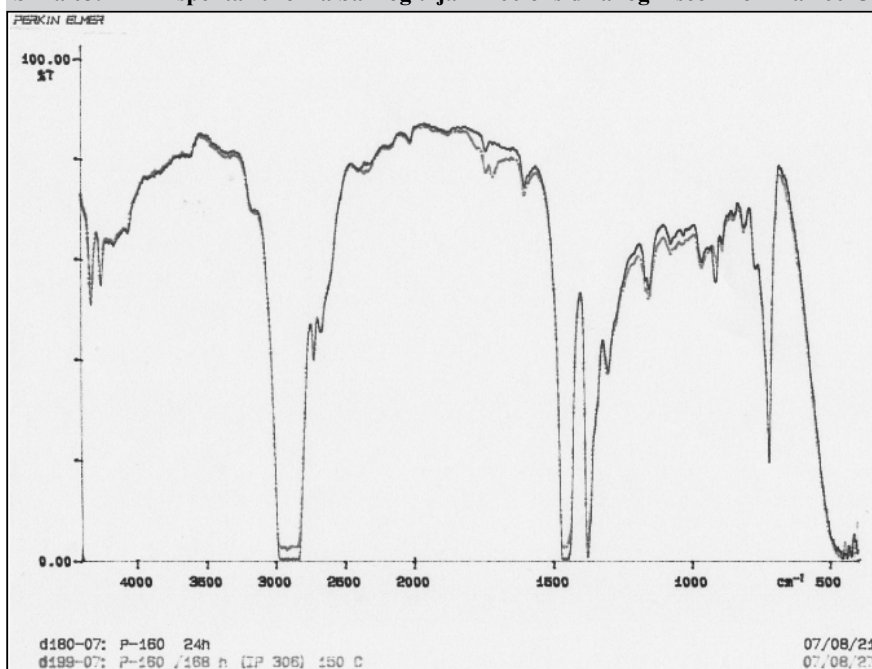
Slika 01 Zavisnost apsorbance na talasnom broju 1710 cm⁻¹ od vremena oksidacije (h) na temperaturi od 160°C za bazno ulje P-160 modif. metodom IP 48



Slika 02 Zavisnost apsorbance na talasnom broju 1710 cm⁻¹ od vremena oksidacije (h) na temperaturi od 160°C za bazno ulje P-160 modif. metodom IP 30



Slika 03. FTIR spektar uzorka baznog ulja P-160 oksidiranog kiseonikom na 160°C



Da bismo pokazali zavisnost promjene koncentracije produkata koje sadrže karbonilnu grupu u zavisnosti od

vremena odvijanja oksidacionog ispitivanja, neophodno je bilo izraditi kalibracionu krivu supstance koja sadrži

karbonilnu grupu, a čije koncentracije su nam poznate u istom uzorku baznog ulja. Na osnovu matematičke zavisnosti dobijene kalibracione krive omogućeno nam je upoređivanje svih oksidacionih produkata koji sadrže karbonilnu grupu kao što su odgovarajući aldehidi, ketoni, karboksilne kiseline, estri. U tu svrhu korištena je n-nanonovska kiselina.

Na slijedećoj *Slici 04. i 05.* prikazana je promjena količine oksidiranih produkata u zavisnosti od vremena

U slijedećim *Tabelama 04,05.* prikazana je brzina hemijske reakcije u pojedinim intervalima vremena odigravanja reakcije oksidacije. Vrijednosti za brzinu hemijske reakcije su dobijene određivanjem nagiba pravca za karakteristične dijelove krive zavisnosti količine oksidiranih produkata od vremena trajanja oksidacije.

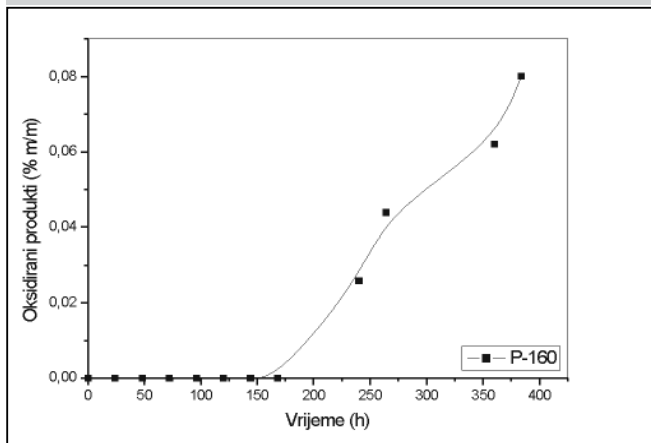
Standardne metode propisuju mjerenje samo kiselinskog broja (TAN-Ukupni kiselinski broj) kao mjerila za promjenu sadržaja kiselih oksidacionih produkata, a metoda primjenjena u ovom radu je osjetljivija i selektivnija u odnosu na nju i registruje sve produkte oksidacije koja sadrže =CO grupu.

Iz tabela gdje je prikazana kinetika oksidacije vidi se da je period od početka oksidacije do dostizanja autokatalitičke faze autooksidacije kratak, i da je brzina oksidacije najveća u periodu 168-240 h za metodu IP 48 i 96-144 h za metodu IP 306 trajanja oksidacije, nakon čega se odvija faza propagacije ili prenosa radikala putem slobodnih radikala. Može se zapaziti da postoje tri karakteristična intervala brzine odvijanja reakcije.

Tabela 03. Preračunate vrijednosti koncentracija oksidiranih produkata na temperaturi od 160°C

Modifikovana metoda IP 48		Modifikovana metoda IP 306	
Apsorbance na talasnom broju 1710 cm ⁻¹	Oksidirani produkti : m [% m/m]	Apsorbance na talasnom broju 1710 cm ⁻¹	Oksidirani produkt m [% m/m]
0	0	0	0
0	0	0	0
0	0	0,005	0,0129
0	0	0,008	0,0207
0	0	0,033	0,0853
0	0	0,061	0,1577
0	0	0,084	0,2172
0,01	0,0259	0,108	0,2792
0,017	0,0439	0,136	0,3516
0,024	0,062	0,179	0,4628
0,031	0,0801	0,206	0,5326

Slika 04 Zavisnost količine oksidiranih produkata od vremena trajanja oksidacije modif. metodom IP 48, za bazno ulje P-160



Slika 05 Zavisnost količine oksidiranih produkata od vremena trajanja oksidacije modif. metodom IP 306, za bazno ulje P-160

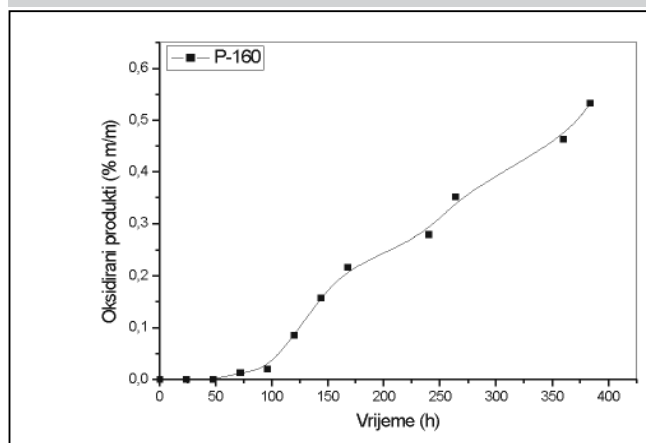


Tabela 04 Brzina hemijske reakcije oksidacije na temperaturi od 160°C modif. metodom IP 48 za bazno ulje P-160

? t [h]	P-160
	v = ? m / ? t [% (m/m) / h]
0-168	period indukcije
168-240	0,00036
240-384	0,00038

Tabela 05 Brzina hemijske reakcije oksidacije na temperaturi od 160°C modif. metodom IP 306 za bazno ulje P-160

? t [h]	P-160
	v = ? m / ? t [% (m/m) / h]
0-48	period indukcije
48-96	0,00043
96-144	0,0028
144-264(264-384)	0,0016 (0,0015)

Zaključci

1. Na osnovu izvedenih eksperimenata jasno se može zaključiti da na temperaturama od 120°C i 140°C, za oksidacione testove po modifikovanim metodama IP 48 i IP 306 i dužini trajanja ispitivanja od 384 h, nije uočena promjena FTIR spektra na talasnom broju 1710 cm⁻¹, odnosno, nije primjećena pojava oksidiranih produkata, što upućuje na

odličnu postojanost baznog ulja na tim temperaturama.

2. Predstavljena kriva zavisnosti vrijednosti apsorbanci od vremena za hidrogenizovano bazno ulje P-160, za metodu IP 48 je polinom drugog stepena, a za metodu IP 306 kriva ima oblik polinoma trećeg stepena sa visokim vrijednostima koleracija.

3. Uočava se neznatan porast oksidiranih produkata što znači da hidrogenizovano bazno ulje P-160, pod uslovima oksidacije modifikovanim metodom IP-48, na konstantnoj temperaturi od 160°C, pokazuju dobru oksidacionu stabilnost i samim tim duži vijek trajanja prilikom njihove upotrebe. Može se zaključiti da na toj temperaturi sadržaj aromata prisutnih u hidrogenizovanom baznom ulju doprinosi odličnoj oksidacionoj stabilnosti. To ukazuje na zaključak da postoji optimalna koncentracija sadržaja aromata za pojedine vrste baznih ulja.

4. Hidrogenizovano bazno ulje ima vrlo male vrijednosti brzine oksidacije nakon perioda indukcije što pokazuje da je veliki uticaj prirodnih inhibitora koji produžavaju period prenosa radikala.

5. Za uzorak hidrogenizovanog baznog ulja oksidovanog modifikovanim metodama IP-48 i IP-306 na konstantnoj temperaturi od 160°C, može se zaključiti da postoje tri karakteristična intervala brzine odvijanja reakcije. Prvi, indukcioni period, gdje nisu uočeni produkti oksidacije. U tom periodu gdje dolazi do akumulacije hidroperoksida, bazno ulje prirodnim inhibitorima koji se nalaze u sastavu ulja sprečava stvaranje radikala koje karakteriše prva faza lančanog oksidacionog procesa. Druga faza, period

autokatalizovane oksidacije, gdje je brzina oksidacije najveća, javlja se u različitim vremenskim intervalima kod različitih oksidacionih metoda. Nakon toga dostiže se stacionarno stanje, odnosno, konstantna koncentracija radikala, i ta faza za različite oksidacione metode počinje u različitim vremenskim intervalima. Za hidrogenizovano bazno ulje taj period je nakon 144 h.

6. Nakon 384 h oksidacionog ispitivanja uzorka hidrogenizovanog baznog ulja po metodi IP 306 vrijednost apsorbance je porasla za 2,2 puta.

Literatura

1. J.Dong, F.R.Van de Voort, A.A.Ismail, E. Akochi-Koblé, D.Pinchuk, „Rapid Determination of the Carboxylic Acid Contribution to the Total Acid Number of Lubricants by Fourier Transform Infrared Spectroscopy“, Lubrication Engineering (Juni 2000).
2. V.J.Gatto, M.A.Grina, T.L.Tat, „The Influence of Chemical Structure on the Physical Properties and Antioxidant Response of Hydrocracked Base Stocks and Polyalphaolefins“ Jurnal of Synthetic Lubrication 19-1, April 2002.
3. M.Z.Stanković, N.Č.Nikolić, Faculty of Tehnology, University of Niš, Leskovac, „Kinetics of Glycoalkaloid Hydrolysis and Solanidine Extraction in Liquid-Liquid Systems“, Chemical Industry 56 (12) 2002.
4. P.Dugić, Disertacija, Tehnološki fakultet Univerziteta u Banjoj Luci, (2005).

5. D.Wooton, Wooton-consulting, „The Lubricant's Nemesis-Oxidation“. Practicing oil Analysis Magazine. March (2007).
6. J.Ameye, R.Krethe: Liner Sweep Voltammetry (RULER[®]) – An innovative approach for Looking Forward to Lubricant Oxidation. ESSEN (2006).
7. R.Macura-Strajin, Magistarski rad, Tehnološki fakultet Univerziteta u Banja Luci, (2008)

N. Šijaković, I. Škokljev, I. Trkulja

UDC: 621.316.7.001/.004 (4 + 497.11)

Poređenje različitih metoda za proračun i dodelu prekograničnih prenosnih kapaciteta korišćenih u Evropi u okviru procedure upravljanja zagušenjima

Rezime

U radu je izvršena kvalitativna i kvantitativna analiza svih do sada korišćenih metodologija za proračun i dodelu prekograničnih prenosnih kapaciteta, kao i njihovo međusobno poređenje iz ugla tehničkih pokazatelja i mogućnosti primene. Takođe je radom obuhvaćena i nova metodologija za proračun i dodelu prekograničnih prenosnih kapaciteta koja se bazira na koordinisanoj aukciji orjentisanoj na tokove snaga po svim elementima u mreži sa ograničenjima u vidu maksimalnih dozvoljenih tokova snaga sa aspekta termičkih granica, pod radnim nazivom "MF – Maximum Flow" metodologija.

Ključne reči: upravljanje zagušenjima, prekogranični prenosni kapaciteti, transakcije, sigurnost rada EES

Abstract

This work presents summary of all methodologies used till now for calculation and allocation of cross border transmission capacities in Europe. Also we have analyzed quality and quantity of all methodologies and we have compare them in the light of technical indexes and possible application in practice. Paper also describes new methodology for calculation and allocation of cross border transmission capacities named MF "Maximum Flow" approach, which is based on coordinated explicit auction and oriented on physical flows on all grid elements with limits based on thermal currents of an each grid element.

Keywords: congestion management, cross border transmission capacity,

Uvod

Razvoj računara i računarskih aplikacija omogućio je da sistemska energetika, naročito segment koji se bavi operativnim planiranjem i upravljanjem elektroenergetskim sistemima, dobije novu moćnu alatku u vidu raznovrsnih softvera i procedura razvijenih u cilju modelovanja, proračuna tokova snaga i naponskih prilika i cikličnih provera sigurnosti i naponske stabilnosti u velikim sistemima. Sve te procedure mogu se svesti pod pojam "Upravljanja zagušenjima" („Congestion Management"). Upravljanje zagušenjima predstavlja jednu od tri tehničke teme koje su kamen temeljac u procesu deregulacije elektroenergetskih sistema u Evropi i stvaranja Evropskog

liberalizovanog unutrašnjeg tržišta električne energije ("IEM – Internal Electricity Market"). Druge bitna tema je "Tarifikacija prekograničnog pristupa prenosnoj mreži" (ranije nazivana CBT – "Cross Border Tarification" mehanizam, a danas ITC – "Inter TSO Compensation" mehanizam), a treća "Upravljanje balansom energijom" ("Balance Management").

Rad u uslovima ponovne interkonekcije, od oktobra 2004. godine, doveo je do sigurnijeg i stabilnijeg funkcionisanja našeg elektroenergetskog sistema u celini. Pored toga u novonastalom deregulisanom okruženju, gde je proizvodnja i distribucija odvojena od funkcije prenosa električne energije, Operator prenosnog sistema dobio

⇒ energija

je posebnu ulogu čuvara sigurnosti rada nacionalnog prenosnog sistema u uslovima sve većih međunarodnih tranzita podstaknutih liberalizacijom tržišta električne energije, kako u čitavoj Evropi, tako i kod nas. Specifičan geografski položaj našeg prenosnog sistema, kao i ogromni viškovi jeftine električne energije u sistemima naših istočnih suseda (Bugarska i Rumunija + deo Ukrajine) i isto toliko veliki manjkovi električne energije (naročito jeftine električne energije) u zapadnoj Evropi (prvenstveno Italija) i nama južnim i jugozapadnim susednim sistemima (Albanija, Crna Gora, Makedonija i Grčka), dovela je do pojave velikih tokova snaga na datim pravcima. Kako bi se sačuvala sigurnost sistema ali u isto vreme omogućila nesmetana međunarodna trgovina električnom energijom, od januara 2005. godine svakodnevno se i u našem prenosnom sistemu, primenjuju metode za upravljanje zagušenjima preporučene od strane UCTE. Prvi korak u upravljanju zagušenjima predstavlja pravilan proračun prekograničnih prenosnih kapaciteta na interkonektivnim dalekovodima sa aspekta sigurnosti (kod nas se radi kao i u okolnim sistemima na mesečnom nivou). Drugi korak je vezan za DACF (Day ahead congestion forecast) proceduru kojom se dan unapred proverava sigurnost rada sistema. Treći korak predstavljaju dispečerske akcije neophodne pri eventualnoj pojavi zagušenja u realnom vremenu [2].

2. Procedura upravljanja zagušenjima

2.1 Istorija

Upravljanje zagušenjima kao jedna potpuno nova disciplina kojom se sve više bave stručnjaci na evropskom kontinentu do skora nije uopšte postojala. Liberalizacija tržišta električne energije, odnosno otvaranje nekada čisto nacionalnih elektroenergetskih sistema privatnom i inostranom kapitalu, donelo je, sa tehničkog stanovišta, niz novih problema sa aspekta sigurnosti rada elektroenergetskih sistema. U takvim uslovima neophodno je bilo hitno razviti metode za upravljanje zagušenjima, koja su postala čest problem u veoma kompleksnoj evropskoj interkonekciji UCTE. Nakon rekonekcije I i II sinhronne zone krajem 2004. godine i naš sistem je, pored svih dobrih strana rada u interkonekciji, morao biti pogođen, pre svega zbog svog specifičnog geografskog položaja, veoma velikim međunarodnim tranzitima električne energije. Operator prenosnog sistema

dobio je posebnu ulogu čuvara sigurnosti rada nacionalnog prenosnog sistema u uslovima sve većih međunarodnih tranzita podstaknutih liberalizacijom tržišta električne energije, kako u čitavoj Evropi, tako i kod nas. U tom svetlu kod nas je počela primena metoda za upravljanje zagušenjima zasnovana na proračunu neto prenosnih kapaciteta (NTC) na interkonektivnim dalekovodima. U pitanju je bilateralni mehanizam dodele prekograničnih prenosnih kapaciteta. U toku 2005. godine pod okriljem SETSO TF odnosno NACMPF SG pripreman je pilot projekat primene koordinisane aukcije u jugoistočnoj Evropi, koji je dobio podršku Atinskog foruma. Početkom 2006. naša zemlja je uključena u “dry-run” period primene koordinisane aukcije u jugoistočnoj Evropi. Svaki od Operatora prenosnih sistema je vršio funkciju CAO (Coordinated Auction Office) koordinatora po mesec dana. To je svakom od Operatora prenosnih sistema dalo šansu da se bolje upozna sa procedurom koordinisane aukcije i proceni mogućnosti njene dalje implementacije [2].

2.2 Uopšteno o proceduri upravljanja zagušenjima

Osnovni cilj procedure upravljanja zagušenjima, sa čisto tehničkog stanovišta, jeste prepoznati i preduprediti pojavu neželjenih stanja u elektroenergetskom sistemu procesom operativnog planiranja i kasnije merama operativnog upravljanja u realnom vremenu. Procedura upravljanja zagušenjima se može podeliti u tri vremenski odvojena koraka:

- Prvi korak baziran je na proračunu prekograničnih prenosnih kapaciteta na interkonektivnim dalekovodima. Kao osnovni kriterijum pri datom proračunu primenjuje se “n-1” kriterijum sigurnosti. Prenosni kapaciteti interkonektivnih dalekovoda se računaju na mesečnom nivou i to dva meseca unapred. Razlikujemo proračune koji se baziraju na programima razmena (finansijskim tokovima snaga), gde se kao rezultat po svakoj granici, smeru i periodu dobija tzv. neto prenosni kapacitet (“NTC – Net Transfer Capacity”, odnosno “ATC – Available Transfer Capacity”) koji se kasnije alocira trgovcima nekom od alokacionih metoda i koji se trenutno primenjuje kod nas, i proračune koji se baziraju na realnim fizičkim tokovima gde se kao rezultat po svakoj granici, smeru i periodu dobija tzv. neto

prekogranični kapacitet (“NBC – Net Border Capacity”, odnosno “ABC – Available Border Capacity”) koji se pomoću PTDF matrice odgovarajućom metodologijom takođe alocira trgovcima u okviru procedure Koordinisane Aukcije (nakon pune dve godine trajanja probnog, dry-run perioda, na prostoru jugoistočne Evrope, ovaj metod je napušten, odnosno potpuno modifikovan, o čemu će biti više reči u drugom delu rada) [1].

- Drugi korak je vezan za DACF (Day Ahead Congestion Forecast – prognoza zagušenja dan unapred) proceduru kojom se dan unapred proverava “n-1” kriterijum sigurnosti na spojenom matematičkom modelu mreže jugoistočne Evrope. Svaki dan se izrađuju modeli prenosnog sistema Srbije za sutrašnja četiri karakteristična sata: 03:30, 10:30, 12:30 i 19:30, dati modeli se u UCTE formatu (specijalnom txt formatu sa unapred definisanom dužinom podataka) razmenjuju sa svim partnerima u interkonekciji nakon čega se vrše navedene provere sigurnosti. Drugim rečima na ovaj način se neposredno pre samog ostvarenja planiranih voznih redova i remonata u sistemu, vrši još jedna provera sigurnosti i naponske stabilnosti u sistemu [1].
- Treći korak vezan je za dispečerske akcije u realnom vremenu [1].

3. Različite metode za proračun i dodelu prekograničnih prenosnih kapaciteta

Podela mehanizama se može izvršiti na dva načina:

1. Prema načinu proračuna prekograničnih prenosnih kapaciteta
2. Prema načinu dodele, odnosno alokacije, prethodno proračunatih prekograničnih prenosnih kapaciteta

3.1 Podela prema načinu proračuna prekograničnih prenosnih kapaciteta

Proračun koji je baziran na programima razmena (finansijskim tokovima snaga)

- Kod ovog tipa proračuna se kao rezultat po svakoj **granici, smeru i periodu** dobija tzv. neto prenosni kapacitet (“NTC – Net Transfer Capacity”, odnosno “ATC – Available Transfer Capacity”)
- Dati prenosni kapacitet se kasnije alocira trgovcima nekom od alokacionih metoda.
- Ovaj tip proračuna se trenutno primenjuje u kako jugoistočnoj Evropi tako i u većem delu ostatka Evrope [2].

⇒ energija

Proračun koji je baziran na tokovima snaga orjentisan ka granicama

- Pri ovom tipu proračuna kao rezultat mrežnih ograničenja dobijaju se dozvoljeni tokovi snaga po interkonektivnim dalekovodima.
- Po svakoj *granici, smeru i periodu* dobija se tzv. neto prekogranični kapacitet (“*NBC* – Net Border Capacity”, odnosno “*ABC* – Available Border Capacity”).
- Pomoću *PTDF* matrice odgovarajućom metodologijom dati prekogranični kapaciteti se dodeljuju trgovcima u okviru procedure *Koordinisane Aukcije*
- Nakon pune dve godine trajanja probnog, dry-run perioda, na prostoru jugoistočne Evrope, ovaj metod je napušten, odnosno potpuno modifikovan,

Proračun baziran na tokovima snaga orjentisan ka svim elementima u mreži

- Trenutno je u fazi razvoja.
- Kao ograničenje uzima *maksimalan dozvoljen* tok snage po *svakom elementu mreže*.
- Za svaki par *kritičan element - kritičan ispad* računa se *posebna PTDF matrica*.
- Do sada metoda koja je *najbliža realnom režimu rada*.

3.2 Podela prema načinu dodele, 3.2 odnosno alokacije, prethodno proračunatih prekograničnih prenosnih kapaciteta

Postoje dva tipa mehanizama za dodelu, odnosno alokaciju, prethodno proračunatih prekograničnih prenosnih kapaciteta. Jedan predstavlja mehanizam bilateralne dodele prekograničnih prenosnih kapaciteta, koji se već koristi kako u Evropi tako i kod nas, a drugi je koordinisana dodela prekograničnih prenosnih kapaciteta koja bi bar teoretski trebala da predstavlja napredak u odnosu na bilateralni mehanizam.

- Bilateralna dodela prekograničnih prenosnih kapaciteta zasniva se na proračunu NTC-a, njegovom usaglašavanju, objavljivanju i na kraju dodeljivanju slobodnog kapaciteta i sve to kao rezultat bilateralnog procesa između dve zemlje koje se graniče.
- Koordinisana dodela prekograničnih prenosnih kapaciteta, podrazumeva proceduru praćenja fizičkog uticaja svake od transakcija na svaku granicu, i zajedničke koordinisane dodele prenosnih kapaciteta na svim granicama od strane svih partnera. Nova metodologija koordinisane

dodele prekograničnih prenosnih kapaciteta, koja sa probnim periodom startovala januara 2008. godine, bazira se na maksimalnim tokovima snaga, listi kritičnih ispada i stanja mreže i PTDF matricama za svako od tih kritičnih stanja.

Mehanizam bilateralne dodele prekograničnih prenosnih kapaciteta

Prvi pristup odnosno bilateralna dodela prenosnih kapaciteta na osnovu proračuna NTC-a je dobro poznata u centralnoj Evropi i koristi se u mnogim evropskim zemljama. NTC se bilateralno dodeljuje na duže periode ili srednje periode a primenjuje se više metoda dodela:

1. *Princip prve ponude* – first come first serve (netržišni pristup)
2. *Princip proporcionalnog smanjivanja* – pro rata (netržišni pristup)
3. *Implicitne aukcije* (tržišni pristup, nije korišćen kod nas, u isto vreme trguje se i energijom i prenosnim kapacitetom)
4. *EksPLICITNE aukcije* (tržišni pristup)

To je veoma prosta metoda za korišćenje iz ugla učesnika na tržištu električne energije. To što se već koristi u mnogim zemljama jugoistočne Evrope predstavlja dodatan plus pošto je zakonodavstvo u tim zemljama već orijentisano u tom pravcu. Loša osobina ove metode je to što ugovoreni putevi energije (programi razmena) ne odgovaraju stvarnim fizičkim tokovima snaga, naročito u gusto povezanim mrežama, tako da može doći do pojave zagušenja u mreži koja potiču od velikih kružnih tokova snaga (tokovi koji potiču od ugovorenih razmena na drugim granicama), a ovaj metod u svojoj izvornoj varijanti ne poseduje mehanizme za otklanjanje ovih zagušenja [2].

Koordinisana dodela prekograničnih prenosnih kapaciteta

Drugi metod ili koordinisana dodela prenosnih kapaciteta je baziran na sumiranju uticaja svih transakcija po granicama preko takozvanih distribucionih faktora. Neophodno je ovu metodu primenjivati na čitav region pošto ona podrazumeva međuzavisnost svih povezanih sistema i uticaj svake transakcije na sve granice. Ovaj metod je uspešan u prikazivanju međuzavisnosti u okviru interkonekcije. Glavna mana ovog metoda je u njenoj kompleksnosti i u neophodnosti postojanja visokog nivoa saradnje između svih Oparatora sistema kao i kompatibilnost u zakonima svih zemalja na koje se odnosi data prekogranična trgovina [3].

Može biti bazirana na sva tri do sada opisana tipa ograničenih prenosnih kapaciteta:

1. bazirana na *NTC* vrednostima.
2. bazirana na *tokovima snaga*, orjentisana ka fizičkim tokovima *po granicama*.
3. bazirana na *tokovima snaga*, orjentisana ka *maksimalnim fizičkim tokovima snaga po svim elementima u mreži*.

4. Poređenje različitih metoda za proračun i dodelu prekograničnih prenosnih kapaciteta

4.1 Mehanizam bilateralnog proračuna i dodele prekograničnih prenosnih kapaciteta zasnovan na programima razmena - NTC

Dobre osobine:

1. bilateralna dodela prekograničnih prenosnih kapaciteta na osnovu proračuna NTC-a je dobro poznata u centralnoj Evropi i koristi se u mnogim evropskim zemljama
2. prekogranični prenosni kapaciteti se bilateralno dodeljuju na *duže ili srednje periode a primenjuje se više metoda dodela*
3. veoma *prosta metoda za korišćenje* iz ugla učesnika na tržištu električne energije

Loše osobine:

1. Pri proračunu se polazi od *pretpostavljenih vrednosti razmena* između sistema u baznom modelu.
2. *ugovoreni putevi energije (programi razmena) ne odgovaraju stvarnim fizičkim tokovima snaga*:
 - mehanizam ne uzima u obzir kružne tokove snaga
 - međusobni uticaj granica nije uzet u obzir
3. *obodna proizvodnja* u sistemima ima ogroman uticaj na rezultate proračuna

4.2 Mehanizam koordinisanog proračuna i dodele prekograničnih prenosnih kapaciteta zasnovan na programima razmena - NTC

Koordinisana eksplicitna aukcija bi trebalo da predstavlja napredak u odnosu na bilateralnu metodu proračuna i dodela prekograničnih prenosnih kapaciteta.

Mane bilateralnog pristupa koje su rešene primenom koordinisanih aukcija [3]:

1. Razmena između dva susedna sistema može izazvati značajne prekogranične

⇒ energija

tokove snaga i na drugim granicama. Koordinisana aukcija bazirana na tokovima snaga to rešava korišćenjem PTDF matrice i istovremenim posmatranjem svih mrežnih ograničenja.

2. Kružni tokovi snaga su uzeti u obzir u koordinisanim aukcijama baziranim na tokovima snaga.

3. Obodne elektrane više nemaju onoliki uticaj na prekogranične prenosne kapacitete kao što je to bio slučaj kod bilateralnog pristupa.

4. Kod bilateralnih dodela kapaciteta, ukoliko trgovac želi da ostvari transakciju između dva nesusedna sistema, mora konkurisati i dobiti kapacitete na svim granicama koje dele data dva sistema. Kod koordinisane aukcije to nije slučaj. Naime, ukoliko se transakcija nalazi unutar regiona na kome se primenjuju koordinisane aukcije, trgovac jednom ponudom zakupljuje sav kapacitet neophodan za datu transakciju.

Koordinisana eksplicitna aukcija bazirana na NTC vrednostima

Prelaz između bilateralnog i koordinisanog pristupa. Ovaj tip dodele prekograničnih prenosnih kapaciteta je napredak u odnosu na bilateralni tip dodele u smislu uvažavanja međusobne zavisnosti između tokova snaga po granicama u posmatranom regionu. Postupak sprovođenja ovakvih aukcija se od bilateralnog pristupa razlikuje samo u načinu uvažavanja mrežnih ograničenja. Za razliku od bilateralnog pristupa ovde se *mrežna ograničenja posmatraju istovremeno*.

Pored *bilateralnih vrednosti NTC-a* uvode se i nova ograničenja u vidu *kompozitnih vrednosti NTC-a* (izračunata vrednost NTC-a za više granica odjednom, na primer $A+V \rightarrow S$). I dalje se sam proračun prekograničnih prenosnih kapaciteta zasniva na programima razmena a ne na realnim fizičkim tokovima.

Koordinisana eksplicitna aukcija bazirana na tokovima snaga orjentisana ka granicama

Osobine [3]:

1. Zasnovana je na *fizičkim tokovima snaga po granicama* (ograničavajući faktor predstavlja prenosna moć interkonektivnih dalekovoda).

2. *Koristi se PTDF matrica za transformaciju programa razmena u fizičke tokove snaga* (PTDF matrica pokazuje koji deo aktivne snage koji potiče od neke međunarodne razmene električne energije teče po definisanim dalekovodima).

3. Dodela kapaciteta uz uvažavanje ograničavajućih faktora se vrši

centralizovano od strane nezavisnog tela koje se naziva aukcijska kuća (CAO – Coordinated Auction Office).

Koordinisana eksplicitna aukcija bazirana na tokovima snaga orjentisana ka elementima u mreži

Od januara prošle godine počeo je sa test primenom novi metod koordinisanih eksplicitnih aukcija baziran na fizičkim tokovima snaga orjentisan ne više samo ka granicama već ka svim elementima u mreži. Naziv nove metodologije je MF – Maximum Flow metodologija, pošto su ograničenja definisana maksimalnim mogućim tokovima snaga u mreži [5].

Poređenje BC i MF pristupa

Iskustvo dobijeno tokom probnog perioda pokazalo je niz problema u primeni BC pristupa (pristupa orjentisanog ka granicama), kao što su [5]:

1. *Niske, a ponekad čak i negativne vrednosti BC-a* na pojedinim granicama.

2. Proračunate vrednosti prekograničnih kapaciteta dosta *zavise od pretpostavljenih vrednosti razmena* u baznom modelu (BCE – Base Case Exchanges), bez kojih je nemoguće kreirati bazni model mreže.

3. *Iskorišćenost mreže je veoma niska* nakon simulacije nominacija prava na korišćenje prenosnih kapaciteta.

4. *Transparentnost je veoma ograničena*.

Kako bi se prevazišli navedeni problemi BC pristupa, predložen je novi pristup orjentisan ka prenosnim kapacitetima dalekovoda u mreži a ne ka granicama, koje opisuju vrednosti maksimalnih tokova snaga (MF). Treba napomenuti da nova procedura sadrži dosta poznatih elemenata iz VS procedure prethodno korišćene tokom “dry-run” perioda.

Glavne karakteristike MF pristupa su:

1. Koncept baziran na *posebnom ograničenju po svakom elementu mreže*.

2. MF pristup uzima u obzir maksimalan dozvoljeni tok snage na svakom pojedinom elementu mreže, koji predstavlja jedno ograničenje u mreži koje se nesme premašiti tokom procedure alokacije prenosnih kapaciteta.

3. Koncept omogućava da se bilo koji element prenosne mreže (dalekovod ili transformator) označi kao potencijalno *kritična grana u mreži* (critical branch). Oparator prenosnog sistema može uzeti u obzir kako svoje interne elemente mreže, tako i interkonektivne elemente mreže (interkonektivne dalekovode), dovoljno je da su dati elementi

modelovani u regionalnom modelu mreža.

4. Kao dodatak, svakom definisanom kritičnom elementu mreže pridodaje se *proizvoljan skup kritičnih ispada* (critical outages), koji su povezani sa datim kritičnim elementom mreže. Jedan kritičan ispad može podrazumevati ispad jednog ili više elemenata mreže istovremeno.

5. Svaka pojedinačna vrednost MF-a kritičnih elemenata zajedno sa spiskom ispada predstavlja jedno ograničenje u mreži koje mora biti ispoštovano tokom alokacione procedure.

6. *Objektivna i direktna primena mrežnih ograničenja* zahvaljujući uzimanju u obzir ograničenja po svakom mrežnom elementu ponaosob.

7. Praktično pristup koji je *nazavistan od pretpostavljenih vrednosti programa razmena u baznom modelu* (BCE – Base Case Exchanges), korišćenog za proračune tokova snaga,

- ovaj pristup omogućava pretpostavku da najkritičniji ispad vezan za neki kritični element zavisi od odgovarajućeg scenarija razmena. Ovo je postignuto uzimanjem u obzir svih potencijalno kritičnih ispada po svakom kritičnom elementu mreže kao ulaza u alokaciju prenosnih kapaciteta.

- Prema tome, stvarni “najkritičniji” ispad dobija se kao rezultat alokacione procedure.

- *Nasuprot ovom pristupu, kod VS pristupa se svaka VS vrednost bazira na jednom kritičnom ispadu. U slučaju da se rezultat alokacije kapaciteta dosta razlikuje od pretpostavljenih razmena u baznom modelu, može se desiti da se kritični ispad za situaciju nakon alokacije kapaciteta razlikuje od kritičnog ispada koji je prvobitno korišćen kao ograničavajući faktor pri proračunu VS-a. Ova promena se ne može uzeti u obzir VS pristupom. Kao posledica, mogu biti izračunate nerealno velike ili nerealno male vrednosti prekograničnih prenosnih kapaciteta.*

8. Rezultati alokacije kapaciteta transparentno ukazuju na mrežna ograničenja ograničavajući količinu alociranih prenosnih kapaciteta (kritične grane i odgovarajući kritični ispadi).

9. Usled uzimanja u obzir svake kombinacije kritična grana – kritični ispadi (*svaka kombinacija je predstavljena jednom vrstom u PTDF/MF modelu*), rezultujući PTDF/MF model je veoma opširan sa visokim rizikom da se previde neke vrednosti od interesa kao i kompleksnost same procedure koja se ogleda u vremenu

energija

neophodnom da se sama procedura sprovede.

10. MF pristup je uspeo da prevaziđe veliki broj problema koji su se javili tokom probne primene VS pristupa, posebno vezano za zavisnost proračuna od pretpostavki i aproksimacija koje se odnose na bazni model kao i veoma grub prikaz mrežnih ograničenja predstavljenih sumarno kroz jednu veličinu po granici određenu u VS proceduri.

5. Zaključak

Povećanje potrošnje električne energije usled rasta broja stanovnika i industrijskog razvoja u regionu, kao i povezivanje dela ruskog elektroenergetskog sistema u okviru UCTE interkonekcije neminovno će u bližoj budućnosti dovesti do pojave još većih tranzita preko prenosnog sistema Srbije. Na nama je da se za to pripremimo kako ulaganjem u izgradnju novih prenosnih kapaciteta kako bi pojačali sadašnje, ali isto tako i aktivnim učestvovanjem u izradi novih preciznijih metoda za upravljanje zagušenjima.

U novom okruženju dereguliranih elektroenergetskih sistema i stvaranja otvorenog tržišta električne energije na tlu Evrope, čiji smo mi sastavni deo sa našim elektroenergetskim sistemom, stvorili su se potpuno novi izazovi u domenu operativnog planiranja i upravljanja prenosnim sistemom. Neophodno je ispratiti razvoj i tendenciju koje pomenuti novi trendovi u ovoj oblasti nameću, ali u isto vreme neophodno je sačuvati tehničku stranu čitave priče u granicama koje su ustanovljene kao standardi od samih začetaka systemske energetike pre više od sto godina. Kako bi se predupredili eventualni problemi u regionu jugoistočne Evrope u bližoj ili daljoj budućnosti neophodno je u sve nove procese vezane za oblast systemske energetike ulaziti veoma obazrivo sa naše, tehničke strane, posmatrano.

interkonektivnim dalekovodima EES Srbije "A. Kurćubić, B. Šumonja, N. Šijaković, J. Petrović, JUKO CIGRE Tara, 2006.

- [3] *"Mogućnost primene koordinisane aukcije na EES Srbije i uticaj HE Đerdap 1 na proračun PTDF matrice i graničnih kapaciteta"* B. Šumonja, A. Kurćubić, N. Šijaković, J. Petrović, JUKO CIGRE Tara, 2006.
- [4] *"Kritični ispadi elemenata prenosne mreže Srbije i susednih sistema sa aspekta sigurnosti i naponske stabilnosti"* Nenad Šijaković, Julijana Vićovac, Mirjam Stančević, Aleksandar Kurćubić JUKO CIGRE Vrnjačka Banja 2007.
- [5] *"Determination of transmission capacities with line-wise Maximum Flow approach "* Consentec, 5 December 2007.

6. Literatura

- [1] *"Proračun tokova snaga i naponskih prilika na spojenom modelu jugoistočne Evrope korišćenjem programskog paketa PSA - (analiza sigurnosti u realnom vremenu)"* Nenad Šijaković, EMS, Beograd, mart 2006.
- [2] *"Proračun prekograničnih prenosnih kapaciteta na*

Predlog Programa ostvarivanja Strategije razvoja energetike do 2015. godine za period 2009. - 2012.

Poglavlje - Obnovljivi izvori energije (izuzev tečna biogoriva)

Uvod

Strategija razvoja energetike Republike Srbije do 2015. godine predviđa jedan od prioriteta Program selektivnog korišćenja obnovljivih izvora energije. U okviru ovog Programa najveći prioritet je dat hidroenergiji za proizvodnju električne energije i energiji biomase za proizvodnju uglavnom toplotne energije.

Iskustva drugih zemalja, kako onih razvijenih tako i onih u razvoju, pokazalo je da je neophodno uvesti odgovarajuće podsticajne mere da bi se povećalo korišćenje OIE. Iz tog razloga se sa pravom očekuje da tek sa usvajanjem odgovarajućih finansijskih podsticajnih mera u Srbiji počne intenzivnije korišćenje OIE.

Ipak, pored finansijskih podsticajnih mera neophodno je stvoriti pravne uslove i ukloniti potencijalne administrativne i pravne prepreke realizaciji projekata korišćenja OIE.

Pored stvaranja pogodnih uslova investitorima za realizaciju projekata, neophodno je istovremeno usmeriti razvoj projekata u skladu sa strategijama i potrebama društva ne samo u energetici već i u drugim oblastima kao što su regionalni razvoj, šumarstvo, poljoprivreda, zaštita životne sredine.

Polazne osnove Programa

Polazne osnove za postavljanje Programa ostvarivanja Strategije razvoja energetike do 2015. godine mogu se podeliti u dve grupe.

Prvu grupu čine zakonska i strateška dokumenta usvojena od strane Skupštine ili Vlade Republike Srbije:

- Strategija razvoja energetike Republike Srbije do 2015. godine [1]

Rezime

Na osnovu energetskeg potencijala obnovljivih izvora energije (OIE), sadašnjih i budućih međunarodnih obaveza Republike Srbije, mogućnosti domaće privrede da se ravnopravno uključi u proizvodnju opreme, i potrebe ravnomernog razvoja regiona u Srbiji dat je predlog osnovnih mera i aktivnosti u oblasti korišćenja OIE. Prioritetni projekti korišćenja OIE, u skladu sa selektivnim pristupom podsticanju korišćenja OIE koji je dat u Strategiji razvoja energetike, su korišćenje hidroenergije, a posebno malih vodotokova, zatim biomase i energije sunčevog zračenja za proizvodnju toplotne energije. Domaća privreda ima određena iskustva u ovim oblastima. Međutim domaćim proizvođačima je neophodna podrška nadležnih ministarstava, kako bi iz saradnje domaće privrede i razvojnih organizacija, uz eventualni transfer tehnologije iz razvijenijih zemalja i uz realizaciju demonstracionih projekata domaći proizvođači dostigli potreban kvalitet da bi bili konkurentni na tržištu. Na osnovu obaveza zemalja EU po pitanju udela energije OIE u ukupnoj potrošnji električne energije, procenjeno je da bi verovatna obaveza za Republiku Srbiju u 2020. bila da udeo OIE u potrošnji električne bude uvećan za 2,4% u odnosu na vrednost iz 2008. godine. Pretpostavljena dinamika povećanja instaliranih kapaciteta za proizvodnju energije je zasnovana na uvođenju finansijskih podsticajnih mera u 2009. godini. Predviđeno je da u 2012. bude instalirano novih 72 MW električne snage, sa godišnjom proizvodnjom od 278,5 GWh, ne uzimajući u obzir hidroelektrane snaga većih od 10 MW. Što se tiče toplotne energije, predviđeno je da u 2012. godini njena proizvodnja bude uvećana instaliranjem novih postrojenja i uređaja električne energije za 838,6 GWh u odnosu na proizvodnju u 2008. godini.

Abstract

Based on energy potential of renewable energy sources (RES), actual and future international obligations of the Republic of Serbia, the possibility of local manufacturers to be competitive for RES equipment supply, and on the necessity of equal regional development, a proposal of measures and activities in the field of RES is given. The RES projects of the high priority for Serbia, in accordance with the postulate of selective support to RES projects given in the Energy Strategy Development, are utilisation of hydroenergy, especially small rivers, then biomass energy, and solar energy for thermal energy production. Local manufacturers have experience in these fields. But, it is evident that they need support of ministries and research institutions, and possible technology transfer from developed countries, as the price and quality of their products could be competitive. Taking into account obligations of new member states of EU to increase share of RES in electricity consumption, it is assessed that the prospective obligation for Serbia in 2020 to increase the share of RES would not be greater than 2,4% comparing with the value in 2008. The tempo proposed for installation of new RES plants is based on the assumption that the implementation of feed-in tariffs will start in 2009. It is planned to be installed 72 MW new RES plants, excluding hydropower plants over 10 MW, with annual electricity generation of 278,5 GWh. Heat production from RES should be increased from 2008 till 2012 for 838,6 GWh.

energija

- Međunarodne obaveze Republike Srbije po pitanju OIE [2,3,4]
- Strategija regionalnog razvoja Republike Srbije [5]
- ostala strateška dokumenta Republike Srbije (oblast poljoprivrede, šumarstva,...)

Drugu grupu polaznih osnova za postavljanje Programa čine sadašnji uslovi i potencijalne mogućnosti realizacije projekata i ostvarivanja nekih drugih ciljeva bitnih za državu. U ovu grupu spadaju:

- energetski potencijal pojedinih OIE [7,8,9,10,11,12,13,14]
- iskustva i mogućnost domaće privrede da proizvodi opremu za korišćenje OIE
- mogućnost privrednog razvoja pojedinih nerazvijenih regiona i zapošljavanje lokalnog stanovništva

Strategija razvoja energetike Republike Srbije do 2015. godine određuje potrebu korišćenja OIE kroz Treći-posebni Prioritetni program. Ovim Prioritetnim programom predviđeno je selektivno korišćenje OIE, pri čemu je najveći značaj dat hidroenergiji i energiji biomase.

Potreba za korišćenjem OIE se najčešće opravdava smanjenjem emisije gasova sa efektom zelene bašte, potrebom raznovrsnije i takozvane distribuirane proizvodnje energije uz doprinos smanjenju zavisnosti od uvoznih energenata.

Međutim komponenta korišćenja OIE koja se obično mnogo ne naglašava, ali koja je izuzetno važna, jeste razvoj privrede kroz proizvodnju opreme za korišćenje OIE. Iz iskustva zemalja EU i praćenjem razvoja pojedinih tehnologija u pojedinačnim državama jasno se dolazi do zaključka da su u onim zemljama gde su selektivno podržavane pojedine tehnologije, došlo do razvoja tih tehnologija u domaćoj privredi. Izbor tehnologija koje će se podsticati zavisi od mogućnosti privrede i mogućnosti primene te tehnologije u datoj državi kao i mogućnost izvoza. Iz tog razloga je potrebno iskoristiti podsticaj korišćenju OIE za razvoj domaćih proizvođača opreme, kako bi po kvalitetu proizvoda bili što ravnopravniji sa ostalim evropskim proizvođačima. Uzimajući u obzir dosadašnju proizvodnju, istraživačko-razvojne projekte, prototipove, tehnološke mogućnosti domaće privrede i energetski potencijal dolazi se do zaključka da prioritet imaju hidroenergija malih vodotokova i energija biomase, kojima treba dodati i korišćenje energije sunčevog zračenja

za proizvodnju toplotne energije. Značajna pogodnost ovih vidova OIE za domaću privredu je što su u pitanju pojedinačno uglavnom mali projekti. Instalirana snaga malih hidroelektrana i postrojenja na biomasu će često biti ispod 1 MW električne ili toplotne energije, a retko preko 10 MW. Što se tiče solarne energije pojedinačni kapaciteti će biti još manji.

Međunarodne obaveze po pitanju OIE

Međunarodne obaveze Republike Srbije koje se odnose na OIE sadržane su uglavnom u Ugovoru o energetskoj zajednici [2] i Zakonu o ratifikaciji Kjoto Protokola [3]. U članu 20. Ugovora o Energetskoj zajednici određeno je da se u roku od jedne godine od stupanja na snagu Ugovora napravi plan za sprovođenje Direktive EU 2001/77 o OIE [4].

Direktiva EU 2001/77 predviđa da se učešće električne energije proizvedene od OIE u ukupnoj potrošnji električne energije u EU poveća na 22% do 2010. godine, pri čemu su obaveze svake pojedinačne članice EU podeljene u skladu sa energetskim potencijalima i mogućnostima svake članice da ispuni obavezu.

Predlog nove Direktive EU o podsticanju korišćenja OIE postavlja cilj koji se odnosi na ukupnu energiju, a ne samo na električnu energiju [6]. Novi cilj je da udeo OIE u ukupnoj potrošnji energije u EU bude 20% u 2020. godini, dok je prema Direktivi iz 2001. indikativan cilj je bio da se dostigne udeo od 12% OIE u 2010. godini. Svaka država članica EU dobija svoju obavezu po pitanju udela OIE u ukupnoj potrošnji energije.

Ako bi se na osnovu Direktive EU 2001/77 koja je definisala obaveze pojedinih članica EU o udelu OIE u potrošnji električne energije određivala moguća odgovarajuća obaveza Republike Srbije, onda bi se moglo doći do sledećeg zaključka:

- članice EU koje su to postale 2004. i 2007. godine imaju obavezu povećanja udela OIE u srednjem od 0,22% do 1,56% godišnje. Mađarska ima najnižu vrednost obaveze povećanja udela OIE od 0,11% godišnje (izuzimajući Portugaliju 0,04% godišnje);
- obaveze Republike Srbije pre članstva u EU ne bi trebalo da budu veće od bilo koje članice EU;
- primenjujući ove obaveze za period 2008. - 2020. godina, dobija se da bi za Republiku Srbiju bilo odgovarajuće povećanje udela OIE od 1,4% u ukupnoj potrošnji električne energije;

- međutim nakon što Srbija pristupi EU, dinamika povećanja udela OIE bi se verovatno povećala. Kao referentna zemlja za Srbiju mogla bi biti Slovenija koja ima sličnu vrednost (oko 30%) udela hidroenergije u ukupnoj proizvodnji električne energije. Sa pretpostavljenim punopravnim članstvom u EU od 2015. godine, srednji godišnji porast udela OIE u Srbiji bi bio oko 0,28%, tako da bi u 2020. godini cilj bio povećanje od 2,4% udela OIE u proizvodnji električne energije u odnosu na vrednost u 2008. godini.

Zakon o ratifikaciji Kjoto Protokola obavezuje Republiku Srbiju da preduzima mere kojima će doprineti smanjenju emisija gasova sa efektom staklene bašte, a u energetici se to odnosi uglavnom na smanjenje emisije ugljen-dioksida. EU je u skladu sa Kjoto Protokolom preuzela obavezu smanjenja emisije za 8% do 2012. godine u odnosu na 1990. godinu. Za razliku od razvijenih država članica EU, države koje su članice EU od 2004. i 2007. godine imaju pravo da povećaju sadašnju emisiju pošto je ona značajno niža u odnosu na 1990. godinu.

Nakon izrade nacionalnog dokumenta o emisiji gasova sa efektom staklene bašte (*Prva nacionalna komunikacija* u skladu sa UN konvencijom o klimatskim promenama) i zatim pregovora Vlade Republike Srbije sa međunarodnim telima, biće dogovorena obaveza Srbije po pitanju smanjenja emisije gasova sa efektom staklene bašte. S obzirom na postojeće obaveze novijih članica EU, obaveze Srbije kao države koja nije članica EU trebalo bi da budu manje.

Uzimajući za zemlje EU u obzir 15-godišnji period od trenutka preuzimanja obaveze smanjenja emisije od 8% (1997. – potpisivanje *Kjoto Protokola*) do trenutka njenog ispunjavanja (2012.), Republika Srbija čak i kao članica EU, odnosno prema *Kjoto Protokolu* takozvana *Aneks-1* zemlja, ne bi trebalo da preuzme obavezu smanjenja emisije CO₂ veću od 5,9 % do 2020. godine u odnosu na 1990. godinu. Uz pretpostavku da će Republika Srbija postati članica EU od 2015. godine, onda bi odgovarajuća obaveza smanjenja emisije gasova do 2020. godine trebalo da iznosi najviše 3,2%. S obzirom da se smanjenje emisije gasova sa efektom staklene bašte ostavlja samo delimično povećanim korišćenjem OIE, onda se može reći da je povećanje učešća električne energije iz OIE u potrošnji električne energije u Srbiji od 2,4 % u saglasnosti sa pretpostavljenim smanjenjem emisije od najviše 3,2% do 2020. godine.

Predlog nove Direktive EU koja se odnosi na smanjenje emisije gasova sa efektom staklene bašte (CO₂ za sektor energetike) predviđa smanjenje emisije za 20% u 2020. godini u odnosu na 1990. godinu [6]. Ovaj novi cilj je znatno zahtevniji u odnosu na onaj određen aneksom Kjoto Protokola iz 1997. godine. Novim predlogom su obaveze država EU izražene u odnosu na stanje u 2005. godini. Međutim države koje su postale članice EU posle 2004. godine, s obzirom na slab razvoj industrije u njima, a time i zagađivača, imaju pravo da povećaju emisiju u odnosu na 2005. godinu, a da istovremeno emisija bude niža od one u 1990. u proseku za 8%.

Energetski potencijal OIE

Vrednosti energetskog potencijala pojedinih vidova OIE su određivani kroz izradu više studija i projekata.

Hydroenergetski potencijal malih vodotokova, sa mogućnošću izgradnje hidroelektrana snage do 10 MW, najdetaljnije je određen u katastrima malih hidroelektrana [7,8]. Najveći potencijal hidroenergije malih vodotokova nalazi se na teritorijama opština Ivanjica, Raška i Pirot (tabela 1).

Energetski potencijal biomase iznosi oko 2,7 miliona tona ekvivalentne nafte (ten). Od toga oko 1,7 miliona ten čine ostaci u poljoprivredi i prehrambenoj industriji, a oko 1 milion ten čine ostaci u šumarstvu i drvo-prerađivačkoj industriji [9,10]. Najveći deo potencijala poljoprivredne biomase se nalazi na teritoriji Vojvodine, dok je najveći potencijal drvne biomase sadržan u opštinama koje imaju najveći deo teritorije pod šumama (69-45%): Majdanpek, Kosjerić, Priboj, Kuršumljija, Mali Zvornik, Kučevo, Prijepolje, Žagubica, Vrnjačka Banja, Ivanjica, Novi Pazar i Crna Trava. Može se primetiti da su opštine bogate hidropotencijalom malih vodotokova istovremeno bogate i šumskom biomasom.

Ovaj energetski potencijal omogućava izgradnju postrojenja sa kapacitetom proizvodnje toplotne energije od oko 4500 MJ/s. Usvajanjem finansijskih podsticajnih mera za proizvodnju električne energije iz OIE omogućice proizvodnju električne energije iz biomase. Pretpostavljajući da će se 15% energetskog potencijala poljoprivredne biomase i 25% energetskog potencijala ostataka drvne biomase iskoristiti u elektranama sa kombinovanom proizvodnjom toplotne i električne energije, dobija se da bi instalisani kapacitet tih postrojenja iznosio 180 MW električne snage i oko 540 MJ/s toplotne snage [9].

Proizvodnja biogasa iz tečnog stajnjaka na svim srednjim i velikim stočarskim farmama omogućila bi izgradnju postrojenja sa instalisanom proizvodnjom električne energije od svega 80 MW [11]. Međutim, pošto se pored tečnog stajnjaka kao sirovina za proizvodnju biogasa koriste u značajnoj meri i druge vrste biomase, onda je mogući kapacitet ove vrste postrojenja višestruko veći. Važno je napomenuti, da izgradnja postrojenja za tretman tečnog stajnjaka i proizvodnju biogasa ima veliki značaj za očuvanje životne sredine. Tečni ostatak nakon proizvodnje biogasa može se bezbedno koristiti kao organsko đubrivo na njivama. Jedini uslov za to je da se kao sirovine za proizvodnju biogasa koriste materije koje nisu štetne, a to su pored tečnog stanjaka razne vrste biomase.

Energetski potencijal vetra je određen na osnovu hidrometeoroloških merenja na stubovima visine do 10m, i zatim ekstrapolacijom parametara na visinama 50 do 100m. Procena je da bi instalisani kapacitet elektrana na vetar bio oko 1300 MW [12]. Nedavno završeni projekat merenja parametara vetra mernim stubovima visine 50m su pokazala da je vrlo pogodan region za izgradnju farmi elektrana na vetar planina Deli Jovan kod Negotina. Na osnovu dosadašnjih analiza i merenja

može se zaključiti da su najpogodnije lokacije za izgradnju elektrana na vetar: Planina Midžor, Suva Planina, Vršacki Breg, Stara Planina, Deli Jovan, Krepoljin, Tupižnica, Juhor i Jastrebac [12,13,14].

Energetski potencijal sunčevog zračenja teorijski je ograničen teritorijom Republike Srbije. Međutim, s obzirom na vrlo skupu tehnologiju konverzije energije sunčevog zračenja u električnu energiju, za Republiku Srbiju bi prioritet korišćenja ovog vida OIE trebalo da bude proizvodnja toplotne energije. Može se usvojiti da je za Srbiju prosečna vrednost raspoložive korisne toplotne energije od energije sunčevog zračenja oko 700 kWh/m²/god.

Geotermalna energija postojećih izvora tople vode nema veliki energetski potencijal, a uz to se već dobrim delom koristi uglavnom u zdravstvene svrhe, ali delom i u energetske svrhe. Procenjeni godišnji energetski potencijal postojećih geotermalnih izvora iznosi oko 180 000 ten [15]. Ovaj energetski potencijal čini uglavnom niskotemperaturna energija vode koja se klasičnim tehnologijama ne može iskoristiti za proizvodnju električne energije. Glavna primena postojećih geotermalnih izvora i većine budućih, treba da bude za proizvodnju toplotne energije.

Ciljevi

Osnovni cilj povećanja korišćenja OIE je smanjenje emisije ugljen-dioksida. Pored toga korišćenje OIE daje doprinos smanjenju zavisnosti od uvoznih goriva i povećavaju pouzdanost snabdevanja energijom.

Međutim, saglasno iskustvima drugih evropskih zemalja, realizacijom Programa ostvarivanja Strategije razvoja energetike u oblasti OIE trebalo bi ostvariti više ciljeva:

- povećana proizvodnja energije iz OIE,
- razvoj tehnologija za korišćenje pojedinih OIE,

- razvoj domaćih proizvođača opreme za elektrane na pojedine OIE,
- povećano dugoročno zapošljavanje lokalnog stanovništva kroz angažovanje na poslovima u lancu proizvodnje energije,

- brži razvoj manje razvijenih regiona
- Povećana proizvodnja energije iz OIE uglavnom se postiže finansijskom podrškom investitorima od

Tabela 1 Opštine sa najvećim hidropotencijalom malih vodotokova

Broj HE	Snaga (kW)	Proizvodnja (MWh)	Opština	Broj HE	Snaga (kW)	Proizvodnja (MWh)	Opština
64	34300	121203	Ivanjica	30	10974	45391	Brus
35	33284	109692	Raška	19	10706	30180	Knjaževac
40	25925	94026	Pirot	32	10185	38438	Vranje
40	23458	78394	Kraljevo	22	10141	38985	Kuršumljija
47	18800	73971	Prijepolje	16	9875	35318	Priboj
9	17576	60210	Zaječar	30	9800	36099	Trgovište
22	17045	72212	Crna Trava	13	9785	30937	Valjevo
20	15825	55100	Novi Pazar	10	9305	27419	Tutin
8	15690	58850	Bela Palanka	16	8945	24380	Žagubica
8	11216	25850	Despotovac	17	8675	34553	Bosilegrad
UKUPNO u Srbiji			Broj HE	Snaga (MW)	Proizvodnja (GWh)	Broj opština	
			867	458	1632	75	

energija

strane države domaćina. Stoga povećana proizvodnja energije iz OIE predstavlja dodatni trošak za državu, odnosno za njene građane. Da proizvodnja energije iz OIE ne bi predstavljala samo dodatni trošak za građane, neophodno je da se tokom izgradnje i isporuke opreme što više angažuju lokalna preduzeća, a za potrebe proizvodnje energije što više lokalno stanovništvo. Povećanim angažovanjem domaće privrede i zapošljavanjem lokalnog stanovništva naročito slabije razvijenih regiona, posredno će se značajno umanjiti troškovi građana i države za proizvodnju energije iz OIE.

Da bi domaća privreda mogla da učestvuje u isporuci opreme za korišćenje OIE nije dovoljno usvojiti podsticajne mere za proizvodnju energije iz OIE. Odnosno, samo usvajanje ovih podsticajnih mera neće pomoći domaćoj privredi da postane konkurentna.

Iz tog razloga je potrebno kroz saradnju više nadležnih ministarstava (energetike, nauke, poljoprivrede, šumarstva, vodoprivrede, zaštite životne sredine, ekonomije i regionalnog razvoja), istraživačko razvojnih organizacija i domaće privrede podstaći razvoj pojedinih tehnologija i proizvodnju kvalitetne opreme za korišćenje pojedinih OIE. Neophodno je podsticanjem razvoja samo pojedinih tehnologija samo za pojedine vidove OIE, kroz razvojne i demonstracione projekte, osvojiti nove i unaprediti postojeće proizvode domaćih proizvođača. Priritetni vidovi OIE na koje bi trebalo usmeriti razvoj opreme su prvenstveno hidroenergija i energija biomase, a takođe i energija sunčevog zračenja za proizvodnju toplotne energije.

Pri podsticanju razvoja proizvodnje i realizacije projekata korišćenja OIE potrebno je voditi računa o regionalnoj zastupljenosti, odnosno o podsticanju investitora da svoje investicije realizuju u slabije razvijenim regionima kada je to izvodljivo.

S obzirom da nije verovatno da će Republika Srbija do 2015. godine preuzeti posebno zahtevne obaveze po pitanju povećanja korišćenja OIE i smanjenja emisije CO₂, onda je razumno da efekti povećanog korišćenja OIE budu usmereni prvenstveno na privredni razvoj, odnosno na razvoj tehnologija i domaćih proizvođača opreme.

Program ostvarivanja Strategije za period 2007-2012 iz 2007.

Pošto je neophodan uslov za povećano korišćenje OIE, a time i ispunjavanje

ciljeva iz Programa ostvarivanja Strategije razvoja energetike za oblast OIE, uvođenje finansijskih podsticajnih mera, onda se planovi za 2008. godinu nisu mogli ostvariti jer podsticajne mere nisu uvedene. Pored toga, ne postoji sistemski rešeno vođenje evidencije izgradnje postrojenja za proizvodnju samo toplotne energije snage do 1 MW za koje se ne izdaje energetska dozvola, kao što su na primer kotlovi na biomasu i solarni paneli za proizvodnju tople sanitarne vode.

Aktivnosti koje se odnose na uspostavljanje uslova za povećano korišćenje obnovljivih izvora energije i nesmetanu realizaciju projekata, su u određenoj meri sprovedene tokom 2007. i 2008. godine: *Određena je vrsta finansijskih podsticajnih mera koja će biti primenjen, pripremljena je uredba o sticanju statusa povlašćenog proizvođača i Uredba o finansijskim podsticajnim merama, ratifikovan je Kjoto Protokol kao neophodan uslov za realizaciju CDM projekata.*

Predlozi mera za period 2009.-2012.

Neophodna mera za investitore u elektrane na OIE je uvođenje podsticajnih otkupnih cena za proizvedenu električnu energiju. Da bi se realizacija projekata korišćenja OIE odvijala bez prepreka i uz što veće učešće domaće privrede neophodne su dodatne mere i aktivnosti, a neke od važnijih su sledeće:

- 1) Prema zakonu o javnim preduzećima proizvodnja električne energije je delatnost od opšteg interesa, a preduzeća mogu da obavljaju takve delatnosti samo ako im je takva delatnost poverena od strane nadležnog ministarstva ili lokalne samouprave. Da ne bi budući vlasnici elektrana na OIE nailazili na prepreke pri poveravanju obavljanja delatnosti proizvodnje električne energije, potrebno je izmeniti postojeći Zakon o javnim preduzećima;
- 2) Potrebno je da ministarstvo nadležno za oblast šumarstva i vodoprivrede odredi naknadu za korišćenje šumskog i vodnog zemljišta, i vodoprivrednih objekata za potrebe malih hidroelektrana. Takođe, potrebno je da nadležno ministarstvo i relevantna javna preduzeća ima standardne forme ugovora o korišćenju zemljišta i objekata za potrebe malih hidroelektrana, kako se ne bi pripremao i razmatrao tekst ugovora za svakog investitora posebno. Nadležno ministarstvo bi trebalo da reguliše pravo korišćenja i naknadu za postojeće geotermalne izvore nezavisno od

porekla (prirodni izvori ili buštine NIS-a);

3) Za buduće male hidroelektrane uglavnom će biti potrebno otkupiti ili zakupiti privatno zemljište. Trebalo bi razmotriti mogućnost da se pri izgradnji malih hidroelektrana investitorima koji su dobili energetske dozvole pomogne, kako ne bi zbog nemogućnosti investitora da se dogovori sa sadašnjim vlasnikom zemljišta bila sprečena realizacija projekta izgradnje hidroelektrane;

4) Kako bi se olakšalo potencijalnim investitorima zainteresovanim za izgradnju novih malih hidroelektrane trebalo bi na internet stranici Ministarstva rudarstva i energetike pored podataka koji su dati iz Katastra malih hidroelektrana (opština, naziv elektrane, vodotok, snaga, proizvodnja, tip turbine) dodati geografske koordinate lokacije svake male hidroelektrane, kako bi potencijalni investitori i opštinske uprave tačno znali lokacije gde mogu da se grade male hidroelektrane. Takođe bi na internet stranici istog ministarstva trebalo postaviti listu izdatih energetske dozvole sa osnovnim podacima (ime investitora, naziv i lokacija elektrane, snaga elektrane, datum izdavanja energetske dozvole). Ovo bi pomoglo potencijalnim investitorima pri izboru lokacija, i uz to doprinelo povećanju javnog uvida u izdavanje energetske dozvole;

5) Potrebno je stvoriti uslove da opštinske uprave mogu da prepoznaju Katastrom predviđene lokacije za izgradnju malih hidroelektrana i da mogu regularno da izdaju akte o urbanističkim uslovima za izgradnju elektrana na lokacijama koje nisu regulisane urbanističkim planovima. Istovremeno im je potrebno pomoći u pripremi urbanističkih planova u delu koji se odnosi na energetske objekte;

6) U Srbiji postoji oko dvadesetak starih malih hidroelektrana koje nisu u pogonu. Njihove snage su najčešće do 200 kW, i najčešće su u državnom vlasništvu (JP Elektroprivreda Srbije, Vojska Srbije). Njihova obnova, pogon i održavanje od strane EPS-a po pravilu ne bi bila ekonomski opravdana. Najbrži način da se te male hidroelektrane ponovo stave u pogon je da se one privatizuju, to jest ponude da lokalni preduzetnici preuzmu vlasništvo nad njima, investiraju u njih i održavaju ih u pogonu;

7) Za kotlove i peći na biomasu, kao i za solarne panele i prateću opremu za proizvodnju toplotne energije potrebno je usvojiti standarde i uvesti atestiranje

Tabela 2 Plan izgradnje kapaciteta i proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora bez hidroelektrana snage preko 10 MW

	godina	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Očekivani bruto konzum (*)		34151	34593	35077	35402	35741	35980	36192	36405	36662	37036	37420	37809	38369
Proizvodnja postojećih HE		10 281	10 368	10 368	10 368	10 368	10 368	10 368	10 668	10 668	10 668	10 668	10 668	10 668
Male HE	MW ukupno	0	1	7	20	45	75	105	130	150	165	180	190	200
	GWh/god.	0,0	3,8	26,6	76,0	171,0	285,0	399,0	494,0	570,0	627,0	684,0	722,0	760,0
Vetar	MW ukupno	0	0	0	0	15	35	50	50	50	50	70	115	170
	GWh/god.	0,0	0,0	0,0	0,0	37,5	87,5	125,0	125,0	125,0	125,0	175,0	287,5	425,0
Sunčevo zračenje	MW ukupno	0,0	0,0	0,1	0,4	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	2,0	3,0	4,0
	GWh/god.	0,0	0,0	0,3	1,0	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	5,0	7,5	10,0
Biomasa	MW ukupno	0	0	0	2	8	18	32	44	54	62	69	75	80
	GWh/god.	0,0	0,0	0,0	12,0	48,0	108,0	192,0	264,0	324,0	372,0	414,0	450,0	480,0
Biogas	MW ukupno	0	0	0	1	3	6	9	12	14	16	18	19	20
	GWh/god.	0,0	0,0	0,0	6,5	19,5	39,0	58,5	78,0	91,0	104,0	117,0	123,5	130,0
Ukupno OIE	MW ukupno	0,0	1,0	7,1	23,4	72,0	135,0	197,0	237,0	269,0	294,0	339,0	402,0	474,0
	GWh/god.	0,0	3,8	26,9	95,5	278,5	522,0	777,0	963,5	1112,5	1230,5	1395,0	1590,5	1805,0
Učesće OIE bez velikih HE (%)		0,00%	0,01%	0,08%	0,27%	0,78%	1,45%	2,15%	2,65%	3,03%	3,32%	3,73%	4,21%	4,70%
Učesće OIE sa velikim HE (%)		30,10%	29,98%	29,63%	29,56%	29,79%	30,27%	30,79%	31,95%	32,13%	32,13%	32,24%	32,42%	32,51%

(*) Prema JP EPS: Plan proizvodnje postojećih HE bez proizvodnje HE "Piva" i bez pretpostavljenog povećanja kapaciteta od 15 MW/god. iz malih HE

Tabela 3 Plan izgradnje kapaciteta i proizvodnje toplotne energije iz obnovljivih izvora za period do 2020. godine

	godina	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Biomasa (CHP)	MW-t ukupno	0	0	0	6	24	54	96	132	162	186	207	225	240
	GWh-t/god.	0,0	0,0	0,0	36,0	144,0	324,0	576,0	792,0	972,0	1 116,0	1 242,0	1 350,0	1 440,0
Biomasa – samo toplota	MW-t	0	5	15	30	50	75	100	125	150	175	195	215	235
	GWh-t/god.	0,0	30,0	90,0	180,0	300,0	450,0	600,0	750,0	900,0	1 050,0	1 170,0	1 290,0	1 410,0
Solarni paneli	m ²	0	0	1000	4000	8000	13000	18000	23000	27000	31000	35000	39000	43000
	GWh/god.	0,0	0,0	0,7	2,8	5,6	9,1	12,6	16,1	18,9	21,7	24,5	27,3	30,1
Biogas	MW-t	0	0	0	2	6	12	18	24	28	32	36	38	40
	GWh-t/god.	0,0	0,0	0,0	13,0	39,0	78,0	117,0	156,0	182,0	208,0	234,0	247,0	260,0
Geotermalna	MW-t	0	2	10	30	50	65	75	80	85	90	92	93	94
	GWh-t/god.	0,0	14,0	70,0	210,0	350,0	455,0	525,0	560,0	595,0	630,0	644,0	651,0	658,0
Ukupno	MW-t (*)	0,0	7,0	25,0	68,0	130,0	206,0	289,0	361,0	425,0	483,0	530,0	571,0	609,0
	GWh-t/god.	0,0	44,0	160,7	441,8	838,6	1316,1	1830,6	2274,1	2667,9	3025,7	3314,5	3565,3	3798,1

*) ukupno instalirana snaga ne obuhvata solarne panele

energija

domaćih i uvoznih proizvoda koji se pojavljuju na domaćem tržištu. Uvođenje atestiranja će jednim delom doprineti povećanju kvaliteta ovih proizvoda na tržištu. Ipak neophodna je pomoć kroz razvojne i demonstracione projekte koji bi se realizovali uz podršku ministarstava nadležnih za energetiku, nauku, poljoprivredu i šumarstvo, ekonomiju i regionalni razvoj. Dodatna mera, koja bi direktno uticala na povećanje ugradnje ove vrste opreme, bila bi finansijska podrška pri kupovini ove vrste opreme. Potrebno je razmotriti obezbeđivanje sredstava za podršku projektima proizvodnje toplotne energije iz OIE, naročito uzimajući u obzir obaveze koje donosi nova direktiva EU;

8) Potrebno je unaprediti prikupljanje statističkih podataka o korišćenju biomase u energetske svrhe, korišćenju geotermalne energije i budućem korišćenju energije sunčevog zračenja za proizvodnju toplotne energije. Ovi podaci će biti bitni za procenu sadašnjeg stanja, praćenje smanjenja emisije gasova sa efektom staklene bašte i za dokazivanje o ispunjavanju uslova o udelu OIE u ukupnoj potrošnji energije;

9) Posebno pogodna i značajna mesta za demonstracione projekte korišćenja biomase su poljoprivredne i šumarske škole. Skoro svaka od 15 ovih škola poseduje oranice ili šume, uglavnom su smeštene na periferiji gradova ili čak van njih, imaju domove učenika u krugu škole, a mnoga od njih koriste tečno gorivo za grejanje. Demonstracioni projekti bi omogućili obrazovanje mnogih generacija o pravilnom načinu korišćenja biomase;

10) Informisanje i priprema elektronskih brošura za korišćenje OIE (biomasa, biogas, geotermalna energija, solarni paneli) i stavljanje na internet adrese agencija za energetske efikasnost, regionalnih privrednih komora, ministarstava. Informisanje domaćih proizvođača o namerama podsticanja razvoja i proizvodnje domaće opreme za korišćenje OIE;

11) Pokretanje istraživačko-razvojnih programa za tehnologije pojedinih OIE (za električnu energiju: hidroenergija i biomasa, a za toplotnu energiju: biomasa i energija sunčevog zračenja) kroz saradnju razvojnih institucija i potencijalnih domaćih proizvođača opreme, uz koordinaciju ministarstava nadležnih za energetiku i nauku;

12) Izbor i priprema demonstracionih projekata. Realizacija 3 demonstraciona projekta (1 male HE, 1 elektrane na biomasu, 1 postrojenje sa termo-solarnim panelima).

Plan povećanja udela OIE u proizvodnji energije

Program ostvarivanja Strategije razvoja energetike iz 2007. godine nije predviđao izgradnju elektrana na vetar i sunčevo zračenje, što je potpuno u saglasnosti sa *Strategijom razvoja energetike do 2015. godine* koja predviđa selektivno podsticanje OIE. S obzirom da je u planu uvođenje podsticajnih otkupnih cena i za elektrane na vetar i sunčevo zračenje, u sadašnjem scenariju povećanja učešća OIE predviđena je ograničena izgradnja elektrana na vetar (ukupno do 50 MW) i sunčevo zračenje (ukupno do 1 MW) do 2015. godine. Ipak važno je naglasiti, da bi opredeljenje iz *Strategije razvoja energetike do 2015.* o selektivnom podsticanju korišćenja OIE trebalo da bude u što većoj meri primenjeno. Nakon 2015. godine, kada se očekuje da Republika Srbija postane član EU, postojaće zahtevnije obaveze po pitanju udela OIE u potrošnji energije i po pitanju smanjenja emisije CO₂, tako da će tada intenzivnija izgradnja elektrana na vetar i sunčevo zračenje biti dobrodošla.

U tabeli 2. data je procena dinamike povećanja udela OIE u potrošnji električne energije u Srbiji. Dinamika povećanja potrošnje električne energije preuzeta je iz planova JP EPS-a. Scenario nije obuhvatio hidroelektrane snage preko 10 MW, osim HE Buk Bijela.

Dinamika povećanja OIE je u skladu sa pretpostavljenim povećanjem učešća OIE u potrošnji električne energije od 2,4% u 2020. godini u odnosu na vrednost iz 2008. godine. Udeo OIE od 32,5% u 2020. godini u odnosu na 30,1% u 2008. godini, bio bi ostvaren povećanjem proizvodnje iz novih malih HE i elektrana na druge OIE za 4,7% do 2020. godini.

Realno je očekivati da će modernizacija i revitalizacija postojećih velikih hidroelektrana doprineti povećanju proizvodnje iz OIE. Takođe postoje mogućnosti da se izgrade nove HE kapaciteta preko 10 MW. Sve ovo bi doprinelo povećanju učešća OIE, ili eventualno kompenzovalo smanjenu proizvodnju iz drugih vrsta elektrana na OIE.

Dinamika izgradnje kapaciteta i povećanje proizvodnje toplotne energije iz OIE za naredni period data je u tabeli 3. Saglasno energetskom potencijalu, najveća proizvodnja toplotne energije je planirana da bude korišćenjem biomase, bilo u kombinovanim postrojenjima koja proizvode i električnu energiju, ili u postrojenjima i uređajima koji

proizvode samo toplotnu energiju. Postrojenja koja koriste biogas po pravilu su postrojenja sa kombinovanom proizvodnjom električne i toplotne energije. Iz tog razloga će proizvodnja toplote iz tih postrojenja verovatno biti takode značajno zastupljena. Što se tiče geotermalne energije, odnosno postojećih i eventualno novih izvora tople vode, kod kojih nije potrebno korišćenje skupih tehnologija, realno je da oni budu maksimalno iskorišćeni. Dinamika ugradnje solarnih panela za proizvodnju sanitarne tople vode u direktnoj je vezi sa podsticajnim merama. Predviđena dinamika je zasnovana na umerenim podsticajnim merama koja bi dovela do instalisanja u proseku 4000 – 5000 m² solarnih panela godišnje.

Predviđena dinamika povećanja korišćenja OIE dovela bi do toga da bi u 2012. godini bilo instalirano ukupno 72 MW električne snage, ne računajući hidroelektrane snage preko 10 MW, i novih 130 MJ/s toplotne snage. Vrednost ukupne toplotne snage ne obuhvata solarne panele, zbog njihove nepredljivosti proizvodnje i standardne ugradnje akumulatora toplote. Godišnja proizvodnja energije iz OIE u 2012. godini bi bila: 278,5 GWh električne energije i 838,6 GWh toplotne energije.

Literatura

1. Strategija razvoja energetike Republike Srbije do 2015. godine, 2005.
2. Ugovor o energetske zajednici jugo-istočne Evrope (Energy Community in South East Europe Treaty)
3. Zakon o ratifikaciji Kjoto Protokola
4. Directive 2001/77/EC on the promotion of electricity produced from renewable energy sources in the internal electricity market
5. Strategija regionalnog razvoja Republike Srbije za period 2007-2012. godine, Službeni list, januar 2007.
6. <http://www.europa.eu.int/comm/energy/>
7. Katastar malih hidroelektrana u Republici Srbiji van autonomnih pokrajina, 1987, Elektroprivreda Srbije, Beograd
8. Katastar malih hidroelektrana u Vojvodini, 1989, Elektrovojvodina, Novi Sad
9. Studija: Energetski potencijal i karakteristike biomase i

tehnologije za njenu pripremu i energetska iskorisćenje u Srbiji, autori: Ilić, M., Oka, S., Grubor, B., Dakić, D., Tešić, M., Martinov, M., Radovanović, M., Danon, G., Bajić, V., Đević, M., Radivojević, D., Ministarstvo nauke, Ev. broj NP EE611-113A, 2003.

10. Ilić, M., Grubor, B., Tešić, M., The State of Biomass Energy in Serbia, Thermal Science Journal, Vol.8 (2004), No.2, pp.5-19
11. Studija: Tehno-ekonomska ocena korišćenja biomase za kombinovanu proizvodnju električne i toplotne energije, autori: Martinov, M., Ilić, M., Radivojević, D., Dakić, D., Glavonjić, B., Furman, T., Ministarstvo nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije, Ev. br. 273020, 2007.
12. Putnik R., i sar., Mogućnost korišćenja energije vetra za proizvodnju električne energije, Studija, Elektroprivreda Srbije, Beograd, 2002.
13. Gburčik P., i sar., Studija energetskog potencijala Srbije za korišćenje sunčevog zračenja i energije vetra, Centar za multidisciplinarnu studiju, Univerzitet u Beogradu, 2004.
14. Project: Strengthening of the Renewable Energy Department of Serbian Energy Efficiency Agency, Wind Farm Feasibility Study, Projekat finansiran od strane Vlade Kraljevine Španije, koordinator Agencija za energetska efikasnost Republike Srbije, 2008.
15. Soleša, M., Đajić, N., Parađanin, Lj., Proizvodnja i korišćenje geotermalne energije, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd, 1995.

Dr Dimitrije Lilić

Agencija za energetska efikasnost Republike Srbije, Beograd

UDC: 620.9 : 621.57.001/04

Direktive EU o korišćenju obnovljivih izvora energije Izračunavanje udela obnovljive energije kod toplotnih pumpi

Rezime

Direktivu o upotrebi obnovljivih izvora energije Evropski parlament je usvojio u decembru 2008. godine. Direktiva određuje obavezne nacionalne ciljeve za ukupni udeo energije iz obnovljivih izvora u bruto potrošnji finalne energije kao i udeo energije iz obnovljivih izvora u transportu. Važna je i odluka da se toplota iz spoljašnjeg vazduha, vode i tla definiše kao obnovljiva energija. Građevinski sektor ima važnu ulogu u postizanju ovih ciljeva. Ovaj članak prikazuje sažet pregled nekih članova Direktive vezanih za zgradarstvo i izračunavanje udela obnovljive energije kod primene toplotnih pumpi.

Ključne reči: obnovljivi izvori energije, energetska efikasnost, zgrade, toplotna pumpa.

Directive EU on the Use of Renewable Energy Sources Accounting of Renewable Energy from Heat Pumps

The Directive on the Use of Renewable Energy Sources the European parliament adopted in December 2008. It sets mandatory national targets for the overall share of energy from renewable sources in gross final consumption of energy and for the share of energy from renewable sources in transport. An important decision is also that heat from outdoor air, water and ground is defined also as renewable source. Building sector has an important role in achieving these goals. This article summarizes some important articles of Directive regarding building sector and calculation of renewable energy from heat pumps.

Key words: renewable energy sources, energy efficiency, buildings, heat pump.

Uvod

Evropski parlament je 17. decembra 2008. godine usvojio Direktivu o upotrebi obnovljivih izvora energije. Ova direktiva postavlja ukupne nacionalne ciljeve u zemljama članicama EU, za udeo energije iz obnovljivih izvora u konačnoj bruto potrošnji finalne energije u 2020. godini kao i udeo energije iz obnovljivih izvora u transportu. Takođe, važna je i odluka da se toplota iz spoljašnjeg vazduha, vode i tla definiše kao obnovljiva energija u slučaju da je sezonski COP¹ toplotne pumpe dovoljno visok

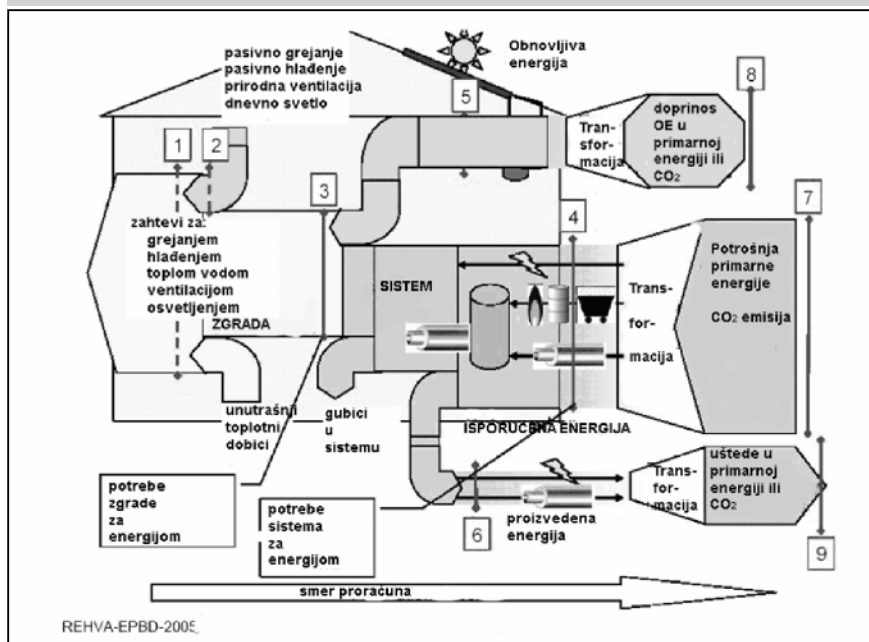
(aproximativno veći od 3). Definisano je postupak za izračunavanje udela obnovljive energije kod primene toplotnih pumpi.

Tekst Direktive, na većini jezika, dostupan je na Web stranici DG TREN Evropske komisije [1].

Potrošnja energije u zgradama U zemljama EU stambeni i tercijalni sektor učestvuje sa više od 40% u finalnoj potrošnji energije sa tendencijom uvećanja učešća. Razlozi porasta potrošnje energije u sektoru zgradarstva (slika 1) su: porast standarda i jačanje zahteva za kvalitetom unutrašnje klime; porast korišćenja opreme koja generiše toplotu; ograničen fokus na

¹ Coeficient Of Performance

Slika 1 Prikaz potrošnje energije u zgradama



energetsku efikasnost i operacionalne troškove; odluke da se gradi na

osnovu investicionih troškova dok operacionalne troškove i održavanje

Tabela 1 Nacionalni ukupni ciljevi za udeo energije iz obnovljivih izvora u konačnoj bruto potrošnji energije u 2020. godini (Aneks I, Direktive)*

	Udeo energije iz obnovljivih izvora u bruto potrošnje finalne energije 2005 (S ₂₀₀₅)	Ciljani udeo energije iz obnovljivih izvora u bruto potrošnje finalne energije 2020 (S ₂₀₂₀)
Belgija	2.2%	13%
Bugarska	9.4%	16%
Republika Češka	6.1%	13%
Danska	17.0%	30%
Nemačka	5.8%	18%
Estonija	18.0%	25%
Irska	3.1%	16%
Grčka	6.9%	18%
Španija	8.7%	20%
Francuska	10.3%	23%
Italija	5.2%	17%
Kipar	2.9%	13%
Latvija	32.6%	40%
Litvanija	15.0%	23%
Luksemburg	0.9%	11%
Mađarska	4.3%	13%
Malta	0.0%	10%
Holandija	2.4%	14%
Austrija	23.3%	34%
Poljska	7.2%	15%
Portugalija	20.5%	31%
Rumunija	17.8%	24%
Slovenija	16.0%	25%
Republika Slovačka	6.7%	14%
Finska	28.5%	38%
Švedska	39.8%	49%
Velika Britanija	1.3%	15%

* Da bi mogli postići nacionalne ciljeve navedene u ovom Aneksu, naglašeno je da državne podrške smericama za zaštitu životne sredine prepoznaju potrebu za nastavak nacionalnih mehanizama podrške za promociju energije iz obnovljivih izvora.

plaća krajnji korisnik pa se biraju jevtina i neefikasna rešenja.

Građevinski sektor ima važnu ulogu u postizanju ciljeva Direktive [2]. Aktivno korišćenje obnovljivih izvora energije u zgradama je uključeno u kalkulacije kako bi se ispunili postavljeni ciljevi. To znači da se očekuje značajan porast u korišćenju biomase, solarne energije, vetra, geotermalne energije i drugih tehnologija u sektoru zgradarstva.

Na nacionalnom i regionalnom nivou, pravila i obaveze za postavljanje minimalnih zahteva za korišćenje obnovljivih izvora energije u novim i kod značajne obnove stadih zgrada [3] podstiču povećanje upotrebe obnovljivih izvora energije. Ove mere treba da budu podstaknute u širem evropskom kontekstu prilikom promovisanja efikasnije primene obnovljivih izvora energije u zakonima i propisima u oblasti zgradarstva.

To mora biti odgovarajuće za države članice EU, kako bi se olakšalo i ubrzalo postavljanje minimalnih zahteva za korišćenje energije iz obnovljivih izvora u zgradama, uključujući faktora za obnovljive izvore energije u ispunjenju zahteva za minimum energetske performansi, prema Direktivi 2002/91/EC o energetskim performansama zgrada [3], u odnosu na troškovno optimalno smanjenje emisije CO₂ po zgradi.

Države članice treba da razmotre pogodne mehanizme za promociju daljinskog grejanja i hlađenja iz obnovljivih izvora energije, kao i mera za uklanjanje praznina u informisanosti i obuci, posebno u sektoru grejanja i hlađenja, kako bi se podstakao razvoj korišćenja energije iz obnovljivih izvora.

Direktiva EU o korišćenju obnovljivih izvora energije (Direktiva)

Ova Direktiva uspostavlja zajednički okvir za promociju energije dobijene iz obnovljivih izvora. Direktiva određuje obavezne nacionalne ciljeve država članica EU za ukupni udeo energije iz obnovljivih izvora u bruto potrošnji finalne energije (tabela 1) kao i za udeo energije iz obnovljivih izvora energije u transportu.

Ona propisuje pravila koja se odnose na statističke transfere između država članica, zajedničke projekte između država članica kao i sa trećim zemaljama, garancije porekla, administrativne procedure, informacije i obuku, i pristup na električnu mrežu za energiju dobijenu iz obnovljivih izvora.

energija

Direktiva uspostavlja kriterijum održivosti za biogoriva i druge biotečnosti. (Član 1)

Definicije iz Direktive 2003/54/EC [4] važiće i za potrebe ove Direktive. Sledeće definicije će se takođe primenjivati (delimičan izbor iz člana 2, Direktive):

- “energija iz obnovljivih izvora” - energija iz obnovljivih nefosilnih izvora: vetar, solarna, **geotermalna, aerotermalna, hidrotermalna** i energija okeana, hidroelektrane, biomasa, deponijski gas, gas iz postrojenja za tretman otpadnih voda i biogas;
- “aerotermalna energija” - energija koja se nalazi u obliku toplote u ambientnom vazduhu;
- “geotermalna energija” - energija koja se nalazi u obliku toplote ispod čvrste površine zemlje;
- “hidrotermalna energija” - energija koja se nalazi u obliku toplote u površinskim vodama;
- “bruto potrošnje finalne energije” energija isporučena u energetske svrhe industriji, saobraćaju, domaćinstvima, uslugama uključujući javne službe, poljoprivredi, šumarstvu i ribarstvu, uključujući i potrošnju električne energije i toplote od energetskih sistema za proizvodnju električne i toplotne energije, kao i gubitke električne i toplotne energije u distribuciji i prenosu;
- “daljinsko grejanje ili hladjenje” označava distribuciju toplotne energije u obliku pare, tople vode ili hladne tečnosti, od centralnog izvora proizvodnje, kroz mrežu, do grupe zgrada ili na više lokacija, za korišćenje prostora ili procesa grejanja ili hlađenja.

Nacionalni akcioni planovi (član 4)

Svaka država članica će se doneti akcioni plan za korišćenje obnovljivih izvora energije. Nacionalni akcioni planovi za korišćenje obnovljive energije će postaviti nacionalne ciljeve za udeo energije iz obnovljivih izvora u transportu, električnoj energiji i grejanju i hlađenju u 2020. godini, uzimajući u obzir efekte drugih političkih mera u vezi sa energetskom efikasnošću na strani finalne potrošnje energije, i odgovarajuće mere koje treba preduzeti kako bi se postigli ukupni nacionalni ciljevi, uključujući saradnju između lokalnih, regionalnih i nacionalnih vlasti, planiranih statističkih transfera ili zajedničkih projekata, nacionalnih politika za razvoj postojećih

resursa biomase i mobilisati nove resurse biomase za različite namene, kao i mere koje treba preduzeti da bi se ispunili zahtevi Direktive.

Izračunavanje udela obnovljive energije

Bruto finalna potrošnja energije iz obnovljivih izvora za članice EU treba da se uzračunava kao zbir (Član 5 (1), Direktive):

- a) bruto finalne potrošnja električne energije dobijene iz OIE;
- b) bruto finalna potrošnja energije iz OIE za grejanje i hlađenje; i
- c) finalne energija iz OIE potrošene u transportu.

Za izračunavanje udela bruto potrošnje finalne energije iz obnovljivih izvora, gas, električna energija i vodonik dobijeni iz obnovljivih izvora energije će biti uzeti u razmatranje samo jednom ili u okviru tačke 1 (a), 1 (b) ili 1 (c).

Za potrebe stava 1 (b) ovog člana, bruto potrošnje finalne energije iz obnovljivih izvora za grejanje i hlađenje će se izračunati kao količine u daljinskom grejanju i hlađenju proizvedene u državi članici iz obnovljivih izvora, plus potrošnja druge energije iz obnovljivih izvora u industriji, domaćinstvima, uslugama, poljoprivredi, šumarstvu i ribarstvu za grejanje, hlađenje i procesne svrhe (član 5 (4) Direktive).

U postrojenjima koja koriste više vrsta goriva, obnovljive i konvencionalne izvore, samo deo grejanja i hlađenja, proizveden iz obnovljivih izvora energije biće uzet u obzir. Za potrebe ove kalkulacije, doprinos svakog energenta će se izračunati na osnovu energetskog udela (član 5 (4) Direktive).

Aerotermalna, geotermalna i hidrotermalna toplotna energija apsorbovana toplotnom pumpom uzeće se u obzir u smislu stava 1 (b) ovog člana pod uslovom da krajnje odavanje toplote znatno premašuje primarni energetski unos. Količina toplote koja treba razmotriti kao obnovljive izvore energije za potrebe ove Direktive biće izračunate u skladu sa metodologijom propisanom u Aneksu VII (član 5 (4) Direktive).

Toplotna energija generisana primenom pasivnih energetskih sistema i konstrukcija, i toplota generisana iz energije koja potiče iz neobnovljivih izvora, neće biti uzeta u obzir u smislu stava 1 (b) ovog člana (član 5 (4) Direktive).

Pasivni energetski sistemi koriste konstrukciju zgrade da bi energija bila efikasnije iskorišćena. To se smatra uštedom energije. Stoga, da bi se

izbeglo dvostruko obračunavanje, ovako uštedenu energija ne bi trebalo uzeti u obzir u smislu ove Direktive.

Toplotne pumpe

Toplotna pumpa je mašina ili uređaj koji vrši transport toplote sa jedne lokacije (“izvor”) na drugu lokaciju (“ponor” ili “toplotni ponor”) pri tom koristeći mehanički rad. Konstrukcija većine toplotnih pumpi omogućava i vrši transport toplote sa lokacije nižeg temperaturnog nivoa na lokaciju višeg temperaturnog nivoa.

Toplotna pumpa omogućuje korišćenje ambijentne toplote iskoristivog temperaturnog nivoa koristeći pritom električnu ili drugi vid energije potrebnu za njenu funkciju. Dakle, energija iskorišćena za pogon toplotnih pumpi treba da bude oduzeta od ukupno odate toplote.

Samo toplotne pumpe kod kojih ukupno odata toplota znatno premašuje primarnu energiju potrebnu za njen pogon će biti uzete u obzir. Aerotermalna, geotermalna i hidrotermalna toplota treba da bude uzeta u obzir pod uslovom da ukupno predata toplota od toplotne pumpe znatno premašuje primarni energetski unos. Količina toplote koja će se smatrati kao obnovljiva za potrebe ove Direktive biće izračunata u skladu sa metodologijom propisanom dole (Aneks VII, Direktive).

Izračunavanje udela obnovljive energije kod toplotnih pumpi (Aneks VII)

Količina energije okoline apsorbovana toplotnom pumpom koja se može smatrati obnovljivom energijom za svrhe ove Direktive, E_{RES} , treba da se obračunava u skladu sa sledećom formulom:

$$E_{RES} = Q_{usable} \left(1 - \frac{1}{SPF}\right) \quad (1)$$

gde je

- Q_{usable} - ukupna procenjena korisna toplota isporučena toplotnom pumpom ispunjavajući kriterijume navedene u članu 5 (4) Direktive, primenjene kako sledi: Samo toplote pumpe za koje je $SPF > 1.15 \frac{1}{\eta}$ biće uzete u račun.

- SPF - procenjeni prosečni sezonski factor - koeficijent performanse za ove toplotne pumpe

- η - odnos između ukupne bruto proizvodnje električne energije i primarne energije za proizvodnju električne energije, i treba da bude izračunat kao prosek EU-a zasnovanom

energija

na EUROSTAT podacima.

Za zemlje članice EU, prosečan $\eta =$ cca. 0,4. Što znači da minimalna vrednost sezonskog koeficijenta performanse (SPF) toplotne pumpe treba da bude $SPF = COP_{seasonal} > 2,875$ [5].

Najkasnije do 1. januara 2013, Komisija treba da utvrdi smernice o tome kako države članice treba da procenjuju vrednosti *Qusable* i SPF za različite tehnologije i primene toplotnih pumpi, uzimajući u obzir razlike u klimatskim uslovima, a posebno u uslovima jako hladne klime.

Administrativne procedure, pravila i zakoni (član 13.)

S obzirom na svoje građevinske propise i zakone, države članice će promovisati upotrebu obnovljivih izvora energije za sisteme za grejanje i hlađenje kao i opreme, kako bi ostvarile značajano smanjenje potrošnje energije. Države članice će koristiti energetske ili eko-oznake ili druge odgovarajuće sertifikate ili standarde, razvijene na nacionalnom i evropskom nivou, gde postoje, kao osnovu za podsticanje upotrebe takvih sistema i opreme.

U slučaju upotrebe biomase, države članice će promovisati tehnologije koje postižu efikasnost konverzije od najmanje 85% za stambene i komercijalne primene, i barem 70% za industrijske primene.

U slučaju korišćenja toplotnih pumpi, države članice će promovisati toplotne pumpe koje zadovoljavaju minimalne uslove za eko-označavanje ustanovljene Odlukom 2007/742/EC [6].

U slučaju korišćenja solarne toplotne energije, države članice će promovisati sertifikovane opreme i sisteme koji se zasnivaju na evropskim standardima, gde ovi postoje, uključujući eko-oznake, energetske natpise i druge tehnički referentne sisteme ustanovljenih od evropskih standardizacionih tela.

Za procenu efikasnosti konverzije i ulazno / izlaznih odnosa sistema i opreme za potrebe ovog stava, države članice će koristiti procedure razvijene u Zajednici, ili u nedostatku navedenog, međunarodne procedure, ako takve procedure postoje.

Izveštavanja od strane država članica (član 22)

Svaka država članica dužna je da podnese izveštaj Komisiji o napretku u promociji korišćenja energije iz obnovljivih izvora, najkasnije do 31. decembar 2011, i svake 2 godine nakon toga. Šesti izveštaj će biti podnet najkasnije do 31. decembra 2021.

godine, koji će biti ujedno i poslednji zahtevani izveštaj.

Zaključak

Evropski parlament je u decembru 2008. godine usvojio Direktivu o upotrebi obnovljivih izvora energije koja određuje obavezne nacionalne ciljeve državama članicama u ovoj oblasti. Propisan je udeo energije iz obnovljivih izvora u bruto potrošnji finalne energije kao i udeo energije iz obnovljivih izvora u transportu koji trebaju biti dostignuti u konačnoj bruto potrošnji energije u 2020. godini. Takođe, važna je i odluka da se pod određenim uslovima i toplota iz spoljašnjeg vazduha, vode i tla definiše kao obnovljiva energija i pri tom je dat postupak za izračunavanje udela obnovljive energije kod primene toplotnih pumpi. Građevinski sektor ima važnu ulogu u postizanju ovih ciljeva. U radu je prikazan kratak pregled nekih članova Direktive vezanih za zgradarstvo i izračunavanje udela obnovljive energije kod primene toplotnih pumpi.

Srbija nije član EU, ali obzirom na njene težnje a i koristi od propisa i direktiva razvijenih u EU, treba na vreme sagledati mogućnost njihovih implementacija u nas.

Process usaglašavanja i harmonizacije naših propisa i regulative sa regulativom EU treba započeti na vreme, pogotovo u slučajevima za koje je potrebno dosta vremena i prethodnih radnji da bi se primenili u Srbiji.

Literatura

- [1] http://ec.europa.eu/energy/strategies/2008/2008_01_climate_change_en.htm
- [2] Lilić, D., Kovačić, B., Durković, A., *Energetska efikasnost u javnim zgradama – Demonstracioni projekti*, “KGH”, broj 3, str. 53-59, Beograd, 2007.
- [3] **Directive 2002/91/EC.OJL1** of the European Parliament and of the Council of 04 January 2003 on the energy performance of buildings
- [4] **Directive 2003/54/EC** of the European Parliament and of the Council of 26 June 2003 concerning common rules for the internal market in electricity
- [5] Sepanen, Olli., *European parliament adopted the Directive on the Use of Renewable Energy Sources*, Secretary of REHVA, REHVA Journal, 2009.

- [6] **Decisions (2007/742/EC)** Commission Decision of 9 November 2007 establishing the ecological criteria for the award of the Community eco-label to electrically driven, gas driven or gas absorption heat pumps

Obnovljivi izvori energije i povećanje efikasnosti - imperativ u EU

1. Uvod

Globalnu energetska situaciju karakterišu ograničene rezerve prirodnog gasa i nafte, uz istovremeno povećanje potrošnje. Uz to, povećana emisija CO₂ zagreva našu atmosferu, što dovodi do klimatskih promena. Ovo nas prisiljava na odgovoran odnos prema ovim nosiocima energije i zahteva veću efikasnost, kao i pojačanu primenu obnovljivih energija.

2. Potrošnja energije

Potrošnja energije u celom svetu se od 1970. godine duplirala, a do 2030. godine očekuje se da se utrostruči (sl. 1.). Potražnju za energijom povećava rastuća "energetska glad" Sjedinjenih Država, Rusije i zemalja u ekspanziji, Kine i Indije. Međutim, neke razvijene zemlje su mogle da svoj ekonomski razvoj učinile nezavisnim od potrošnje energije, pa tako imaju potrošnju energije čak manju od one pre dvadesetak godina. To je praktično prvi korak u dobrom pravcu. Za obezbeđenje budućnosti potrebne su i druge uštede.

"Toplota je potrebna za celokupan živi svet. Tamo gde Sunčevi zraci ne dopiru, mora čovek da obezbedi potrebnu toplotu. Toplota je bila i jeste osnova za dobrobit i blagostanje. Da tako ostane i u budućnosti potrebni su inovativni proizvodi, vrhunski kvalitet i jedinstveni koncept orijentisan ka budućnosti"

Dr Martin Viessmann

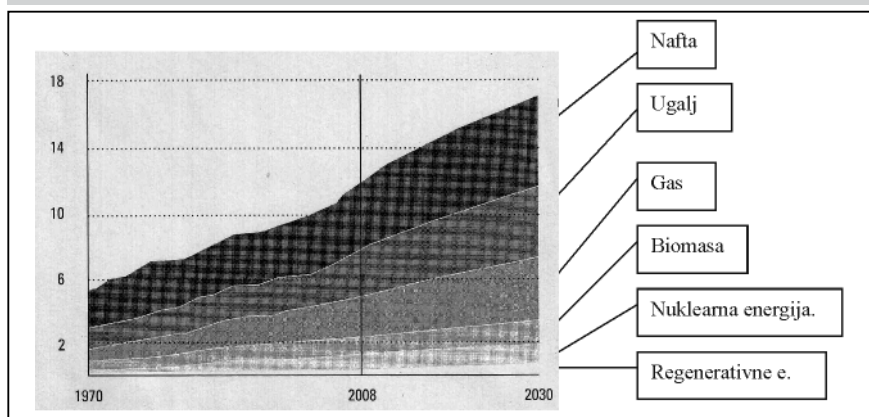
Rezime

U radu su dati podaci o kretanju potrošnje energije u svetu u poslednjih četrdeset godina, o kretanju cena energije i kretanju emisije CO₂, sa uticajem na globalnu klimu. Dalje, prikazana je zakonska regulativa u zemljama EU vezana za postojeće, kao i obnovljive izvore energije, odn. geotermalnu energiju, biomasu, solarnu energiju, energiju vetra i hidroenergiju. Dat je prikaz efekata koji se mogu postići sa svakim od vidova obnovljivih izvora energije, posebno u smislu energetske uštede, a posebno u smislu smanjenja emisije CO₂. Navedena su i neka od najnovijih tehničkih rešenja za korišćenje obnovljivih izvora energije.

Abstract

This paper provides information about worldwide energy consumption in the past forty years, as well as about energy prices and CO₂ emissions including its impact on the global climate. Furthermore, listed are regulations in EU countries concerning existing energy sources and renewable sources of energy such as geothermal energy, biomass, solar energy, wind energy and hydroenergy. A review of the effects that could be achieved with each kind of renewable energy is provided, separately for energy savings and for the reduction of CO₂ emissions. Some recent technical solutions for the use of renewable energy sources are discussed.

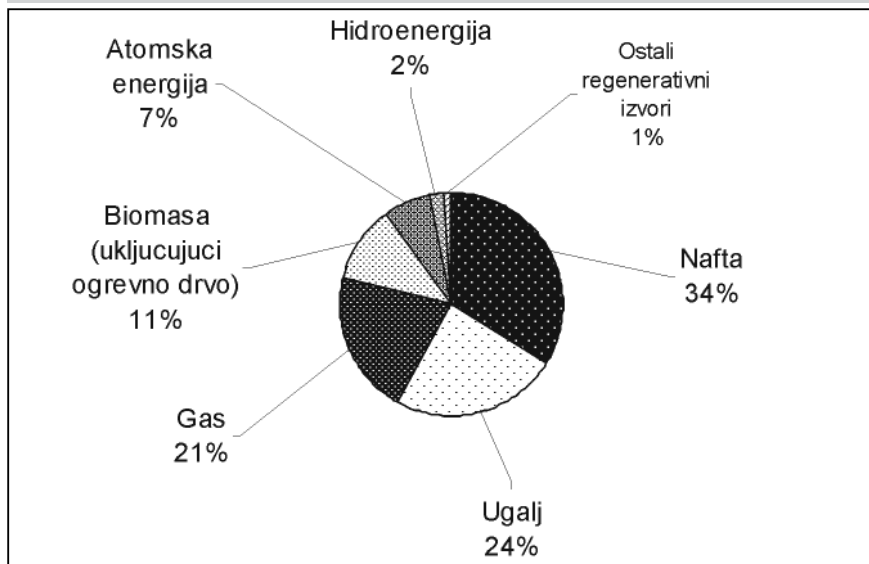
Slika 1 Potrošnja energije u svetu prema izvorima (u 10⁹ tona ekvivalenta nafte)



Cene energije uvek su bile odlučujući faktor pri određivanju troškova – za proizvođače i za potrošače. Cena barela sirove nafte, koja je merilo za gotovo sve izvore energije, upetostručila se od 2000. godine i u međuvremenu je više puta prešla kritičnu vrednost od 100 \$. Ovakav trend će se po procenama stručnjaka nastaviti i u budućnosti.

Energija iz fosilnih goriva čini ukupno 79 procenata u ukupnoj potrošnji energije u svetu (sl. 2). Na regenerativne energije otpada 14 procenata, a na nuklearnu energiju 7 procenata. Ograničene rezerve nafte i gasa dugoročno neće biti na raspolaganju u dovoljnoj meri da se pokriju stalno

Slika 2 Udeo pojedinih izvora energije u ukupnoj potrošnji



rastuće energetske potrebe. Iako su se u poslednjih 20 godina dokazane rezerve nafte i gasa veoma malo promenile, razvojem tehnika eksploatacije i novim nalazištima ostvariće se veća eksploatacija..

Jaka koncentrisanost na fosilne izvore energije stvara posebno u zapadnim zemljama značajne rizike, pošto su one veoma zavisne od uvoza. I to iz malog broja trenutno politički nestabilnih regiona. Time raste opasnost da se zalihe sirovina i energije zloupotrebljavaju kao sredstvo prinude.

Energija iz fosilnih goriva, koja su se tokom više od 500 miliona godina lagerovala, potrošena je velikim delom za manje od 200 godina. Zbog toga moraju države kao SAD, Rusija ili mnogoljudne ekonomije Azije da budu svesne da su, srednjoročno gledano, konkretne mere za štednju energije i smanjenje emisije neizbežne.

S obzirom na ograničene rezerve

sirovina u celom svetu i preteće klimatske promene zbog prevelikih emisija CO₂, politika je formulisala tzv. dvostruku strategiju, koja osim povećanja energetske efikasnosti predviđa i supstituciju fosilnih goriva obnovljivim izvorima energije.

Politički cilj Evropske unije je da se potrošnja energije iz fosilnih goriva smanji za 20 procenata, a da se udeo obnovljivih energija u ukupnoj potrošnji poveća na 20 procenata. Konkretno, nemačka savezna vlada bi htela da se emisija CO₂ spustiti čak za blizu 40 procenata.

Za ostvarenje ovih ciljeva može tržište toplotne energije da pruži značajan doprinos. Ono sa 40 procenata ima najveći udeo u ukupnoj potrošnji energije i nudi ogroman potencijal za ostvarenje ušteta.

Realizacijom projekta „Efikasnost Plus” ne podiže se samo efikasnost proizvodnje, nego prvenstveno

energetska efikasnost, i to na strani proizvodnje i na strani potrošnje. Po ovom projektu šteti se 50 procenata energije iz fosilnih goriva. Istovremeno, snižava se emisija CO₂ za 40 procenata. Značajan udeo u supstituciji fosilnih goriva imaju postrojenja za proizvodnju biogasa, koja već ove godine ulaze u redovan pogon.

3. Preteća promena klime prisiljava na akciju

Nekontrolisana potrošnja nafte i gasa nema samo široke ekonomske posledice. Takođe, štetni uticaj koji na našu klimu ima emisija CO₂, nastalog prilikom sagorevanja, prisiljava na ozbiljnu akciju. I ovde rešenje leži u većoj efikasnosti, kao i u intenzivnijoj primeni obnovljivih energetskih izvora.

Prema istraživanjima Svetskog klimatskog saveta ujedinjenih nacija (IPCC) ne sme prosečna temperatura atmosfere da se povisi za više od 2 °C u odnosu na predindustrijsko doba, da bi se sprečila globalna klimatska katastrofa. To direktno nameće obavezu zaustavljanja globalnog zagrevanja.

Da bi se ovo ostvarilo moraju se emisije CO₂ prepoloviti do 2050. godine. U stvari, emisija je već danas u odnosu na 1990. godinu povećana za 25 %, na 27 milijardi tona godišnje. Zagrevanje Zemljine atmosfere zbog emisije CO₂ mora se ograničiti i šume održati. U budućnosti se emisije CO₂ ne smeju više povećavati, već moraju da se smanjuju.

U okviru svetske konferencije na ostvu Bali postignut je dogovor 187 zemalja o “redu vožnje” za novi svetski sporazum o zaštiti svetske klime, koji će 2009. godine biti usvojen u Kopenhagenu, a 2012. godine treba da stupi na snagu. Planirani elementi ovog novog sporazuma su:

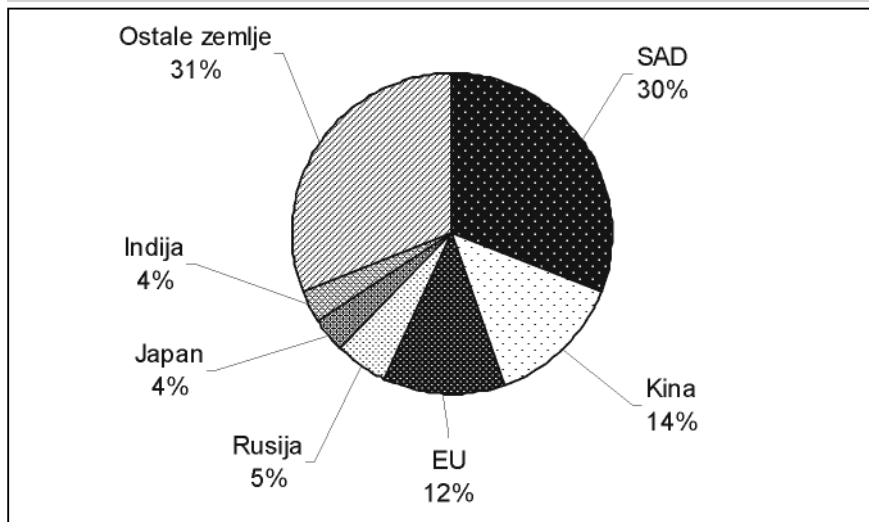
- obaveza zemalja u razvoju u pogledu jasnih mera za zaštitu klime,
- podrška zemljama u razvoju u primeni tehnologija povoljnih po klimu, kao i
- pribavljanje finansijskog podsticaja za zaštitu tropskih šuma.

Očekivanja u vezi sa utvrđivanjem konkretnih kvota za smanjenje emisije CO₂ ipak nisu ispunjena.

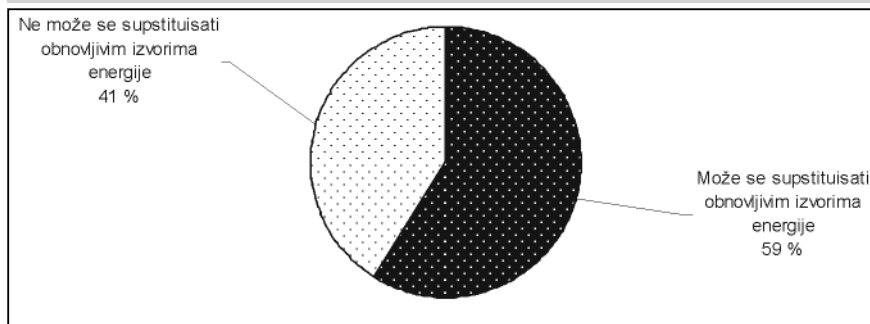
4. Dvostruka strategija za sigurnost snabdevanja i zaštitu klime

Politika je odgovorna za zaštitu klime i stvaranje sigurnosti u snabdevanju energijom. Razrađuju se budući energetske koncepti za veću sigurnost snabdevanja, zaštitu klime, energetske efikasnost i stabilnost cena. U

Slika 3 Udeo zemalja u emisiji CO₂ (%)



Slika 4 Potencijal supstitucije obnovljivim izvorima energije



međuvremenu je na nivou EU zaključen integrirani “Program za energiju i klimu”. Okviri ovog programa utiču na mnoge zakone.

Za ostvarivanje energijsko-političkih ciljeva utvrđena je dvostruka strategija, koja obuhvata povišenje energetske efikasnosti, kao i forsirano korišćenje obnovljivih energetskih izvora, da bi zamijenili fosilne izvore.

Iskoristiv potencijal obnovljivih energetskih izvora odgovara približno polovini današnjih energetskih potreba. Čak i dugoročno mora se i pri 100-procentnom iskorišćenju potencijala približno polovina energetske potreba pokriti fosilnim gorivima (sl. 4). Nafta i gas će i u doglednoj budućnosti zadržati svoj veliki značaj kao energetske izvori. Povišenje efikasnosti kod nafte i gasa nudi veliki potencijal za dostizanje ekonomičnog i klimatski povoljnog snabdevanja energijom. Pretpostavka za to je korišćenje visokoefikasne kondenzacione tehnike kod postojećih stambenih objekata, koja ima stepen korisnosti značajno iznad 98 % (svedeno na gornju toplotnu moć).

5. Ciljevi EU: 30:20:20

Komisija Evropske unije želi da smanji godišnju emisiju CO₂ u Evropi do 2020. godine za minimalno 20 procenata u odnosu na 1990. godinu. Na nivou EU emisija CO₂ treba da se smanji čak za 30 procenata. Nadalje, potrebno je da do 2020. godine udeo obnovljivih izvora energije poraste za 20 procenata, kao i da se potrošnja energije smanji ukupno za 20 procenata.

Razvoj na tržištu toplotne energije biće određen promenom strukture ka tehnologijama efikasnosti i tehnologijama koje koriste obnovljive izvore energije. Razvijene inovacije i tehnologije budućnosti obezbeđuju svoju konkurentnost dobrim izgledima za uspeh.

6. Rešenja koja rasterećuju okolinu

Stalno poboljšavanje mera koje štede resurse i okolinu predstavlja jedan od

bitnih elemenata razvojne filozofije. Efikasan tretman raspoloživih energetskih rezervi i smanjenje emisije CO₂ izrazi su tehničke sposobnosti inoviranja.

6.1 Efikasnost i supstitucija na strani proizvodnje energije

Pored konsekventnog sniženja energetskih potreba na strani potrošača energije, efikasnu polugu za trajno sniženje potrošnje fosilnih goriva i emisije CO₂ predstavlja supstitucija nafte i gasa obnovljivim energetskim izvorima i povišenje efikasnosti na strani proizvodnje energije. Posebno povećanim korišćenjem biomase mogu se iscrpiti značajni potencijali koji nastaju na taj način.

6.2 - Efikasnost

A. Blokvska energana

Jedna moderna gasna blokvska energana radi na principu kombinovane proizvodnje snage i toplote. Ona istovremeno daje struju i toplotu. Motor sa sagorevanjem pogoni električni generator. Proizvedena struja isporučuje se direktno u sopstvenu mrežu. Otpadna toplota motora, kao i toplota izduvnih gasova, iskorišćava se pomoću razmenjivača toplote za gejanje zgrade. Blokvska energana može da koristi prirodni gas i biogasa.

Proizvodnja struje: 594 MWh/godišnje, smanjenje emisije CO₂: 620 t/godišnje

B. Kondenzacioni kotlovi

Kondenzacionim sistemima se efikasnost dobijanja toplote iz gasa i nafte trajno povećava. Osnova za to je dobitak dodatne toplotne energije iz dimnih gasova. Zbog visokih zahteva koje korišćenje kondenzacione tehnike postavlja pred kotlovski materijal, razmenjivačke površine su izrađene od visokokvalitetnog nardajućeg čelika. Visokoefikasni kompaktni kondenzacioni kotlovi obezbeđuju stepen iskorišćenja od blizu 98 procenata (svedeno na gornju toplotnu moć). Oni su projektovani i za proporcionalnu upotrebu biogasa.

- Ušteda energije prirodni gas: 1.405 MWh / god
- smanjenje emisije CO₂: 320 t / god

C. Razmenjivači toplote dimni gasovi/voda (ekonomajzeri) za velike kotlove

Veliki kotlovi, koji po izboru mogu da rade na gas ili lož-ulje, opremljeni su razmenjivačima toplote dimni gasovi/voda (ekonomajzerima) radi korišćenja gornje toplotne moći goriva. U njima se dimni gasovi hlade toliko, da se vodena para kondenzuje. Toplota koja se na taj način oslobađa i niske temperature dimnih gasova obezbeđuju povišenje stepena iskorišćenja do 12 procenata.

6.3 Supstitucija

D. ORC (Organic Rankine Cycle) za struju i toplotu

Efikan kotao na drvene otpatke sa integrisanom parnom turbinom, osim toplote (1105 kW), daje i struju (191 kW). Na taj način se prilikom snabdevanja strujom samog pogona primenjuju obnovljivi vidovi energije.

- Manja potrošnja struje iz mreže: 1.455 MWh / god
- smanjenje emisije CO₂ 864 t / god
- Ušteda energije prirodni gas: 9.122 MWh / god
- smanjenje emisije CO₂ 2.076 t / god

E. Kotao na drvene otpatke sa Stirlingovim motorom za toplotu i struju

Kotao na drvene otpatke sa sa priključenim Stirlingovim motorom proizvodi do 75 procenata toplote (240 kW) i 11 procenata struje (35 kW) od biomase.

- Manja potrošnja struje iz mreže: 186 MWh / god,
- smanjenje emisije CO₂ 110 t / god
- Ušteda energije prirodni gas 2.020 MWh / god
- smanjenje emisije CO₂ 460 t / god

F. Dobijanje toplote od biomase

Korišćenjem jednog kotla na peoleta i jednog kotla na drvene otpatke u oblasti kapaciteta od 220 kW odn. 300 kW zamenjuje se toplotni izvor prirodni gas čvrstim gorivom (biomasa).

- Ušteda energije prirodni gas: 2.328 MWh / god
- smanjenje emisije CO₂ 530 t / god

G. Solarna energija za grejanje i klimatizaciju

Solarno postrojenje sastoji se od 70 cevni i ravnih kolektora. Priključena apsorpciona rashladna mašina

rashladnog kapaciteta 49 kW donosi kod 1.000 časova punog iskorišćenja godišnje uštedu od 14 MWh električne energije. Primenom modernog sorpcionog provetravanja štedi se dodatnih 55 MWh električne energije godišnje.

H. Korišćenje toplote tla i toplote okoline

Za korišćenje toplote iz prirode koriste se u fabričkom krugu osam toplotnih pumpi. One su povezane na pet vertikalnih sondi, koje dostižu dubinu od 100 metara. Iz njih, kao i od okolnog vazduha, dobijha se toplota ukupnog kapaciteta od 60 kW.

I. Dobijanje struje od solarne energije

Energija Sunca koristi se i za dobijanje struje. Ukupno 72 fotovoltaička modula sa polikristalnim ćelijama predstavljaju kapacitet od 19,3 kWe.

7. Pogled u budućnost – nafta i gas biće zeleni

Biomasa već danas ima udeo od 70 procenata u obnovljivim izvorima energije. Radi se o hemijskom izvoru energije, koji ne mora da se uvozi iz udaljenih krajeva sveta. Osim toga, za razliku od Sunca i vetra, na raspolaganju je uvek, a može se i skladištiti.

Biogas i bionafta biće uskori dodavani prirodnom gasu i lož-ulju. Pri tome je moguće kombinovati modernu kondenzacionu tehniku za lož-ulje i gas sa korišćenjem tečne i gasovite biomase kao izvora energije. Prednost: postojeća infrastruktura grejnih sistema može se i u toj varijanti nesmetano koristiti bez izmena.

Literatura

Dokumentacija firme Viessmann

Biodizel Putevi i stranputice

Rezime

Od 1975. godine traju razvojne muke programa metilestera masnih kiselina u Srbiji. Oleohemijsko preduzeće u izgradnji ALKAMIN iz Novog Bečeja ugašeno je posle petnaest godina postojanja. U vreme međunarodnih sankcija pokrenute su (i ubrzo potom) zaustavljene četiri fabrike i više malih pogona za dobijanje biodizela. U vreme bioenergetske euforije izgrađeno je i pušteno u pogon najveće postrojenje za proizvodnju biodizela u Šidu. U međuvremenu, traje spontana, ekološki značajna aktivnost na sakupljanju i preradi otpadnih biogenih masnoća.

Gljučne reči: Biodizel, glicerol, ekologija, energija, ekonomija, kriza, razvoj.

Abstract

Since 1975 is lasting development problem for program methyl esters of fatty acids in Serbia.

Oleo-chemical Company in the construction ALKAMIN from Novi Becej has been turned off after fifteen years of existence.

There were founded (and soon after that) stopped four factories and several small plants for producing biodiesel at the time of international sanctions.

In the period of bioenergetics euphoria it was built and started to work the biggest installation for producing biodiesel in Šid.

In the meantime, there is lasting spontaneous, environmentally significant activity in the collection and processing of waste bio-based fats.

Key words: biodiesel, glycerol, ecology, energy, crisis, development.

I

Istorijski razvoj oleohemijske industrije u Srbiji je respektabilan. Utemeljen je u tradicionalnoj, kućnoj i zanatskoj proizvodnji masti, ulja... sapuna. Pored razvijene uljarske i klanične industrije, značajni rezultati postignuti su u preradi masnoća iz klanične, uljarske, kafilerijske industrije, u proizvodnji masnih kiselina, glicerola i derivata, površinski aktivnih materija, oleohemijskih sredstava za mašinsku, tekstilnu, građevinsku industriju, za široku potrošnju. Vrhunac je trebalo da predstavlja realizacija projekta „Alkamin“.

Petogodišnjim investicionim planom (1975-1980) planirana je izgradnja oleohemijskog kompleksa u Banatu.

Preradom, većim delom, domaćih otpadnih sirovina - biljnih i životinjskih masnoća iz uljara, klanica, kafilerija i dr. proizvodilo bi se 40.000 tona dragocenih oleohemikalija, među kojima pažnju privlače modifikovane masne kiseline, destilisani masni alkoholi, N-derivati masnih kiselina, glicerol. U ovom projektu, prvi put se pominje proizvodnja alkilestra masnih kiselina u zemlji.

Oleohemijski – energetska, ekonomska i, u prvom redu, ekološki značaj ovog projekta je istorijski. Nažalost, nije realizovan. Tokom petnaest godina (!) izgradnje nacionalizovano je zemljište za lokaciju kompleksa, napravljena je biblioteka, uglavnom, prevaziđenih projekata, raspisan je tender za izbor

najpovoljnijeg ponuđača, da bi bio odabran Micubiši. I tu je nastao problem. Titoistički dogmatizovani komunisti iz Novog Bečēja nisu mogli da dozvole strancima da dođu do većinskog udela kapitala u samoupravnom preduzeću, 1990 godine! I došao je tranzicioni lom. Petnaestogodišnja oleohemijska industrija u izgradnji ugašena je. Uludo je utrošeno 5.000.000 dolara narodnog kapitala, a da nije ostalo baš ništa. Opštinska birokratija nije čak ni spoznala da su alkilestri masnih kiselina biodizel.

II

Oleohemijsku industrija, kao i privreda uopšte, prošla je tranzicionu krizu razvoja. Proizvodnja je smanjena, gubici su povećavani, pogoni zaustavljeni.

Međunarodne sankcije dovele su do radikalnih zaokreta u razvoju oleohemije. Naime, zabrana uvoza nafte i derivata, izvoza oleohemikalija, posebno ulja, otvara široke mogućnosti za razvoj industrije biodizela. Državna intervencija pospešuje takav trend. Obezbeđuje pravne, organizacione, ekonomske – marketinške uslove za proizvodnju više od 100.000 tona biodizela, tokom 1994/1995 godine.

U cilju ubrzanja procesa razvoja proizvodnje i potrošnje biodizela u zemlji, Vlada Republike Srbije, na sednici od 12 oktobra 1994. godine „ocenila je:

- da proizvodnja biodizela ima strateški i dugoročni značaj za Republiku Srbiju sa stanovišta poljoprivredne proizvodnje, deviznih ušteda, regulisanja viškova proizvodnje sirovog ulja i proizvodnje ekološkog goriva.
- da izgradnju novih kapaciteta za proizvodnju biodizela treba vezivati za prethodno iskorišćenje svih slobodnih kapaciteta za proizvodnju sirovog biljnog ulja u Republici Srbiji.

Vlada je zaključila:

1. U cilju obezbeđenja bilansa proizvodnje jestivih ulja i minimalne sigurnosti proizvođača i potrošača biodizela, odobrava se, počev od 1995. godine, proizvodna bilansna kvota od 50.000 tona biodizela za potrebe poljoprivrede.
2. Preporučuje se potencijalnim proizvođačima biodizela:
 - da kao osnovnu sirovinu za proizvodnju biodizela koriste uljanu repicu i da za svoj proizvod obezbede potrebnu atestnu dokumentaciju...
 - da proizvodnju biodizela i dalji razvoj tehnologije u ovoj

oblasti organizuju konzorcijski i jedinstveno za celu teritoriju Republike Srbije, oslanjajući se prvenstveno na domaći razvoj i da o tome izveštavaju resorne republičke organe.

3. Da Ministarstvo finansija, s obzirom na strateški značaj proizvodnje biodizela, ispita mogućnost dodatnih poreskih oslobođenja i olakšica proizvodnje biodizela.“

Konzorcijum za proizvodnju biodizela je osnovan 26. 10. 1994. godine, u Bariču. Cilj osnivanja Konzorcijuma je bio: „Proizvodnja 50.000. tona biodizela sa pratećim količinama nusproizvoda...“ Pred članicama Konzorcijama postavljali su se zadaci proizvodnje, potrošnje, primene biodizela i prerade nusproizvoda.

Radi efikasnosti formirano je stalno koordinaciono telo sa konkretnim pravima i obavezama. Sedište ovog foruma bilo je u Prvoj iskri Barič, koja je trebalo da pruža marketing logistiku Konzorcijumu. Predstavnik Prve iskre izabran je za direktora koordinatora. Stekli su se najpovoljniji uslovi za realizaciju velikog projekta. Zabrana uvoza nafte imala je za posledicu neelastičnu tražnju za motornim gorivima. Cene su uvišestručene. Na raspolaganju je bilo više od 120.000. tona sirovog biljnog ulja, dovoljno metanola i drugih sirovina. Desetine stručnjaka rade na projektovanju, rekonstrukcijama, izgradnji postrojenja, na definisanju optimalnih tehnologija za diskontinualnu i kontinualnu proizvodnju biodizela, lecitina, glicerola, masnih kiselina. U rekordnom roku, spremni su pogoni Prve iskre iz Bariča, Briksola iz Vršca, Hempra iz Šida i više zanatskih radnji. Osposobljeni su kadrovi.

III

Nažalost, u isto vreme, otvoren je prostor za širenje sive ekonomije. Mafija dobija krila. Birokratija je tajno, licemerno podržava. Zlo vreme rada teško breme. Špekulanti zakupljuju i sukcesivno otkupljuju više od 120.000 tona biljnog ulja i neznane količine metanola. Strateški program nije ostvaren. Od 100.000 tona biodizela predviđenih dvogodišnjim energetskim bilansom zemlje, proizvedeno je svega desetak hiljada tona. Sve ostalo biljno ulje, pod lažnim imenom „biodizela“, distribuirano je kombinatima, zadrugama, pumpnim stanicama. Tako se dizel mašine i kotlarne opskrbljuju surogot gorivom. Metanolom se snabdevaju benzinske pumpe. Anonimni ostvaruju ogromne profite. Pritom prave još veće štete.

Usled lošeg sagorevanja sirovog biljnog ulja, deponovanja ugljenika na osetljivih delove motora, dolazilo je do povećanja radne temperature, do oštećenja više hiljada, do havarisanja više stotina dizel mašina.

Umesto strateškog energetskog dostignuća decenije, usledila je bruka. Program biodizela je miniran. Biodizel kao nov proizvod, marketinški je kompromitovan u očima poljoprivrednika i prevoznika. Diskreditovani su mnogi stručnjaci, koji su, silom prilika, izdavali naloge da se koriste surogot goriva. Osramoćeni su naučnici koji su čitali, i još više oni koji su tezgaroški pisali „naučne“ radove o blagodetima korišćenja biljnog ulja kao dizel goriva. Diskreditovane su naučno istraživačke institucije, koje su, bez protesta, pravile kolekcije uzoraka lošeg, najgorog dizel goriva.

Velike poslovne gubitke pretrpeli su investitori, proizvođači pravog biodizela. Društvena zajednica je ostala bez planiranih prihoda. Oskudicama na tržištu jestivih biljnih ulja terorisani su potrošači. Najteže su oštećeni potrošači surogot biodizela. Ovajdila se energetska mafija.

Velikom neuspehu projekta biodizela doprineo je Konzorcijum, odnosno firme koje su dobile zadatak da biodizel proizvode. Jednostavno, nisu bili na visini zadatka.

Posebnu odgovornost imala je Prva iskra iz Bariča. Nesposobnošću i neaktivnošću rukovodstva ovog velikog kolektiva, pored ostalog, blokiran je i rad Konzorcijuma za biodizel.

IV

Sa ukidanjem embarga, cene nafte i naftinih derivata su pale. Proizvodnja biodizela je obustavljena, kao nerentabilna. Program biodizela je napušten, ali ne i zaboravljen.

Neuspešna biodizel kampanja imala je i dobrih strana. Tokom nje ostvareni su značajni inženjering i marketing rezultati. Osvojeno je više diskontinualnih i jedan kontinualan tehnološki postupak. Izgrađeno je više malih postrojenja. Rekonstruisane je nekoliko velikih hemijskih postrojenja za potrebe biodizel proizvodnje. Unapređen je kvalitet proizvodnje, kontrole i promene biodizela. Osposobljeno je mnogo desetina stručnjaka za izgradnju biodizel postrojenja, za rad u pogonima za dobijanje i kontrolu kvaliteta biodizela i nusproizvoda. Svi oni su bili uključeni u aktivnosti Jugoslovenskog društva za biodizel.

Jugoslovensko društvo je stručna, nevladina, neprofitabilna asocijacija.

Članovi Jugoslovenskog društva (bili) su stručnjaci Prve iskre Barič, Poljoprivrednog kombinata Beograd, Briksola Vršac, Hempra Šid, Naftne industrije Srbije, Hemijske industrije Novi Sad, Metanolno sirćetnog kompleksa Kikinda, Rivijere Kotor, ZR Kalisto Ada, ZR Aga-2 Čoka, Biopetrola Užice, ZR Ekoprimat Novo Miloševo, Hemka Beograd, Maconkai Senta, Bamensa Subotica, Bjelice Vrbas, Albusa Novi Sad, Merime Kruševac, Banata Nova crnja, Dunavke V. Gradište, Mladosti Šid, Goše iz Smederevske Palanke i drugih proizvođača i potrošača biljnih ulja, biodizela i glicerola.

Naročito veliki doprinos radu Društva pružili su naučnici Instituta za ratarstvo i povrtarstvo iz Novog Sada, Instituta Industrije motora iz Rakovice, Vojnotehničkog instituta Beograda, Instituta iz Vinče, Poljoprivrednih fakulteta iz Novog Sada i Zemuna, Mašinskih fakulteta iz Beograda, Niša i Kragujevca, Tehnoloških fakulteta iz Beograda i Novog sada i drugi.

Nesebičnu logističku podršku osnivanju i radu Jugoslovenskog društva za biodizel (pružali su), pružaju Ekološki pokreti Beograda i Novog Sada, Privredne komore Jugoslavije i Srbije, kao i Savez energetičara Jugoslavije.

Ravnopravni učesnici u aktivnostima Jugoslovenskog društva za biodizel jesu novinari gotovo svih medija, posebno Radio Beograda 202 i RTS 1.

Svi oni pregalački rade na unapređenju proizvodnje i potrošnje biodizela i nusproizvoda, na poboljšanju kvaliteta bioenergenata (posebno motornih goriva) i očuvanju životne sredine.

Na Osnivačkoj skupštini Jugoslovenskog društva za biodizel usvojeno je Pismo o namerama, u kojem, pored ostalog, piše: „Sedamdeset pet članova osnivača JDB pristupa osmišljavanju i realizaciji strateškog projekta „Vreme je za biodizel“ radi rekultivacije zaparloženih površina poljoprivrednog zemljišta, iskorišćenje kadrovskih i tehničkih kapaciteta prehrabne, oleohemijske i hemijske industrije; radi proizvodnje i potrošnje 70.000 tona biodizela (5 % od ukupne potrošnje dizel goriva) i 7000 tona glicerola do 2006. godine; cca 300.000 tona biodizela i 30.000. tona glicerola i nusproizvoda do 2016. godine.

Ekološki, energetske i ekonomske imperativi upućuju na nužnost prihvatanja politike ubrzane proizvodnje i potrošnje biodizela, obnovljivih, netoksičnih i biorazgradljivih energenata u zemlji.

Za uspešan transfer tehnologije i finansijskih sredstava u oblasti proizvodnje uljarica, ulja, biodizela, glicerola, stočne hrane... neophodan je ne samo intelektualni, nego i marketinški angažman članova JDB radi:

1. Intelektualne – marketing, inženjerig , konsalting podrške proizvođačima uljarica, ulja, biodizela, glicerola i nusproizvoda,
2. Sticanja naučnih i stručnih saznanja, transfera marketing informacija i propagandnog materijala o biodizelu i glicerolu,
3. Organizovanja stručnih savetovanja proizvođača i potrošača oleohemijskih produkata,
4. Unapređenje naučnog i stručnog rada u oblasti proizvodnje i potrošnje uljarica, ulja, biodizela, glicerola i nusproizvoda,
5. Koordiniranja aktivnosti svih učesnika u bioenergetskoj reprodukciji u poljoprivredi i oleohemijskoj inddustriji,
6. Izrade predloga propisa, specifikacije kvaliteta i standarda...“

U cilju realizacije prihvaćenih zadataka, Jugoslovensko društvo za biodizel i Ekološki pokret Beograd, uz medijsku podršku Radio Beograda 202, organizovali su naučno stručna savetovanja o biomasi u Beogradu (1995. godine), Čoki (1996), Sremskoj Mitrovici (1997.), Obrenovcu (1997), Šapcu (1997.), Novom Miloševu (1998); promocije biodizela u Beogradu (2001.), Novom Sadu (2002.) Subotici (2004.), Lazarevcu (2006.)...

Povodom prvog savetovanja, predsednik Jugoslovenskog društva za biodizel, akademik Nikola Pantić najlepše je ocenio aktivnosti Društva uopšte: „Izražavam izuzetno zadovoljstvo, što danas, uoči 5. Juna (1995.) – Svetskog dana ekologije – u Domu omladine Beograda mogu da otvorim ovo savetovanje pod motom: EKOLOGIJA – ENERGIJA – EKONOMIJA.

Zašto sam zadovoljan? Kada smo pre više od dvadeset godina u Akademiji počeli da širimo ideju o neophodnosti uspostavljanja sklada između industrijskog i ekološkog razvoja i razvoja prirode bilo je mnogo otpora i nerazumevanja. Sada, posele dvadeset godina, može se reći da je dosta učinjeno. Iako ne dovoljno. Danas imamo rezolucije – i zakone! – o zaštiti prirode, imamo ministarstva, i ministre; i mnogo toga drugog. Put do realizacije svega toga što danas imamo nije bio posut ružama, ali ni na daljem putu neće biti bez trnja. Međutim,

smatram da je ovaj današnji simpozijum jedan od značajnijih događaja na putu našeg mukotrpnog i dugotrajnog delovanja, jedan od znakova da je svest o neophodnosti svekolikog delovanja na uspostavljanju neophodnog sklada između ljudi i prirode doprla do pravog mesta. Zašto to kažem? „Barič“ i „Prva iskra“ su dugo bili 'crna mrlja' protiv kojih su svakodneвно izražavana negodovanja. I u tome su prednjačili članovi ekoloških pokreta i organizacija, posebno sredstva javnog informisanja – štampa, radio, televizija.

Danas, ovde, imamo na delu sasvim obrnutu situaciju. Pojedinci, baš iz „Prve iskre“, predvođeni entuzijastom i velikim pregaocem Romanom Mulićem, ruku pod ruku sa Ekološkim pokretima Jugoslavije i Radio Savom – Beograd 202, organizovali su ovaj simpozijum. Znači, u ovom slučaju pobedila je ideja pravog humanizma, najefikasnije oružje za usklađivanje prirodnog i ljudskog – duhovnog. Na delu je čojstvo Marka Miljanova, čojstvo – koje znači štititi drugog od sebe. Na delu je jedan novi kvalitet...“

Uspeh prvog savetovanja je bio ohrabrujući. Više od 120 učesnika (18 profesora univerziteta, 24 doktora nauka, 4 magistra, 55 inženjera, 17 novinara i dr. iz 17 društvenih i 10 privatnih preduzeća, 12 instituta i fakulteta, 13 redakcija, šest ekoloških pokreta, dva ministarstva) saslušalo je pet uvodnih i šesnaest prijavljenih referata i saopštenja na temu BIOMASA – bioenergetska reprodukcija u poljoprivredi, koji su objavljeni u Zborniku pod istim naslovom.

Trasiran je istraživački put uspeha ekološke, energetske i ekonomske optimizacije proizvodnje i potrošnje biodizela, glicerola i nusproizvoda, biogasa i eko đubriva, biobriketa, bioetanola i derivata. Istovremeno, deluje neformalni pokret protiv biodizela.

V

Tajkuni, distributeri biljnog ulja kao „biodizela“ nisu jedini krivci za „pomor“ dizel motora u zemlji, posebno u okrugu Bečej. Bez pomoći birokratije, prodavaca biljnog ulja i eksperata, oni ne bi mogli realizovati fatalni projekt.

Rešavajući problem nedostatka goriva, birokratija iz svih struktura poslovno – političkog lanca samozadovoljno se pravila nedodirljivom. Prodavci biljnog ulja bili su impresionirani povoljnijim cenama! Distributeri, takođe! Niko (ni tehnička intelecija) nije imao hrabrosti da istini pravovremeno pogleda u oči. Samim tim, ogrešili su se o pravne i moralne norme.

Stručnjaci za motorna goriva bili su upoznati sa pravim stanjem stvari. Imali su uzorke svih vrsta surogot dizela, posebno lažnog biodizela – biljnog ulja, koja su distribuirana na tržištu zemlje pod embargom. Nisu upozorili nadležne na kriminogene rabote. Nisu upoznali ugrožene poljoprivrednike, prevoznike – javnost. Šta više, direktno i/ili indirektno, minirali su projekat biodizela. Svesno ili ne, svejedno, činjenjem i ne činjenjem štitili su ilegalno tržište surogot goriva.

Pisali su stručne radove o podobnosti biljnog ulja za dizel motore. Davali su ateste kvaliteta surogot energentima. Promovisali su disrubiciju lažnog biodizela. Iistovremeno su pisali članke o lošem kvalitetu biodizela, o neizgrađenim tehnologijama, neadekvatnoj procesnoj opremi, neobučanim stručnjacima i radnicima u domaćim fabrkama.

Njima se pridružili grupa stručnjaka iz naftne industrije. Oni su napisali ekspertizu o domaćem biodizelu, „analizu stanja, potreba i naših mogućnosti za proizvodnju biodizela sa aspekta raspoloživih sirovina, enrgetike i ekonomike“, koju su kao „strgo poverljiv“ materijal dostavili neobaveštenim političkim moćnicima.

Umiven sažetak ove studije, referat „Biodizel – da ili ne?“ izložili su na Međunarodnom savetovanju YUNG – 1995, u Vrnjačkoj Banji. I dobili su nagradu!

Promociju ovog rada, pod istim provokativnim naslovom „Biodizel – da ili ne?“ prave i u Novom Sadu.

Tezgaroši u službi tajkuna obezvređivali su napore više desetina stručnjaka, koji su marketinški - tehnički, tehnološki i ekološki osmislili i realizovali projekat biodizela. Promovisali su štetnu praksu korišćenja biljnog ulja za pokretanje dizel motora, upotrebu otpadnih biogenih masnoća u energetske svrhe. Osudili su domaću biodizel industriju na višegodišnje mirovanje, na entropiju. Stvorili su neprobojan antimarketing biodizela.

Posle ukidanja embarga, sa niskim cenama dizel goriva i visokim cenama biljnih ulja iščezle su ekonomske pretpostavke za rentabilnu proizvodnju biodizela.

Trebalo je mnogo vremena, napornog rada i intelektualnih pregnuća da se prevaziđu gotovo nepremostive prepreke, da se stvore uslovi za nov početak ere biogoriva. Tome u prilog išla je iskristalisana istina razvijenog sveta o preporodu biomase kao energenta, o strateškom značaju biodizela, biogasa, bioetanola,

biobriketa za ekologiju, energetiku i ekonomiju modernog doba.

VI

Sa ukidanjem sankcija, kriminogena praksa nije prekinuta. Potrošnja otpadnih biljnih ulja ilegalno je usmerena na dizel motore, a potrošnja otpadnih masti na energane.

Nerešen problem uljnih taloga iz rezervoara biljnih ulja je zloupotrebljen. Umešni su odvajali biljna ulja od taloga. Ulja su prodavali kao dizel goriva. Posledice su poznate. Štete na tehnicima. Zagađenja vazduha opasnim materijama iz izduvnih gasova. Talog se baca na divlje deponije i u vodotokove. Bez stručne kontrole ubacuje se u stočnu hranu.

Ekološki problem otpadnih biogenih masnoća se zaoštava. Njihova produkcija u uljarskoj, klaničnoj, prehrambenoj, kafilerijskoj industriji raste, a potrošnja u proizvodnji stočne hrane, glicerola, masnih kiselina i derivata opada. U međuvremenu, zabranjena je proizvodnja stočne hrane od masnoća koje sadrže biohemijske otrove. Demontirane su fabrike glicerola, masnih kiselina i derivata.

Posebno je opasna kriminogena praksa reciklaže otpadnih biogenih masnoća, koje sadrže opasne biohemijske materije, i njihovo vraćanje u lanac ishrane. Krajem prošlog veka, otpadne biogene masnoće su masovno korišćene za proizvodnju stočne hrane, posebno koncentrata. U tu svrhu prikupljana su ulja iz restorana, pržionica, pekara, domaćinstava, iz klanica pa i kafilerija. Konačno, zabranjena je takva potrošnja otpadnih biogenih masnoća, onemogućeno je vraćanje opasnih, pa i kancerogenih materija u lanac ishrane.

Zahvaljujući Mc Donaldsu Srbija i ZR Ekoprimatu iz Novog Miloševa, i u Srbiji je prihvaćen, 1995. godine, moderan koncept sakupljanja otpadnih biljnih ulja, radi hemijske destrukcije. Alkoholizom triglecerida, od oleohemijskog balasta na ekonomski racionalan, ekološki prihvatljiv, legalan i legitiman način dobijeni su metilestri masnih kiselina – biodizel. Mukotrpnim pionirskim radom sakupljano je, odnošeno i na propisan način lagerovano korišćeno biljno ulje iz sve većeg broja restorana, pržionica, pekara... Tokom proklele decenije, pregaoci Ekoprimata savladali su ekološki nelojalnu konkurenciju, uspostavili su mrežu za sakupljanje otpadnog jestivog ulja u čitavoj zemlji.

Od prikupljenog otpadnog ulja, u uslovima zanatske proizvodnje, pravljen je biodizel. Uspešno su snabdevani

nepoverljivi poljoprivrednici i prevoznici. Bez ekscesa i reklamacija stečeno je poverenje kupaca. Otvoren je marketinški prostor za rešenje problema otpadnih, korišćenih jestivih ulja. A njih nije malo. Procena je mađarske firme Biofilter da se u Srbiji može sakupiti oko 5.000 tona otpadnih biljnih ulja. To je realna procena.

Doduše, ako se ima u vidu standard građana, potrošnja jestivih ulja mogla bi se očekivati i veća produkcija otpadnog biljnog ulja. I čitavih 10.000 tona. U više od 7000 javnih objekata (restorana, pekara, pržionica, picerija, palačinkarnica, čevabdžinica, ribarnica i sl.) može se, zaista, prikupiti 5000 tona korišćenih jestivih ulja. No, to nije ni jednostavno ni lako. Broj sitnih proizvođača korišćenih jestivih ulja, rasutih po čitavoj zemlji je ogroman. Predstavlja više od 90 % od ukupnog broja generatora ovog otpada. Da bi se otpadne masnoće od njih sakupile, potrebna su znatna investiciona, poslovna, finansijska sredstva, neuporedivo veća od mogućih prihoda.

Sakupljanje teorijski procenjenih, pa i empirijski utvrđenih 10.000 tona korišćenih jestivih ulja u Srbiji nije moguće u doglednoj budućnosti. Da bi se sakupilo ulje iz domaćinstava neophodan je suptilni mareketing, neophodna je moderna organizacija, uz svesrdnu podršku društvene zajednice, potrebna su ne mala finansijska sredstva.

Energetski značaj otpadnih, korišćenih jestivih ulja je gotovo minoran. Primaran je ekološki značaj. Sa stanovišta zaštite životne sredine, posebno vodotokova neophodno je prikupljanje otpadnih biljnih ulja. Zahvaljujući dosadašnjoj aktivnosti ekologa, potrošnja otpadnih biljnih ulja za dobijanje koncentrata stočne hrane je svedena na najmanju moguću meru, mešanje ovih ulja sa fosilnim dizelom je gotovo prestalo...

Ako se ima u vidu premalen postotak (cca 10 %) sakupljenih otpadnih jestivih ulja, postavlja se pitanje, šta se dešava sa ostalim delom otpadnih biljnih ulja? Odgovor je poznat. Završava u kanalizaciji, u vodotokovima! Pravi se ogromna šteta. Mnogo veća nego što se može zamisliti! Jer količina od par hiljada tona otpadnih biljnih ulja bačenih u vodotokove je prividno beznačajna u odnosu nemerljivo velike količine vode. Međutim, one su dovoljne da pokriju površinu vode filmom masnoća. Troškovi njihovog uklanjanja iz vode namenjeni ljudskoj, pa i industrijskoj upotrebi su neuporedivo veći od troškova ekološkog zbrinjavanja sveukupnih količina otpadnih biljnih masnoća.

energija

I u ovoj oblasti, ekološko ponašanje se veoma isplati.

Istovremeno, savremeni ekološki propisi sankcionišu nelegalan promet otpadnih biljnih masnoća. Propisuju njihovu obaveznu karakterizaciju i kategorizaciju. Nalažu vođenje propisane evidencije i poštovanje utvrđene procedure. Definišu uslove za sakupljanje, transport, lagerovanje i preradu, hemijsku destrukciju otpadnih biljnih ulja, proizvodnju visokovrednih oleohemikalija.

Tokom deset godina strpljivih, upornih nastojanja entuzijasta, led je probijen. Otvoren je marketing prostor za ekološki tretman rasutog masnog otpada. Sa donošenjem Uredbe o upravljanju otpadnim uljima (Sl. Glasnik broj 60/2008.) broj registrovanih firmi opredeljenih za sakupljanje otpadnih jestivih ulja je udesetostručen. Sve one su krenule i utabanim putevima „konkurentske“ borbe za „obećani“ profit. Nažalost, sa manje ili više uspeha, novoformirane firme se agresivno pojavljuju na tržištu bez propisane tehnoekološke dokumentacije

Ironija sudbine je interdisciplinarna inspekcijaska zabrana rada pionirske firme koja jedina u kontinuitetu više od deset godina legalno sakuplja i preraduje otpadna biljna ulja! Pritom, jedina ima neophodne papire za sakupljanje otpadnih biljnih ulja, jedina je predstavljena na sajtu Agencije za reciklažu...

VII

Sa izgradnjom postrojenja za proizvodnju 100.000 tona biodizela godišnje, u Šidu vezivane su, s pravom, velike nade. Prva moderna fabrika biodizela u zemlji mogla je biti motor razvoja industrije biodizela, oleohemije uopšte.

Ogromni prirodni i radom stvoreni potencijali u proizvodnji uljarica, u Viktoriji ojl mogli su naći optimalnu valorizaciju.

Nažalost, problemi globalnog marketinga ugušili su svekolike nade domaće oleohemije. Proizvodnja biodizela od domaćeg biljnog ulja bila je onemogućena kretanjem ponude i tražnje na tržištu hrane i energenata. Loši cenovni trendovi doveli su do zatvaranja fabrike biodizela u Šidu, još jednog neuspeha biodizel programa.

VIII

To je bio i ostao razlog više, da se sve snage usmere na realizaciju alternativnog oleohemijskog i bioenergetskog programa zasnovanog

na biootpadu sa stočarskih farmi i poljoprivrednih domaćinstava, iz klanične i kafilerijske industrije. Kako? Tradicionalni oblici tretmana ovog otpada su prevaziđeni i opravdano napušteni. U tranzicionim uslovima, novi oblici teško nalaze prostor za pravovremen razvoj.

Umesto nekontrolisanog bacanja po divljim deponijama, pored puteva, u vodotokove... ekološki imperativi ukazuju na nužnost kategorisanja, planskog sakupljanja, na obavezu pravovremenog uklanjanja, preradiavanja i spaljivanja otpadnih biogenih masnoća.

Biootpad I kategorije (biohemijski sumnjivi ostaci iz klanica... leševi obolelih životinja) treba da se sakuplja, transportuje, predaje sabirnim centrima radi čuvanja (rashladne komore u Vršcu), odnosno kafilerijama radi spaljivanja (Sombor, Čuprija). Pored spaljivanja biootpada, koji sadrži uzročnike opasnih bolesti, savremene kafilerije mogu proizvoditi vodenu paru... elektroenergiju.

Biootpad II kategorije ide na dalju preradu. Treba da se koristi za dobijanje biogasa i komposta, tehničkih masnoća koje se hidrolizom prevode u masne kiseline i glicerinsku vodu, odnosno alkoholizom u alkilestre masnih kiselina (biodizel) i sirovi glicerol.

Otpadne biogene materije III kategorije predstavljaju dragocene sirovine i energente. Neprerađene, nericiklirane jesu epizootiološki, ekonomski i ekološki problem.

Ispravan put za prevazilaženje ovog problema trasirala je fabrika AIK „Bačka Topola“ RJ Žibel iz Bačke Topole. To je jedina fabrika za preradu otpadnih proizvoda iz klanične industrije (kategorije 3) u zemlji, izgrađena po propisima Evropske Unije.

U novo projektovanim i izgrađenim postrojenjima, omogućena je proizvodnja 7.500 tona mesno-koštanog brašna, 1400 tona krvnog brašna i 5000 t tehničke masti godišnje.

Valorizacija tehničkih masnoća nije rešena. Planirani izvoz još nije ostvaren. Deo predstavlja energent, spaljuje se u kotlarnici... Trajno rešenje je u programiranoj proizvodnji metilestera masnih kiselina – biodizela, električne i toplotne energije, s jedne strane, i sirovog glicerola, odnosno masnih kiselina i glicerinske vode, neotrovnog antifrizu i gliceriskih lekovitih-energetskih koncentrata za preživare, s druge strane.

Literatura

- 1) Biomasa, Zbornik radova, beograd, 1995.
- 2) Dokumentacija konzorcijuma za biodizel, Barič, 1995.
- 3) Proizvodnja i korišćenje biodizela, Studija, Ministarstvo za nauku Republike Srbije, 2004.
- 4) Vreme je za biodizel, JUNG, Zbornik radova, 2002.
- 5) Mogućnost proizvodnje i korišćenja biodizela u Vojvodini, VANU, Novi Sad, 2008.

Mogućnost povećanja energetske efikasnosti mikro hidroelektrana malih vodozahvata primenom inovirane cevne turbine

1. Uvod

Mikro hidroelektrana (MHE) Zvezdan na Crnom Timoku priključena je na distributivnu mrežu 2006. godine. Zbog poznatih problema sa dobijanjem dozvola, niske prodajne cene energije iz obnovljivih izvora i mnogih drugih nerešenih problema, MHE je građena nekoliko godina. Pri tome, projektom [1] je predviđeno da se ona gradi u više faza. Trenutno je sagrađena prva faza MHE koja ima 40 kW instalisane snage. U očekivanju stimulativnih cena proizvedene energije iz obnovljivih izvora, koje će vlada doneti tokom 2009. godine, došlo se na ideju da se druga i treća faza izgradnje uradi po izmenjenom projektu, gde će se klasična mašinska zgrada MHE zameniti vertikalnom civi koja je utemeljena i zavarena za kućište cevne propelerne S turbine [2]. U takvu vertikalnu cev smešta se generator i mehanički prenos između turbine i generatora. Ovakva konstrukcija je moguća s obzirom na to da je postojeća brana niska i da se turbina može montirati direktno na branu. Postojeća betonska brana, na kojoj je sagrađena MHE (slika 1) je visine 1,5 m i u ranijem periodu korišćena je za napajanje vodom, sada ugašene, termoelektrane a zatim za sistem za navodnjavanje. Sagrađena MHE bi mogla da se primeni kao model za druge slične lokacije sa vrlo niskim vodenim padom [3,4,5]. Cilj rada je da se izvrši upoređenje ovog inoviranog rešenja i klasične MHE sa mašinskom zgradom.

2. Projektovanje i izgradnja mikro hidroelektrane

Prema hidrološkim podacima, srednji godišnji protok u koritu Crnog Timoka je 11,5 m³/s. Urađen je Glavni

Rezime

U radu se daje tehno-ekonomska analiza investicionih i godišnjih troškova izgradnje mikro hidroelektrane sa inoviranom cevnom turbinom koja se montira direktno na branu i sadrži dodatak na kućištu u vidu vertikalne cevi u koju se smešta mehanički prenos i generator. Vertikalna cev zamenjuje mašinsku zgradu elektrane. Proračunati troškovi se upoređuju sa troškovima odgovarajuće klasične turbine sa mašinskom zgradom. Na konkretnom primeru mikro hidroelektrane na Crnom Timoku razmatra se mogućnost dogradnje inovirane turbine i proizvodnje dodatne električne energije iz preostale energije vodozahvata, koja nije iskorišćena.

Ključne reči: mikro hidroelektrana, cevna turbina, niska brana, mali vodozahvat.

Increasing the Odds for Power Efficiency of Micro-Hydro Power Plants with Small Forebay Tanks by Application of an Innovative Water-Pipe Turbine

This paper presents a techno-economic analysis of investments and annual costs needed for building of a micro-hydro power plant with an innovative water-pipe turbine that is foresaw for direct installation on weirs. The water-pipe turbine includes a supplement on its shroud as a downpipe in which are placed mechanical transmission and generator. This downpipe replaces a machine-building of the micro-hydro power plant. Forecasted costs are compared to prices of an appropriate typical turbine and the machine-building. An out housing solution for the innovative turbine and additional electric power producing from residual water energy in the forebay tank are represented by concrete example of the micro-hydro power plant constructed on the Crni Timok River.

Key words: micro-hydro power plant, water-pipi turbine, low weir, small forebay tank.

projekat mikro hidroelektrane [1] kojim je predviđena ugradnja tri cevne propelerne S turbine, od kojih je jedna sa prečnikom radnog kola 1 m i dve sa prečnikom radnog kola 1,25 m. U prvoj fazi projekta predviđena je ugradnja jedne turbine prečnika radnog kola 1 m (slika 2a).

Sagrađena je mašinska zgrada prve faze sa pratećim objektima (slika 2b). Zgrada je pribranskog tipa, tj vezana je za postojeću branu kao jedna celina. Sa druge strane, prema lokaciji MHE u odnosu na rečni tok ona je zalivnog tipa (van osnovnog rečnog korita).

Pošto je denivelacija postojeće brane mala, $H = 1,5$ m (sa predviđenim dodavanjem pokretnih ustava, $H_{\max} = 2,5$ m.), hidrostatički pritisci su mali, pa je bilo moguće mašinsku zgradu postaviti u telo postojeće betonske brane. Ovakvo rešenje, pribransko postrojenje sa propelernim turbinama, smanjuje troškove ulaganja i troškove eksploatacije u odnosu na druga moguća alternativna rešenja.

U brani, na ulazu u mašinsku zgradu, ugrađena je ulazna čelična cev turbine prečnika 1,4 m. Izlazna sifonska čelična cev postepeno prelazi u difuzor koji čine

Slika 1 Fotografija sagrađene MHE i postojeće brane sa dograđenim ustavama na njoj



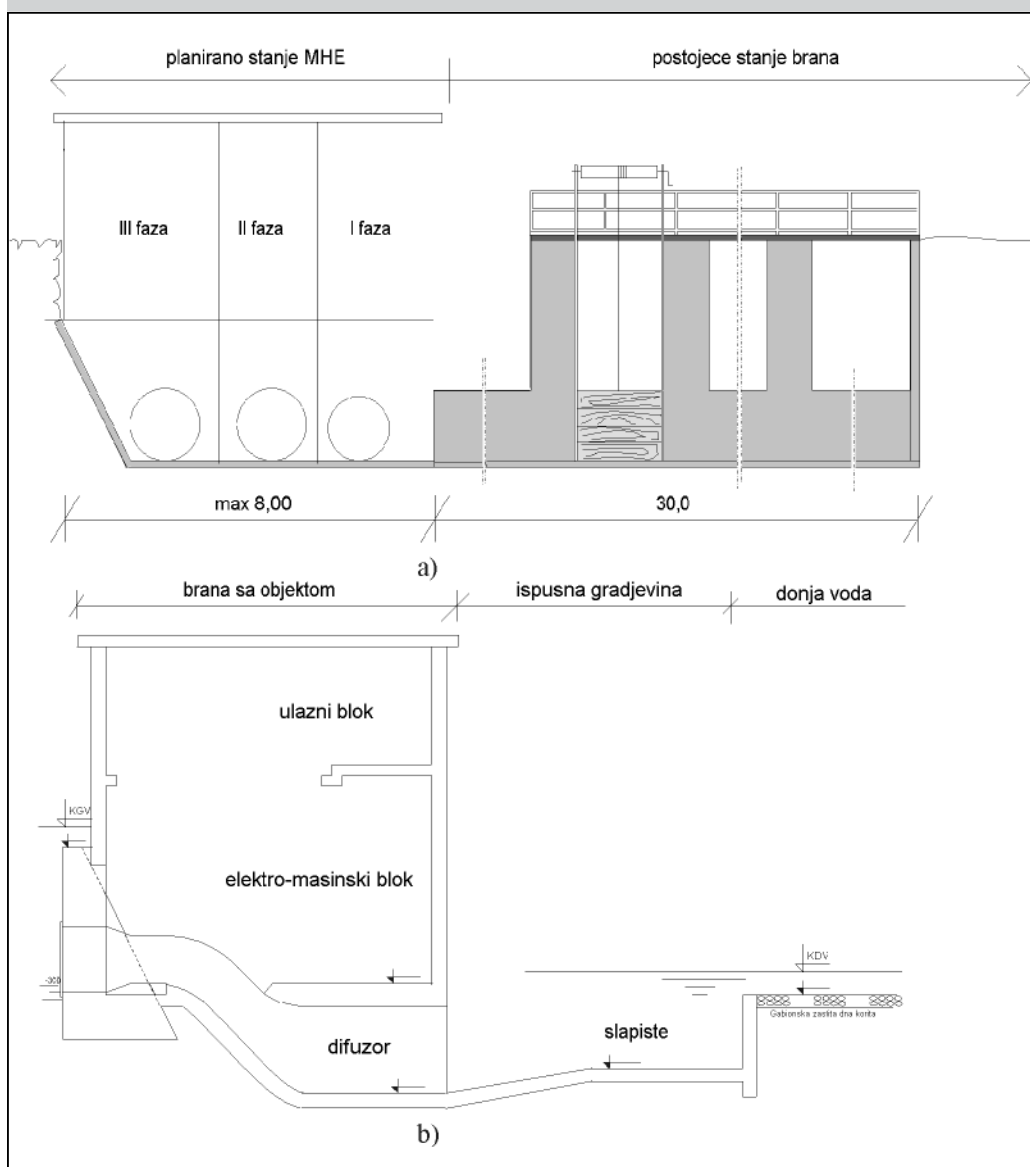
betonski zidovi zgrade. Na ulaznoj cevi i na izlazu difuzora postavljeni su ravni zatvarači. Ispred ulaznog zatvarača postavljena je rešetka.

Na izlazu iz mašinske zgrade urađena je izlazna građevina koja omogućava da se režim izlazne vode svede na režim tečenja u osnovnom koritu. Izlazna građevina se sastoji od: slapišta difuzora, risberma sa završnim zubom, nizvodnog obezbeđenja korita kamenom u betonu, razdeobnog zida prema reci i prema delu izlazne građevine koja je predviđena za drugu fazu izgradnje. Na spoju celokupnog kompleksa objekta MHE sa obalom sagrađena je obaloutvrda radi uređenja i stabilizovanja obale rečnog korita od erozije. Obaloutvrda je u obliku betonskih zidova visine nivoa srednje velike vode.

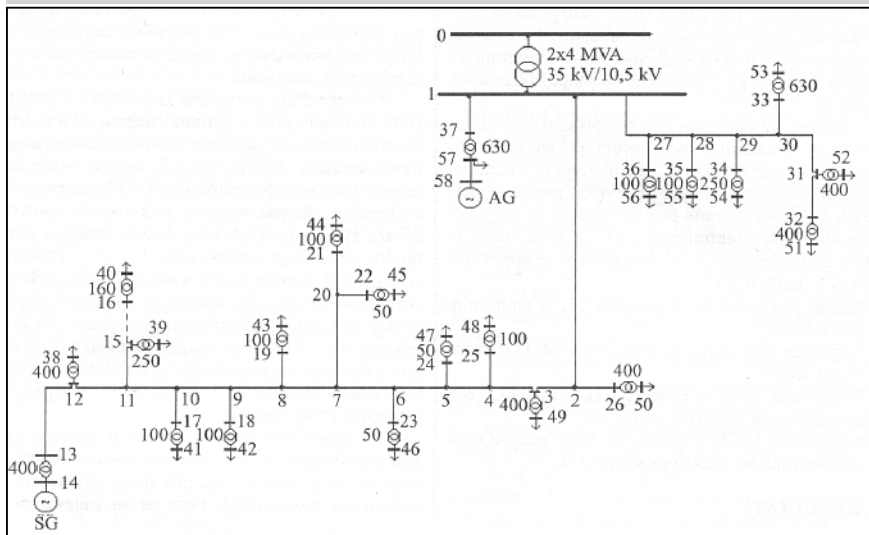
Prostor ulazne građevine služi kao vodna komora na prelazu vode iz slobodnog tečenja u cev turbine. Na ulazu u ovaj prostor urađen je betonski bočni preliv. Dno ovog prostora je niže od donje ivice cevi turbine, tako da se dospeli mulj povremeno čisti.

U sagrađeni objekat montirana je oprema: cevna propelerna S turbina; asinhroni generator snage 42 kW i sinhrona brzine obrtanja 750 min^{-1} ; mehanički prenos u vidu remenica sa pljosnatim kaišem, prenosnog odnosa 1:4. Razvodni i merni ormani su smešteni na betonskoj ploči iznad generatora, tj u gornjoj prostoriji u koju se ulazi sa obale. U ormanimu je smeštena rasklopna, merna i zaštitna oprema. U donjem delu ormana smeštene su kondenzatorske baterije za kompenzaciju reaktivne snage. Sa sabirnica mernog ormana polazi kabl tipa PP 00-A $4 \times 95 \text{ mm}^2$ koji je položen po unutrašnjem zidu mašinske zgrade. Kabl je, dalje, položen u postojećoj cevi $\varnothing 300 \text{ mm}$ koja je postavljena na stubovima iznad brane. Na suprotnoj obali je transformator 10/0,4 kV, snage 100 kVA postavljen na stubu 10

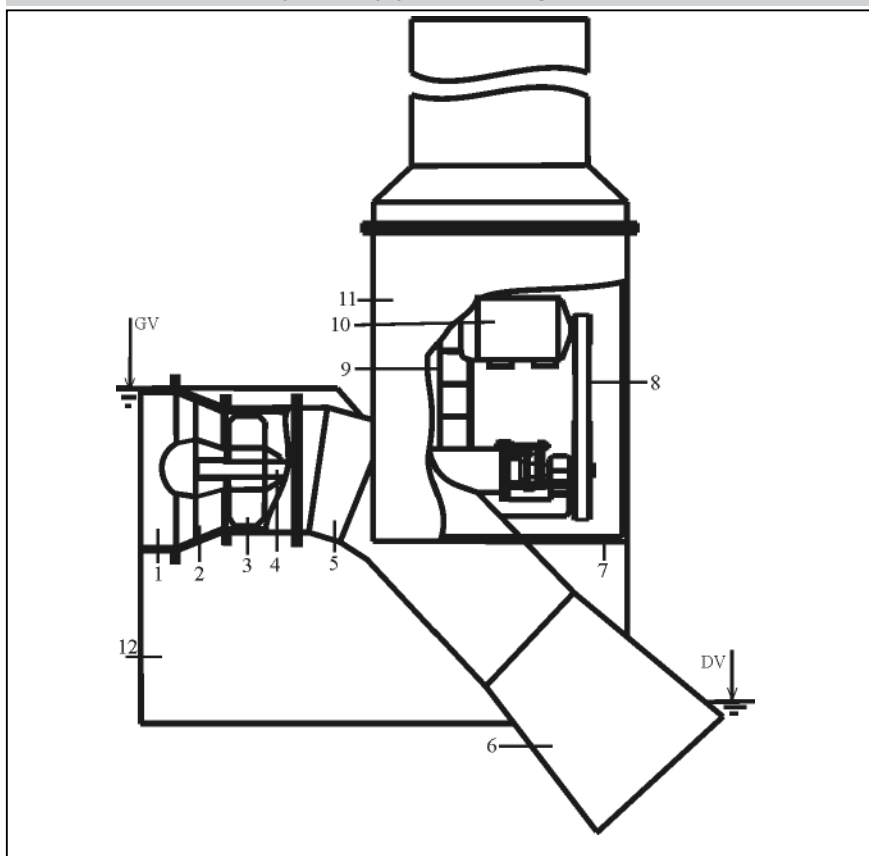
Slika 2 Skica vertikalnog preseka projektovane MHE. a) Pogled nizvodno; b) Pogled sa strane.



Slika 3 Distributivna mreža ED Zaječar, područje Zvezdan-Gamzigrad sa priključenom MHE, 40kW.



Slika 4 Presek cevne turbine postavljene na maloj brani, sa dodatkom u vidu vertikalne cevi koja zamenjuje mašinsku zgradu



1 – Ulazna cev; 2 – Sprovodni aparat; 3 – Radno kolo (propeler); 4 – Vratilo turbine; 5 – Kučište turbine; 6 – Difuzor turbine; 7 – Dno vertikalne cevi; 8 – Prenos preko remenica i kaiša; 9 – Merdevine; 10 – Asinhroni generator; 11 – Vertikalna cev, zavarena za kučište turbine; 12 – Gornja voda; DV – Donja voda.

kV voda. Od kraja cevi do trafo stanice kabl je položen u rovu. Ukupna dužina kabla je 60 m.

MHE je priključena na distributivnu mrežu ED Zaječar na području Zvezdan-Gamzigrad (slika 3), na koju je priključena još jedna MHE snage 160 kVA. Snaga kojom sagrađena MHE radi posle ove prve faze izgradnje iznosi 40

kW. U drugoj fazi se predviđa ukupna instalisana snaga od 100 kW.

3. Inovirana cevna propelerna turbina

Novo rešenje [2] dogradnje postojeće MHE predviđa montažu cevne propelerne S turbine direktno na branu, između postojeće mašinske

zgrade i rečnog toka. Cevna S turbina, prečnika radnog kola 900 mm, koja je konstruisana za tu namenu (slika 4), sadrži dodatak u vidu vertikalne cevi za smeštaj mehaničkog prenosa i generatora. Vertikalna cev se dodatno utemeljuje uz slapište brane i učvršćuje uz postojeću mašinsku zgradu. Na taj način ona zamenjuje dograđenu mašinsku zgradu. Način montaže turbine sa dodatnom vertikalnom cevju (slika 4) na branu omogućuje eliminaciju dovodnog cevovoda ili kanala, mašinske zgrade i ulazne i izlazne građevine MHE. Time se dobija objekat sa boljim ekonomskim pokazateljima u odnosu na objekat koji bi se dogradio na klasičan način (sa mašinskom zgradom i pratećim ulazno-izlaznim delovima). Na taj način se dobija rešenje koje može da se primeni i na drugim lokacijama sa ekstremno malim padovima (ispod 2,5 m) i koje ima bolje tehnno-ekonomske pokazatelje u odnosu na klasična rešenja izgradnje MHE.

4. Troškovi izgradnje MHE sa klasičnom i inoviranom cevnom turbinom

U tabeli 1 date su sve vrste troškova izgradnje MHE Zvezdan i isti su upoređeni sa troškovima koji se očekuju pri izgradnji MHE sa inoviranom turbinom. Uočava se da se investicioni troškovi pri izgradnji MHE sa inoviranom turbinom znatno smanjuju i iznose 55% u odnosu na troškove izgradnje klasične MHE iste snage. Razlog tome je što su u slučaju inovirane turbine eliminisani troškovi mašinske zgrade, ulazne i izlazne građevine. U oba slučaja su predviđeni troškovi postavljanja pokretnih tablastih ustava na postojećoj betonskoj brani, za podizanje nivoa vode.

Troškovi po jedinici proizvedene energije iznose 0,09 EUR/kWh za klasičnu MHE u 0,05 EUR/kWh za MHE sa inoviranom turbinom.

Troškovi po jedinici instalisane snage padaju sa 1700 EUR/kW, za slučaj klasične MHE, na 950 EUR/kW za slučaj MHE sa inoviranom turbinom.

5. Zaključak

Inovirana cevna propelerna turbina [2] sa horizontalnim vratilom, koja je konstruisana i namenjena za montažu na niske brane, sadrži vertikalnu cev kao dodatak, u koju su smešteni generator i mehanički prenos. Ovakva konstrukcija turbine omogućuje njeno montiranje direktno na branu i znatno smanjenje investicionih troškova u odnosu na klasična rešenja jer eliminiše potrebu

Tabela 1 Troškovi izgradnje MHE Zvezdan snage 40 kW upoređeni sa predviđenim troškovima izgradnje MHE iste snage sa inoviranom turbinom.

Investicioni troškovi mikro hidroelektrane instalisane snage 40 kW	Troškovi EUR		Troškovi %	
	Sa klasičnom turb.	Sa inoviranom turb.	Sa klasičnom turb.	Sa inoviranom turb.
1. Planiranje i projektovanje Projektovanje, hidrološka studija, merenja na lokaciji, prethodna studija izvodljivosti, studija izvodljivosti, tehnička kontrola projekta, dozvole, stručna literatura.	2000	2000	3	5
2. Rukovođenje i finansije Formiranje preduzeća (radnje), troškovi za obezbeđenje finansija, pravna pomoć i osiguranje, obuka rukovodioca	1000	1000	1,5	2,5
3. Dovodna cev	0	0	0	0
4. Ostali građevinski radovi Tablaste ustave na brani, ulazna građevina, izlazna građevina, mašinska zgrada, obaloutvrda, priprema gradilišta, prilazi i putevi, ostalo	36000	6000	53	16
5. Elektro-mehanička oprema Turbina, generator, razvodni orman, ostalo.	20000	20000	29,5	53
6. Prenos električne energije Kablovi, transformator, unutrašnja instalacija.	5000	5000	7,5	13
7. Alat, oprema	1000	1000	1,5	2,5
8. Nepredviđeni troškovi	3000	3000	4	8
Ukupni investicioni troškovi	68000	38000	100	100
Godišnji troškovi				
1. Fiksni godišnji troškovi eksploatacije i održavanja Troškovi zarade osoblja za manipulaciju i održavanje, obuka osoblja za manipu - laciju i održavanje, stručnjaci za remont (pregled), troškovi održavanja, ostalo.	1000/god	1000/god.	6,5	10,5
2. Promenljivi godišnji troškovi Rezervni delovi, alat, materijal, saveti stručnjaka, zamena opreme, drugo	500/god	500/god	3	5
3. Nepredviđeni godišnji troškovi	500/god	500/god	3	5
Procenjeni ukupni godišnji troškovi	2000	2000	13	21
Investicioni troškovi izraženi kao godišnji troškovi*	13500/g	7500/g	87	79
Ukupni godišnji troškovi	15500	9500	100	100
Faktor opterećenja	0,5	0,5		
Troškovi po kWh proizvedene električne energije	0,09/kWh	0,05/kWh		
Troškovi po jedinici instalisane snage***	1700/kW	950/kW		

*Investicioni troškovi izraženi kao godišnji troškovi, I_{god} , izračunati su iz izraza:

$$I_{god} = I \cdot \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$$

gde su: I – ukupni investicioni troškovi; i – godišnja stopa aktualizacije (u ovom slučaju je uzeto $i = 15\%$); n – broj godina trajanja elektrane (uzeto je $n = 10$ godina).

**Troškovi po jedinici proizvedene električne energije, c_w , su:

$$c_w = \frac{\text{ukupni godišnji troškovi}}{P_{inst} \cdot 8760 \cdot k}$$

gde su: P_{inst} – instalisana snaga (40 kW); k – faktor opterećenja (u ovom slučaju iznosi 0,5).

***Troškovi po jedinici instalisane snage, c_p , određeni su deljenjem ukupnih investicionih troškova sa instalisanom snagom.

za izgradnjom mašinske zgrade, ulazne i izlazne građevine. Primena ove turbine omogućuje iskorišćenje malih vodozahvata sa niskim branama (visine ispod 2,5 m), koji su ostali neiskorišćeni zbog potrebnih visokih investicionih troškova u odnosu na moguću količinu proizvedene električne energije. U konkretnom primeru dogradnje postojeće MHE snage 40 kW urađen je projekat sa predloženom inoviranom turbinom a realizacija istog je u toku. U ovom primeru, predviđa se smanjenje investicionih troškova ugradnjom inovirane turbine na 55% u odnosu na klasično rešenje. To znači da je jedinična cena energije koja omogućuje povraćaj uloženog kapitala za 10 godina 5 evrocenti umesto 9 evrocenti, koliko bi bilo potrebno za klasičnu izgradnju.

Literatura

- [1] M. Jevtić, "Glavni projekat mikro hidroelektrane na levoj obali Crnog Timoka na k.p. br. 8157/5 KO Zvezdan – elektro deo", 2003.
- [2] M. Jevtić, A. Todorović i Ž. Milenović: "Uređaj za proizvodnju električne energije na branama sa ekstremno malim padovima", Patentna isprava broj 992 U, Savezni zavod za zaštitu intelektualne svojine, Beograd, 2008.
- [3] M. Jevtić: "Razvoj modela mikro hidroelektrane na postojećoj brani sistema za navodnjavanje na Crnom Timoku", Izveštaj o realizaciji projekta broj ----- Ministarstvo nauke Republike Srbije, 2006.
- [4] M. Jevtić: "Development a micro hydro power scheme at the weir on Black Timok", Thermal Science, Vol. 11 (2007), No. 4, pp 157-164.
- [5] M. Jevtić: "Mikro hidroelektrana "Jevtić" na Crnom Timoku – od ideje do realizacije", 28. Savetovanje JUKO CIGRE, Zbornik radova, Vrnjačka Banja, 30. Septembar do 5. Oktobar 2007.
- [6] A. Harvey: "Mycro Hydro Design Manual", Intermediate Technology Publications, Southampton Row, London, 2000.

Zahvalnica

Autori se zahvaljuju Ministarstvu nauke Republike Srbije na finansiranju projekta pod nazivom "Istraživanje 16 mikro hidroelektrana u slivnom području Timoka u cilju povećanja njihove energetske efikasnosti", u okviru koga je nastao ovaj rad.

Milivoj Mehandžić, dipl. ing. maš.
mr Budo Jovanović, dipl. ing. teh.

UDC: 665.72.004.4

Skladište tečnog naftnog gasa i postrojenje za proizvodnju mešanog gasa kao alternativno rešenje za rešavanje špica potošnje prirodnog gasa

Abstrakt

Prirodni gas i kao tehnološka sirovina i kao energent u Evropi se sve više troši. Isporuka gasa od proizvođača gasa, Rusije, do potrošača gasa u Evropi, transportuje se kroz više magistralnih gasovoda, koji prolaze kroz Ukrajinu i Belorusiju. Do Srbije prirodni gas prolazi i preko teritorije Mađarske. Protok gasa kroz cevovode je ograničen njihovom protočnom moći i usled velike potrošnje cevovodi postaju usko grlo i ograničavajući faktor u razvoju gasne privrede. U zimskim mesecima kada se sabere tehnološka i energetska potrošnja gasni sistemi su na granici izdržljivosti. Podzemna skladišta gasa su pomoćna ali spasonosna rešenja za prevazilaženje špiceva potrošnje. Šta raditi kada ona ne postoje? Kako obezbediti da gasni sistem funkcioniše kada nema dovoljno prirodnog gasa? Odgovor na to daje nam skladištenje tečnog naftnog gasa, proizvodnja mešanog gasa (sintetički prirodni gas ili SNG) i njegovo upumpavanje u gasni sistem u špicevima potrošnje.

ključne reči: prirodni gas, mešani gas, sintetički prirodni gas, podzemno skladište za prirodni gas, skladište tečnog naftnog gasa, postrojenje za proizvodnju mešanog gasa, potrošač gasa, špic potrošnje, neutralisanje špica potrošnje

Abstract

Natural gas, both as technological material and as fuel, is being more and more used in Europe. The delivery of gas from its producer- Russia to its consumers in Europe is being held through several main gas pipelines, which go through Ukrania and Belarus. Gas to Serbia comes through the teritory of Hungary, as well. The flow of gas through pipelines is limited by their circulating power, due to high expediture pipelines become bottleneck and limiting factor in the development of gas economy. In the winter months, when technological and energy consumptions are gathered, gas systems are on the age of endurance. Underground storages are helpful but salvational solutions in consumption peak shaving. How to make sure that the gas system is functioning well when there is not enough of natural gas? The answer to that question is in liquid petrol gas storages, propan-air mixed gas (synthetic natural gas or SNG) producing and its pumping into the gas systems during the consumption peak.

Key words: natural gas, propan air mixed gas, synthetic natural gas, natural gas underground storage, liquid petrol gas storage, propane peak shaving plant, gas consumption, consumption peak, consumption peak shaving.

Skladište tečnog naftnog gasa i postrojenje za proizvodnju mešanog gasa kao alternativa za neutralisanje špica potošnje prirodnog gasa

Prirodni gas, kao industrijska sirovina i kao energent, troši se preko cele

godine. Hemijska i druga industrija koja koristi prirodni gas u tehnološke i energetske svrhe, troši ga u toku godine ravnomerno i kontinualno. Veliki potrošači gasa kao energenta, javne gradske kotlarnice za sistem daljinskog grejanja i tzv. široka potrošnja

energija

kod stanovništva, troše ga izuzetno neravnomerno, zimi 90% a leti 10% godišnje potrošnje. Potrošnja gasa u zimskim uslovima direktno je srazmerna spoljnoj temperaturi i brzini vetra. Što je temperatura niža i ide do -10 C i manje, potrošnja je enormno veća, a dodatno je povećava i zimski vetar koji se probija kroz nezaptivene stare prozore i vrata ili velike staklene površine modernih arhitektonskih građevina.

Kada se u zimskim mesecima slože i saberu industrijska potrošnja, delimično uvećana za sopstvene energetske potrebe i potrošnja gasa za daljinsko grejanje i široka potrošnja kod stanovništva, pojavljuju se tzv. špicevi potrošnje u kojima se javlja manjak prirodnog gasa. Tada ceo gasovodni sistem, slicno elektro sistemu, dolazi u krizu i usled naglog sniženja pritiska u cevovodnoj mreži, dolazi do isključenja, namernog ili slučajnog, prvo većih a zatim i svih drugih potrošača. Dodatni problem uvećava kriza u međudržavnim odnosima najvećeg isporučioaca prirodnog gasa i najvećeg transportera prirodnog gasa, a koji se dva puta desio u zadnje četiri godine i to usred zimske sezone i u špicovima potrošnje.

Kao način za prevazilaženje navedenih problema u Evropi se koriste podzemna skladišta prirodnog gasa. U toku letnjih meseci u podzemna skladišta utiskuje se prirodni gas dopremljen sistemom gasnih cevovoda od isporučioaca gasa, a zatim se taj gas u zimskim mesecima, za potrebe neutralisanja špiceva potrošnje, ponovo vraća i upumpava u sistem magistralnog cevovoda. Na ovaj način se dolazi i do dodatnog rešenja za neravnomernu godišnju potrošnju gasa, jer se gas od isporučioaca preuzima leti kada se manje troši, kada nema velike energetske potrošnje. Između isporučioaca i potrošača prirodnog gasa, isporuka gasa se ugovara na bazi kontinualne godišnje potrošnje, a svaka dodatna isporuka, naročito u zimskim mesecima se naknadno plaća sa penalima. Pored toga, često se dešava da ni tehnički ne može da se isporučiti dodatna potreba za gasom ili zbog male propusne moći cevovoda ili zato što gasa nema.

Gradnja podzemnog skladišta prirodnog gasa nije stvar dobre volje, nego zavisi od geoloških uslova u podzemlju. Duga su i skupa podzemna ispitivanja veličine i kapaciteta skladišta, a često se ono nemože tačno ograničiti i garantovati da upumpani gas neće migrirati na drugu teritoriju. Javljaju se neminovni gubici u skladištenju upumpane količine gasa. Poseban problem je i visina investicije za izgradnju podzemnog skladišta.

Ako država nema svoje podzemno skladište, postoji mogućnost da se takvi kapaciteti zakupe u drugoj državi. Međutim pateći trend povećanja potrošnje prirodnog gasa u svim državama Evrope, koju ne prati gradnja cevovoda za dopremu gasa i podzemnih skladišta za gas, da se zaključiti da praktično nema slobodnih kapaciteta. Ako se isti delimično negde i obezbedi, cena zakupa je izuzetno visoka. Na ovaj način eventualno mogu da se obezbede samo dodatne količine gasa po dodatno višoj ceni, koja u godišnjem proseku kao objektivni trošak, podiže cenu za krajnjeg potrošača gasa.

Obzirom da diskontinualna potrošnja prirodnog gasa može biti ograničavajući faktor razvoja gasne privrede, razvoja gasne mreže i potrošnje („što da je gradiš kada nemaš gasa kada je najpotrerbniji „?), postavlja se pitanje da li postoji neko drugo tehno-ekonomski prihvatljivo rešenje navedenog problema?

Odgovor na to pitanje daje nam primena mešanog gasa kao energenta! Šta je mešani gas?

Mešani gas je mešavina tečnog naftnog gasa (propana) i vazduha u srazmeri : 45 % propana i 55% vazduha. Mešani gas spada u IV grupu gasovitih goriva, prema standardu JUS H.F.1.001, tzv. smeša vazduha i ugljovodonika proizvedenih od tečnih naftnih, odnosno zemnih gasova.

U Americi se mešani gas na bazi propana i vazduha naziva sintetički prirodni gas (SNG) i služi za zamenu ili dopunu prirodnog gasa.

Kako se priprema i koristi mešani gas?

Jedna komponenta mešanog gasa je tečni naftni gas (TNG = propan). TNG se skladišti u nadzemnom rezervoaru u tečnom stanju. Da bi se napravio mešani gas, TNG mora da se prevede u gasno stanje pomoću uređaja, tzv. isparivača gasa. Ispareni TNG ulazi sa jedne strane u mešnu komoru. Sa druge strane u istu mešnu komoru ulazi vazduh koji se ubacuje pomoću vazdušnog kompresora. Na ulaznim vodovima i za vazduh i za TNG nalaze se tzv. proporcinatori, kojima upravlja elektronski kalorimetar, montiran na kraju mešne komore. Pomoću kalorimetra koji meri toplotnu moć smeše u mešnoj komori, dobija se kvalitet smeše u odnosu 45 % (TNG) : 55 % vazduha. Toplotna moć ove smeše je 14,3 kW/m³, na p= 1,0 bar-a i t = 15 C. Na izlazu iz mešne komore montira se merno-regulaciona stanica koja

meri količinu gasne smeše i reguliše izlazni gasni pritisak. Mešani gas se pomoću gasnog kompresora utiskuje u gasni cevovod. Mešavina mešanog gasa i prirodnog gasa, ulazi u distributivnu gasnu mrežu i razvodi se do industrijskih postrojenja, gradskih kotlarnica i do potrošača, kroz ulice naselja do kućnih gasnih priključaka (KGMRS).

Koji su i kakvi potrošači mešanog gasa?

Distributivna gasna mreža kroz (ispod) ulice naselja, velike gasne kotlarnice, kućni merno-regulacioni set i kućne gasne instalacije, u svemu su iste kao i kod prirodnog gasa. Takođe, i svi potrošači gasa su potpuno isti.

Šta je potrebno za gasifikaciju naselja mešanim gasom?

Za gasifikaciju naselja prirodnim gasom mora postojati sistem magistralnih, regionalnih i dovodnih gasovoda i priključak na gasovod. Za gasifikaciju mešanim gasom potrebno je izgraditi nadzemno skladište sa rezervoarima za TNG (propan), pretakalište gasa, gasnu –isparivačku stanicu, kompresorsku stanicu za vazduh i merno-regulacionu stanicu, koja meri protok mešanog gasa i reguliše pritisak na ulazu u gasnu mrežu za prirodni gas. U okviru skladišta mora postojati i rezervoar protiv-požarne vode sa pumpnom stanicom, a obezbeđenje tehničke vode vrši se iz gradskog vodovoda ili iz bunara vode. Veličina skladišta, odnosno broj rezervoara za TNG može se rešiti centralno za kompletan gasovodni sistem jedne države ili regionalno, podeljeno po distributerskim preduzećima i broju i kapacitetu potrošača koje snabdevaju gasom. Veličina i kapacitet skladišta za TNG zavisi od veličine naselja ili područja koje pokriva distributersko preduzeće. Za početak dovoljan je i jedan rezervoar, a zatim u zavisnosti od povećanja broja potrošača povećava se i kapacitet skladišta. Za potrebe navedene instalacije, uzimajući u obzir protiv-požarne propise i bezbedonosna rastojanja, potrebna je površina od 0,7-1,0 Ha. Mašinski deo skladišne instalacije : isparivač gasa, kompresor vazduha i gasna kotlarnica, mogu biti kontejnerskog tipa. Doprema TNG u skladište može biti ili autocisternama ili vagoncisternama u zavisnosti od lokacije.

Izvori snabdevanja TNG

TNG (propan –butan) dobija se ili iz naftnih bušotina, kao nuz proizvod

energija

sirove nafte ili kao nuz proizvod prilikom rafinacije sirove nafte u rafinerijama. Srbija ima sopstvenu proizvodnju TNG oko 50.000 t/god. Potrošnja TNG-a u Srbiji u 2008 god bila je oko 380.000 t. Razlika između proizvodnje i potrošnje se uvozi. Uvoz je slobodan, opterećen akcizom od 10%. Cena gasa se formira tržišno, u zavisnosti od ponude i potražnje. Uglavnom prati cenu nafte, fazno pomerenom jedan do dva meseca. U Srbiji postoji deset i više firmi koje se bave uvozom i plasmanom TNG-a. Izvoznici TNG na mediteranu su: Libija, Alžir, Egipat, Azarbejdžan i Rusija.

Ukupni kapacitet skladišta za TNG potreban za neutralisanje zimskih špiceva potrošnje

Srbija troši oko 10.000.000.000 m³/god prirodnog gasa. Od toga, oko 8% je domaće proizvodnje a ostalo se uvozi iz Rusije preko gasovodnog sistema Ukrajine i Madjarske. Špic potrošnje prirodnog gasa je oko 20 dana, krajem decembra i pocetkom januara meseca. Za peglanje spica potrošnje potrebno je oko 1.000.000.000 m³ prirodnog gasa, ili oko 8.500.000.000 kW. Adekvatna kolicina propana u tonama je

660.450 t. Ako se za skladištenje koriste nadzemni ležeci rezervoari zapremine 340 m³ (americka verzija naših rezervoara od 250 m³, produženih) u koje se skladisti oko 250 t/kom propana, broj rezervoara je 2.642 kom. Cena rezervoara u masovnoj proizvodnji je oko 95.000 E/kom, pa je ukupno potrebna budžetska procena investicije oko 250.000.000 evra. Navedeni iznos treba uvećati za 10-15%, na ime skladišnih instalacija. Skladišta se mogu praviti na više mesta, sukcesivno prema finansiskim mogućnostima.

Proizvodnju, uz neznatan uvoz elektronskih komponenata, i montažu rezervoara i pratećih instalacija može da radi srpska metalna industrija Rok izgradnje skladišta kapaciteta oko 30.000 t traje oko 9 meseci.

Uz adekvatnu logistiku i dinamiku dopreme TNG, kapaciteti skladišta se mogu upola smanjiti.

Po kojim tehničkim i zakonskim osnovama se radi gasifikacija mešanim gasom u Srbiji ?

Mešani gas spada u IV grupu gasovitih goriva prema standardu JUS H.F1.001, tzv. smeša ugljovodonika i vazduha, proizvedena od tečnih naftnih, odnosno zemnih gasova.

Izgradnja skladišnih rezervoara za TNG i izgradnja isparivačko-

kompresorske i merno – regulacione stanice, vrši se u skladu sa PRAVILNIKOM O IZGRADNJI POSTROJENJA ZA TNG i o USKLADIŠTENJU i PRETAKANJU TNG-a i PRATEĆIM TEHNIČKIM PROPISIMA (Sl.list SFRJ br. 24/1971 i 26/1971).

Izgradnja distributivne gasne mreže radi se u skladu sa PRAVILNIKOM o TEHNIČKIM NORMATIVIMA za PROJEKTOVANJE i POLAGANJE DISTRIBUTIVNOG GASOVODA od POLIETILENSKIH CEVI za RADNI PRITISAK od 4 bar-a (Sl. List SRJ 20/1992).

Izgradnja kućnog gasnog priključka vrši se u skladu sa PRAVILNIKOM o TEHNIČKIM NORMATIVIMA za KUĆNI GASNI PRIKLJUČAK za RADNI PRITISAK do 4 bar/a. (Sl. List SRJ br. 20/1992)

Izgradnja unutrašnjih gasnih instalacija i ugradnja i upotreba trošila na gas vrši se u skladu sa PRAVILNIKOM O TEHNIČKIM NORMATIVIMA ZA UNUTRAŠNJE GASNE INSTALACIJE (Sl. List SRJ br. 20/1992).

Inostrana iskustva

Svoj problem u snabdevanju prirodnim gasom, pored uvoza istog iz Argentine, pomoću sintetičkog prirodnog gasa resio je glavni grad Čilea, Santjago de Čile koji je u okolini grada izgradio nekoliko skladišta i postrojenja, kojim se snabdeva sam grad i okolna naselja; u Americi grad Springfield u drzavi Misuri, koji ima vise od 80.000 priključaka široke potrošnje i izraziti godišnji diskontinuitet u potrošnji sa dva špica, zimskim i letnjim, izgradio je 2007 god. skladište od 2.400 t propana i postrojenje za mešani gas i ugovorio takvu dinamiku dopreme gasa, do 50 autocisterni na dan, da mogu da prate dnevnu potrošnju gasa u špicevima. U Americi, Južnoj Americi i Kini, izgradjeno je vise od 200 postrojenja za proizvodnju sintetičkog gasa, ili kao potpuna zamena za prirodni gas ili kao dopuna i mešavina prirodnog i sintetičkog gasa.

PROBLEMS REGARDING THE RUNNING OF AIR DOUBLE FLUX TURBINES

Adriana Sida MANEA
 University "Politehnica" of Timisoara
 Bd. Mihai Viteazu nr.1, 0256403722,
 E-mail: adrianasida@yahoo.com
<http://www.mec.upt.ro>

Daniel Catalin STROITA
 University "Politehnica" of Timisoara
 Bd. Mihai Viteazu nr.1, 0256403722,
 E-mail: stroita_daniel@yahoo.com
<http://www.mec.upt.ro>

UDC: 621.224.004

ABSTRACT

Wind turbines become very popular in the last years, but on the other way the developing of wind micro turbines presents a growing interest. Because, the energy density of the wind is small, the efficiency of the main part of a wind turbine is very low. The production costs became relatively high. The double flux wind turbine is useful for low power air-electrical settlements, having high torque characteristics and low velocity ones and a very simple structure. It can be used in large wind velocities zones.

This article propose air-dynamic studies on thin profiles, used at wind double flux turbines, using the theoretical method o. Popa for getting the energetically characteristics.

KEYWORDS

Wind turbine, double flux, cross- flow, AC 25 airfoil.

INTRODUCTION

The high necessity for valuating the renewable and non pollutant energy took to the developing of wind micro turbines. Because the density of wind energy is small, the efficiency of the main part of a wind turbine is very low. The production costs are relatively high and this is why we put the problem for collecting more winds and like this appears the double flux wind turbine.

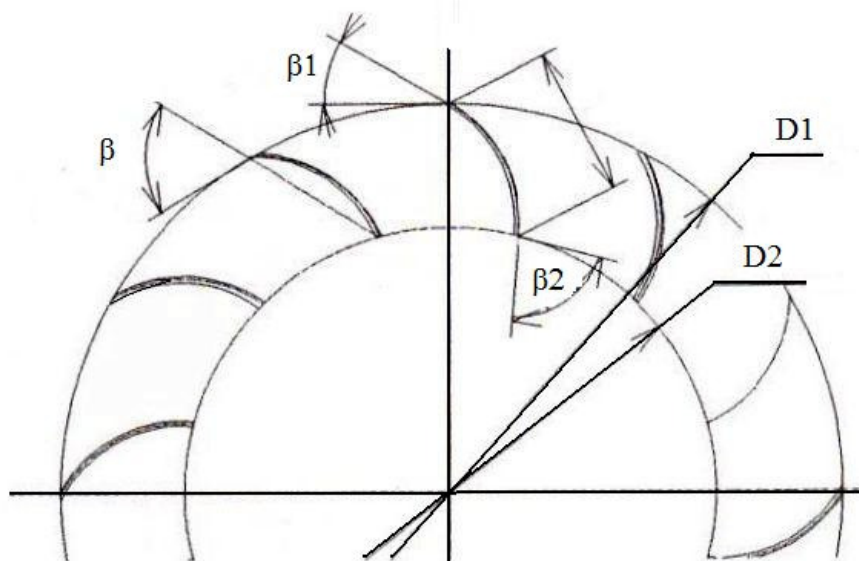


Fig. 1. Airfoil AC 25 network

The double flux wind turbine has high torque characteristics and low velocity ones and a very simple structure. It can be used also in zones with high wind velocity, zones in which the classical wind turbines can not run.

The runner of wind turbines has a relatively simple geometry and the blades are of arc circle form. We propose to obtain the energetic characteristics for some thin airfoils (AC 25) of pronounced curvature situated in an airfoil network AC 25, using the Professor Octavian Popa method.

OCTAVIAN POPA METHOD

The method of Prof. O. Popa allows to determine the energetic characteristics of the airfoils of known geometry, theoretically and the airfoil modification in order to obtain the optimum energetic characteristics. The method has at basis the method of conformal mapping.

Starting from a known geometry, is approximated the blade contour through a trigonometric polynomial. The polynomial degree depends of the precision with which is wanted the approximation and can be: 6, 12, 24, etc.

Using the relations:

$$X = \frac{1}{2} + X_L(\psi) \tag{1}$$

$$Y = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^N [a_n \cos(n\psi) + b_n \sin(n\psi)] \tag{2}$$

is transposed the circles network in an airfoils network. The network characteristics results from the singularization of the network, obtaining the coefficients of approximation trigonometric polynomial of the plate airfoil. The network was approximated through a 6 order trigonometric polynomial.

Once established the network contour, approximated through trigonometric polynomial, the method permits the calculus of pressure and velocity distribution and of lift and moment coefficients.

THE DOUBLE FLUX TURBINE BLADE

The airfoils network considered is a curve plates network having the airfoil geometry presented in fig.2

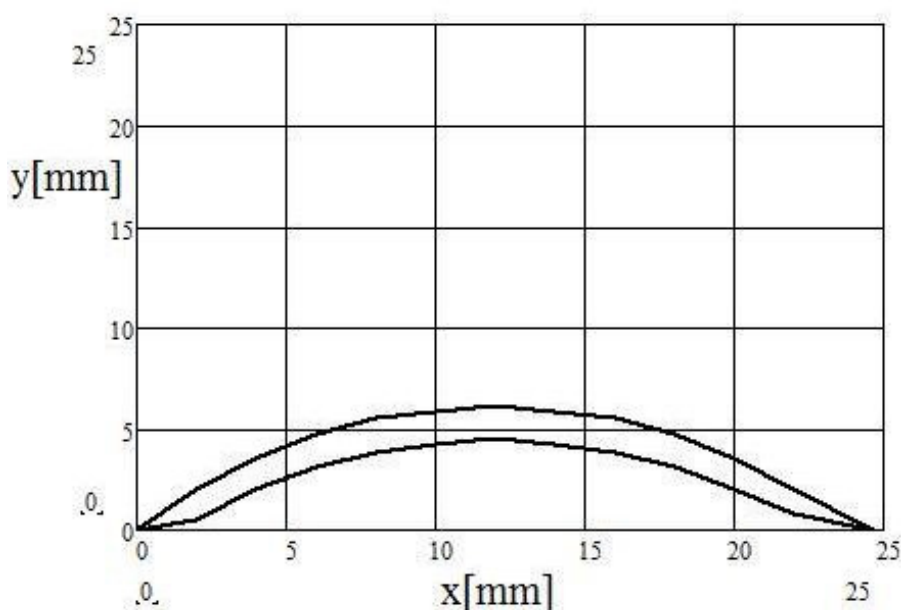


Fig.2. The real contour of AC 25 airfoil

With the relations:

$$a_n = \frac{1}{N} \sum_{p=0}^{2N-1} Y_p \cos\left(p \frac{n\pi}{N}\right) \quad (3)$$

$$b_n = \frac{1}{N} \sum_{p=0}^{2N-1} Y_p \sin\left(p \frac{n\pi}{N}\right)$$

are obtained the coefficients of the trigonometric polynomial which approximates the considered geometry. In fig. 3 are presented superposed the real geometry and the one resulted through an approximation with a 6 order trigonometric polynomial.

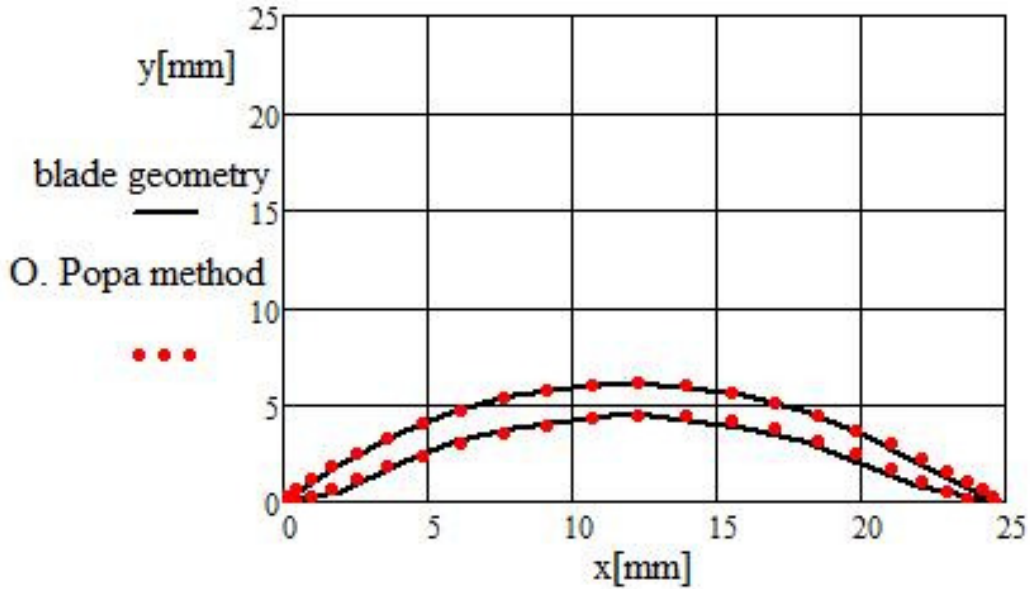


Fig.3. The real and approximated contour of AC 25 airfoil

Applying O. Popa relations :

$$C_p = 1 - \left(\frac{v_t}{v_\infty}\right)^2 \quad (4)$$

in which

$$\frac{v_t}{v_\infty} = f(\alpha, \varphi, a_n, b_n) \quad (5)$$

it was obtained the pressure distribution on blade. In fig. 4 and 5 are presented the pressure distribution for incidence angles $\alpha=0^\circ$ and $\alpha=-5^\circ$ obtained through O. Popa method. The lift and torque coefficients are obtained through analytical equations started from the coefficients of the trigonometric polynomial which approximates the thin airfoil.

$$C_A = C_{A0} \cos \alpha_\infty + C_{A1} \sin \alpha_\infty,$$

$$C_{A0} = 4\pi Y'(0),$$

$$C_{A1} = 2\pi[1 + 2Y'(0)]. \quad (6)$$

$$C_M = C_{M0} + C_{M20} \cos(2\alpha_\infty) + C_{M21} \sin(2\alpha_\infty),$$

$$C_{M0} = \frac{1}{4}(C_{A0} + a_0 C_{A1}),$$

$$C_{M20} = \frac{1}{4}(C_{A0} - a_0 C_{A1} + 4\pi a_1), \quad (7)$$

$$C_{M21} = \frac{1}{4} \left[C_{A1} + a_0 C_{A0} - \pi \left(1 - 4 \sum_{n=1}^6 n(a_n^2 + b_n^2) \right) \right].$$

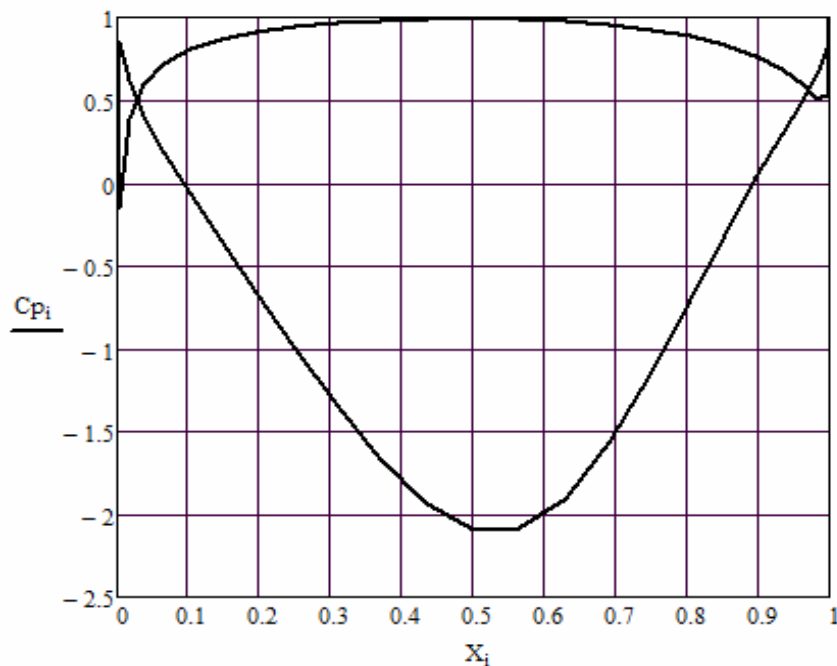


Fig.4. Pressure distribution on contour of AC 25 airfoil for $\alpha=0^\circ$

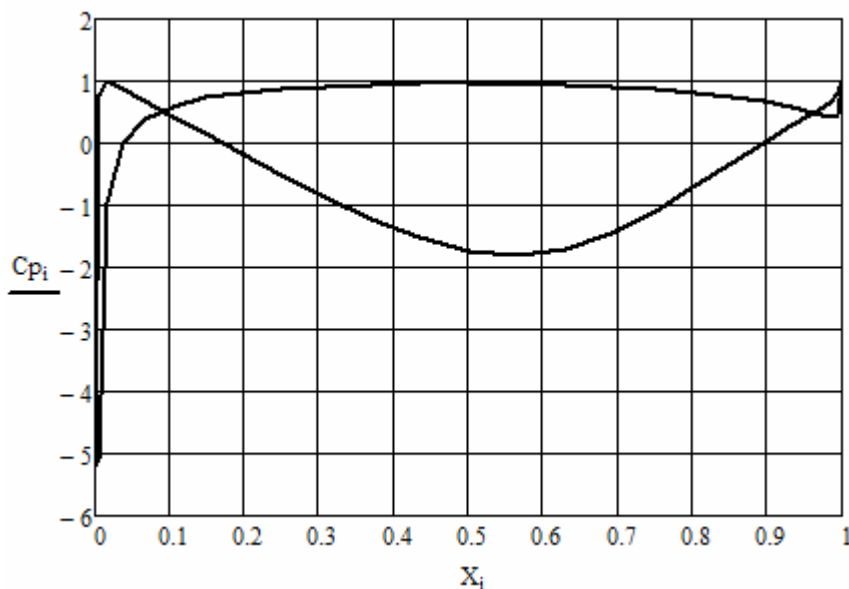


Fig.5. Pressure distribution on contour of AC 25 airfoil for $\alpha=-5^\circ$

For different incidence angles the lift coefficient calculated through O. Popa method compared with the experimental results, is presented in fig. 6.

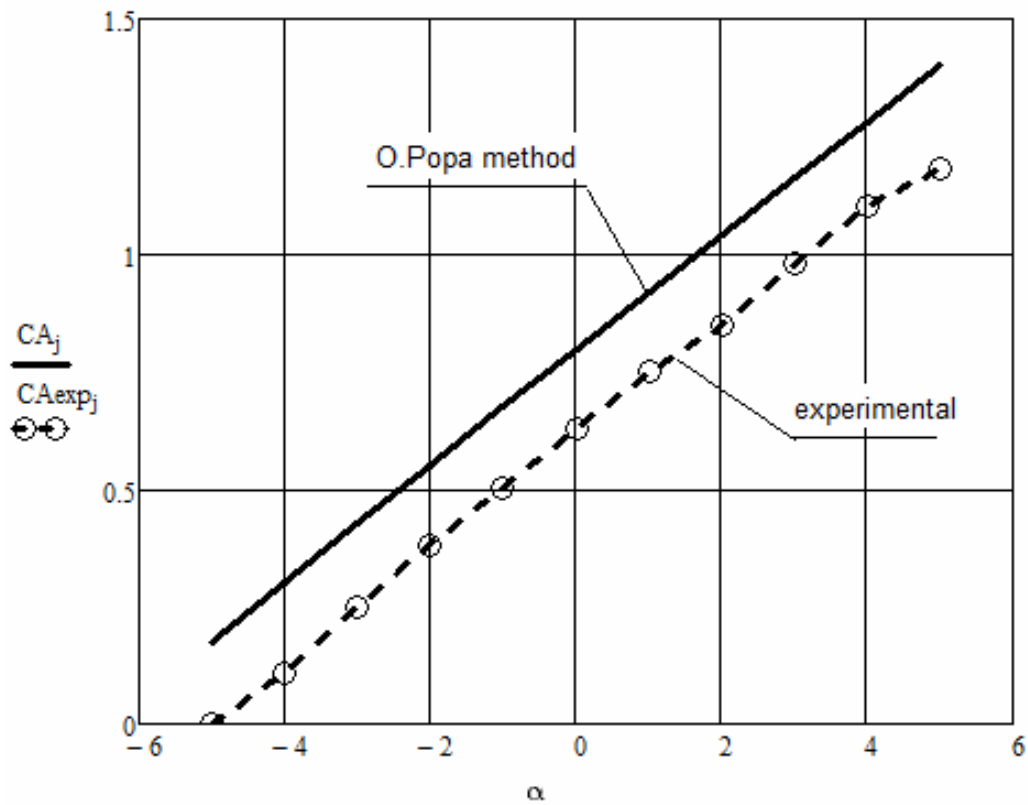


Fig. 6. The comparison between the lift coefficient obtained through O. Popa method and the measured one

The lift coefficient of the AC 25 airfoil in the interval 0-360° calculated with O. Popa method is presented in fig. 8.

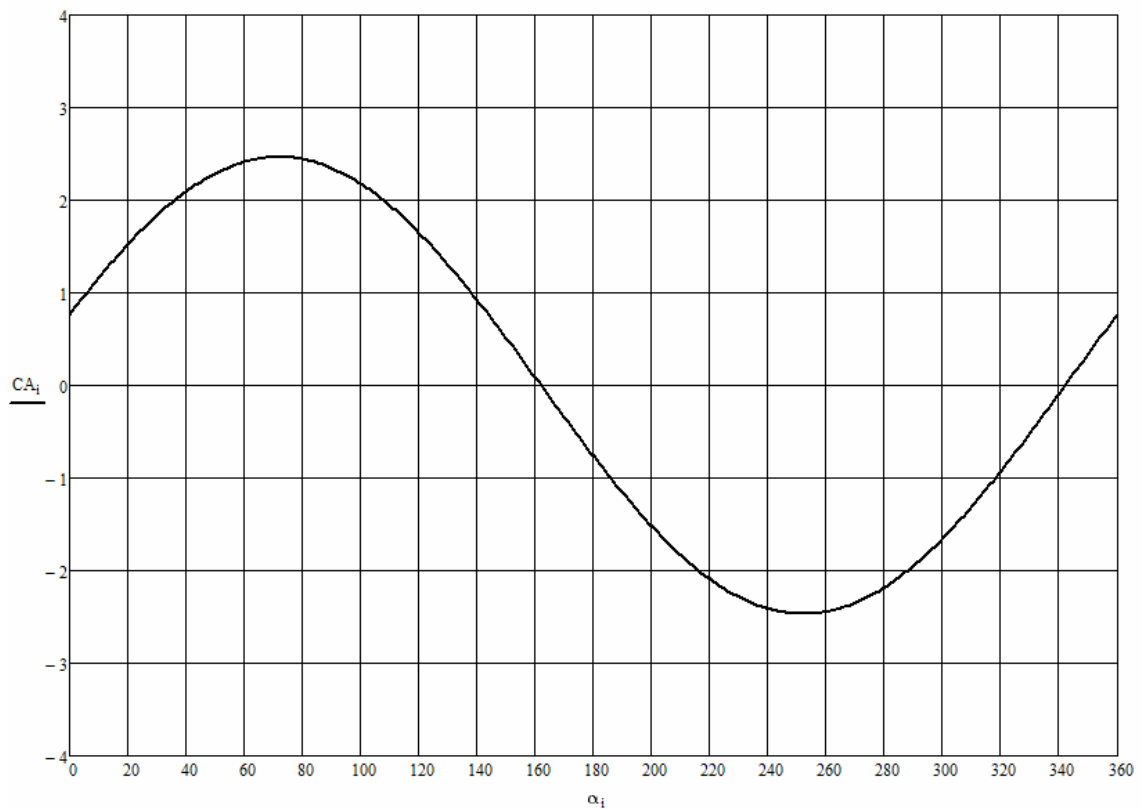


Fig.7. The lift coefficient of the thin airfoil AC 25

The torque coefficient of the lift force rated with the leading edge is presented in fig. 8.

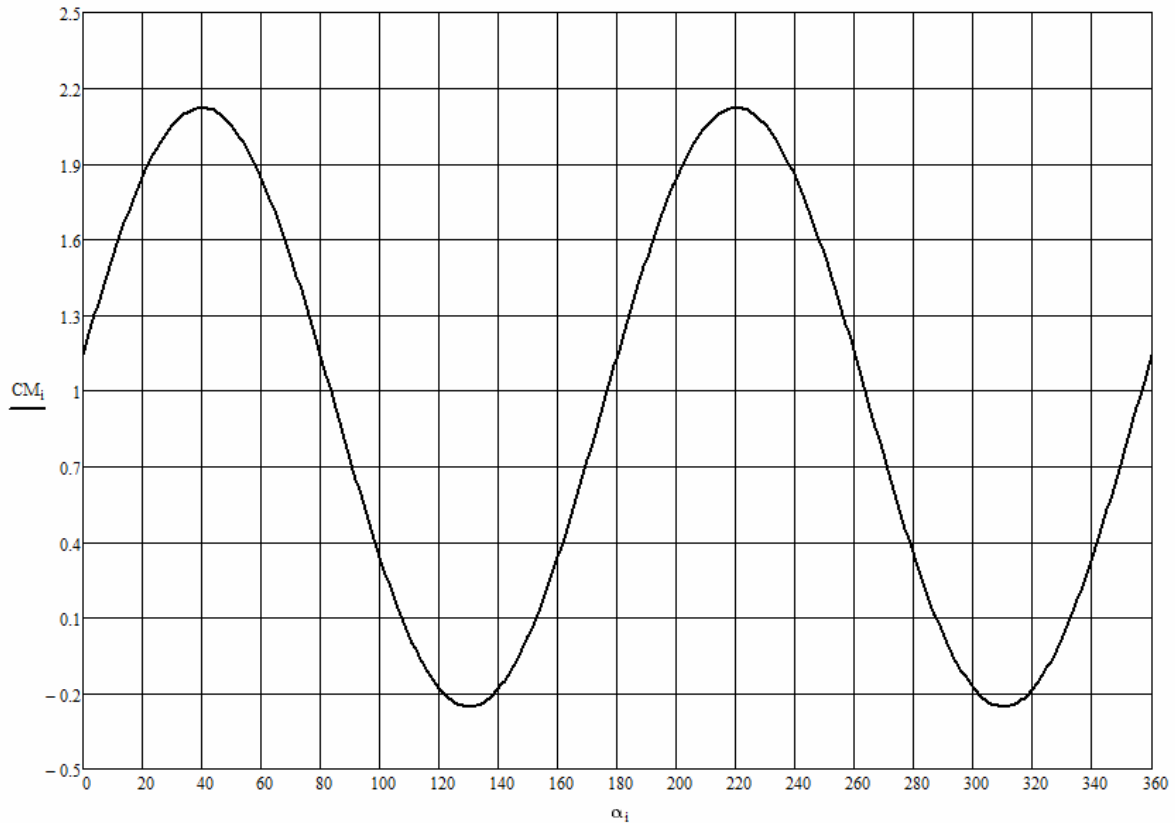


Fig. 8. The torque coefficient of the airfoil AC 25

CONCLUSIONS:

The O. Popa method permits a good approximation of the thin blade contour apt for a wind double flux turbine.

The energetic characteristics can be obtained theoretically, which confers the possibility of a study on a large blade gamma, before choosing the optimum design variant.

From the analysis of pressure distribution coefficient is observed that for low incidence angles the pressure coefficient on the upper-side of the airfoil in absolute value decrease with the increasing of incidence angle.

For high incidence angles appears detachments of the flow from the blade.

For the thin blade studied the optimum incidence angles are between -5° and 5° degrees.

The method permits to obtain the lift and torque coefficient in the interval 0° - 360° degrees.

ACKNOWLEDGMENTS

The present work has been supported from the National University Research Council Grant (CNCSIS) PNII Idei, nr.35/68/2007 The study of hydrodynamic and cavitation phenomena in action and automation and force systems, and (CNCSIS) PNII Idei, nr.929/2009 Intelligent Hydrodynamic Transmissions, from the "Politehnica" University of Timisoara.

REFERENCES

1. Popa O., *Mecanica fluidelor*, vol. I, II., Tempus, Timisoara 2007.
2. Popa O., *Mecanica fluidelor*, Lucrari stiintifice alese, vol. I, II., Tempus, Timisoara 2004.
3. Manea A.S., *Complemente de hidrodinamica turbomasinilor*, vol. I, Mirton, Timisoara 2006.
4. Sonnek E., *Theorie der Durchstromturbine*, Verlag von Julius Springer, Berlin 1923.

Iskustva u korišćenju hidroakumulacije elektrane sa sedmičnim izravnavanjem

1. Uvod

Rijeka Vrbas nastaje na južnoj padini planine Vranice, na oko 1 530 m.n.m. i drenira centralni dio sjevernih padina Dinarskog planinskog masiva. Ulijeva se u rijeku Savu na oko 90 m.n.m. Ukupna dužina glavnog vodotoka iznosi oko 235 km. Prosječan pad glavnog toka je 6m/km što ga čini atraktivnim za hidroenergetsko korištenje.

Hidroelektrana „Boćac“ je pribransko postrojenje na rijeci Vrbas na km 109+450 i projektovana je kao vršna elektrana sa sedmičnim izravnavanjem. Izgrađena hidroelektrana koristi 16,2% ukupnog hidropotencijala rijeke Vrbas sa pritokama. Ovaj dio hidropotencijala Vrbasa se u cijelosti nalazi u Republici Srpskoj.

Činjenica da se nizvodno od elektrane nalazi veoma naseljeno područje te da, nizvodno, do Banjaluke nema većih pritoka Vrbasa niti trenutno izgrađenih hidroelektrana, dodatno pod lupu javnosti stavlja način upravljanja ovom akumulacijom.

Na udaljenosti 7,3 km nizvodno od hidroelektrane „Boćac“ izgrađen je kompenzacioni bazen čime se omogućava vršni rad hidroelektrane. Osnovna uloga kompenzacionog bazena je dnevno izravnavanje protoka i smanjenje oscilacija vode nizvodno od postrojenja, kao privremeno rješenje do izgradnje nizvodne stepenice, odnosno hidroelektrane „Krupa“.

Postrojenje „Boćac“ (akumulacija, brana i odgovarajući objekti i uređaji u sastavu brane i hidroelektrane) namijenjeni su hidroenergetskom korišćenju voda, ali rad ove hidroelektrane mora biti usklađen sa drugim vodoprivrednim interesima na području akumulacije i nizvodno.

Rezime

Postrojenje akumulacionih hidroelektrana namijenjeno je prvenstveno hidroenergetskom korišćenju vode, ali rad ovih postrojenja nužno mora biti usklađen sa drugim vodoprivrednim interesima na području akumulacije i nizvodno od nje. Akumulacija se koristi prema odgovarajućim planovima i potrebama elektroprivrede, poštujući uslove i ograničenja koja proističu iz vodoprivredne dozvole i projektne dokumentacije.

Osim zakonskih obaveza, koje nalaže vodoprivredna dozvola, pred hidroelektranu se, često, postavljaju zahtjevi i od strane raznih sportskih i društvenih organizacija i institucija za posebnim režimima upravljanja ispuštanja vode iz akumulacije ili iz kompenzacionog bazena.

Poštujući društvene, etičke i ekološke norme, izlazi se u susret i zahtjevima za posebnim režimima ispuštanja vode koji odstupaju od uobičajenih, a koji se javljaju u uslovima vanrednih događaja ili turističkih manifestacija koje se odvijaju na rijeci.

Dotadni zahtjevi za regulisanje vodotoka predstavljaju i dodatna ograničenja u hidroenergetskoj raspoloživosti elektrane u elektroenergetskom sistemu.

Osnovne karakteristike akumulacije hidroelektrane „Boćac“ date su u tabeli 1.

Brana Hidroelektrane je betonska lučna dvostruke zakrivljenosti, građevinske visine 66 m. Dovod vode, iz akumulacionog jezera, do turbine vrši se pomoću dva cjevovoda Ø 5,5 m, koji prolaze kroz tijelo brane. Instalirani protok kroz svaku turbine je 120 m³/s. Ulazne građevine agregata su opremljene sa sigurnosnim tablastim zatvaračima dimenzija 6,3 x 4,5 m, sa gumenim zaptivanjem. Za evakuaciju velikih voda i pražnjenje akumulacije služe bočni tunelski preliv i temeljni ispust. U desnom boku brane postavljena su dva prelivna polja, dimenzija 10 m x 10 m, snabdjevena sa segmentnim zatvaračima. Kapacitet preliva je 1350 m³/s. Temeljni ispust, kapaciteta 127,6 m³/s, nalazi se u desnom dijelu brane, a opremljen je sa ulaznom rešetkom, cjevovodom, sigurnosnim ulaznim i regulacionim izlaznim zatvaračem.

Dosadašnja iskustva u eksploataciji hidroelektrane „Boćac“ i kompenzacionog bazena su pokazala da postoje problemi u obezbjeđivanju željenih režima ispuštanja vode u nizvodno korito. Zapremina kompenzacionog bazena često nije dovoljna za ostvarivanje postavljenih zahtjeva. U toku dosadašnjeg rada elektrane, primijećena je pojava zamuljivanja kompenzacionog bazena, što je dovelo do smanjenja njegove korisne zapremine i povećanja ograničenja u njegovom korišćenju za regulisanje vode nizvodno.

2. Korištenje akumulacije

2.1 Redovno korištenje akumulacije

U skladu sa planovima i potrebama elektroprivrednog sistema, hidroelektrana „Boćac“ može bez ikakvih ograničenja privrednog karaktera održavati uspor u akumulaciji u sledećim granicama:

Tabela 1 Karakteristike akumulacije hidroelektrane "Bočac"

AKUMULACIJA	JEDINICA	KOLIČINA
Naziv akumulacije	"Bočac" jezero	
Vlasnik akumulacije	"Hidroelektrane na Vrbasu" a.d. Mrkonjić Grad	
Tip akumulacije	Vještačka sa sedmičnim izravnanjem	
Godina prvog punjenja	1981.	
Ukupna zapremina akumulacije	[10 ⁶ m ³]	52,10
Korisna zapremina akumulacije	[10 ⁶ m ³]	42,90
Mrtav prostor akumulacije	[10 ⁶ m ³]	9,20
Energetska vrijednost akumulacije za maksimalnu kotu (283,00 mnm)	[GWh]	5,322
Energetska vrijednost akumulacije za minimalnu kotu (279,60 mnm)	[GWh]	4,394
Kota gornje vode		
• -maksimalna	[m.n.m.]	283,00
• normalna		282,00
• -minimalna		279,60 (254,00)
Srednji radni nivo donje vode	[m.n.m.]	228,14

Tabela 2 Pregled srednjih mjesečnih protoka

Hidrološki niz	JAN.	FEB.	MART	APR.	MAJ	JUN	JUL	AVG.	SEP.	OKT.	NOV.	DEC.
1999-2008	74,4	72,8	108,4	130,8	89,0	69,1	41,8	34,9	40,2	41,7	61,0	86,2
1926-1965	82,3	84,4	106,0	116,9	104,8	81,0	55,3	38,3	36,7	51,2	87,4	93,9

- Kota normalnog uspora u oni brane 282,00 m.n.m.
- Kota minimalnog radnog nivoa 279,60 m.n.m.
- Kota ekstremno minimalnog radnog nivoa 254,00 m.n.m.

Na taj način hidroelektrana može koristiti u skladu sa svojim potrebama dnevnog i višednevnog izravnavanja čitavu korisnu zapreminu. Hidroelektrana „Bočac“ zavisno od raspoloživih odnosno planiranih srednjih dnevnih protoka radi sa punom snagom jednog odnosno dva agregata u periodu prijepodnevnog opterećenja (8-12 časova) i večernjeg opterećenja (18-20 časova). Ovi periodi se produžavaju sa povećanjem protoka. Spuštanje nivoa jezera ispod kote 271,00 m.n.m. dozvoljeno je samo uz saglasnost republičkog organa uprave nadležnog za vodoprivredu, a do nivoa 241,00 m.n.m. kako bi se, eventualno, omogućio pregled i remont zahvatnih građevina. U toj posebnoj dozvoli treba da bude navedeno i dinamika pražnjenja jezera i vrijeme održavanja nivoa na zahtijevanoj koti.

Iz akumulacije „Bočac“ voda se može zahvatiti za potrebe hidroelektrane „Bočac“, uz obavezu koji određuje vodoprivredna dozvola da se iz kompenzacionog bazena mora ispuštati garantovani ekološki protok i vodoprivredni minimum ne manji od 17 m³/s. Takođe se traži da se oscilacije u vodotoku nizvodno od kompenzacionog bazena smanje na najmanju moguću mjeru.

Srednji protok na profilu hidroelektrane „Bočac“ je 78,4 m³/s, a instalisani protok kroz turbine je 240 m³/s.

Pošto je pojava veličine dotoka vode u akumulaciju stohastičke prirode, da bi se napravio plan buduće proizvodnje potrebno je koristiti teoriju vjerovatnoće. Kao ulazni podaci koriste se mjereni dotoci prije izgradnje elektrane, preračunati u eventualne proizvodnje, te realno izmjerene ostvarene proizvodnje od kako elektrana funkcioniše. Smatra se da je statistički povoljnije da se ima što duži niz ulaznih podataka, tako da će plan za budući period biti realniji.

Analiza podataka koda se uzmu u obzir podaci nakon izgradnje hidroelektrane

ukazuju na određena odstupanja, naročito kada je u pitanju srednji mjesečni protok.

U poslednjoj deceniji, u odnosu na hidrološki niz koji je bio osnova projektne dokumentacije, najniži srednji mjesečni dotok (avgust) je niži u odnosu na ranije, a najviši srednji mjesečni dotok je viši u odnosu na raniji hidrološki niz.

Odlučeno je da HE „Bočac“ planira svoju proizvodnju po osnovu hidrološkog niza 1926. – 2004. koji je nastao spajanjem niza 1926. - 1965. iz Idejnog projekta HE „Bočac“ iz 1972. godine, zatim niza 1966. – 1980. iz Idejnog projekta HE „Krupana Vrbasu“ iz 1986. godine i niza dobijenog posredno iz ostvarene proizvodnje od 1983. do 2004. godine. Niz će se inovirati svake svake pete godine. Objašnjenje za korištenje ovako dugog niza je činjenica da se po inoviranom nizu od poslednjih 40 godina ne dobija realan plan proizvodnje zbog nepouzdanosti i nepotpunosti podataka o dotoku iz ratnog perioda, izračunatih posredno na osnovu ostvarene proizvodnje. Takođe po Studiji evakuacije velikih voda na brani HE „Bočac“ Instituta za vodoprivredu „Jaroslav Černi“ iz 2002. godine, analizom niza 1926. – 1990. zaključeno je da je u razmatranom periodu registrovan jedan pun makro ciklus i dva mikrociklusa hidroloških promjena, pa ima smisla pri planiranju koristiti duže nizove¹.

Osnovne karakteristike projektovanog režima rada HE „Bočac“ su forsirani „vršni“ rad hidroelektrane sa Q_{inst}=240 m³/s. Izrađeni su karakteristični dijagrami rada elektrane za dotokom od 20 m³/s do 220 m³/s, gdje se forsira angažovanje jednog ili dva agregata u periodu jutarnjeg i večernjeg maksimalnog opterećenja. Ispuštanje iz kompenzacionog bazena je predviđeno da se vrši za srednje dotoke do 50 m³/s sa nepromjenljivim protokom. Za veće protoke javljaju se oscilacije protoka na početku i na kraju vršnog rada elektrane u toku dana.

Dosadašnja pogonska iskustva u eksploataciji HE „Bočac“ su pokazala znatna odstupanja od projektovanog režima rada.

Odmah po početku rada elektrane, uočena je opasnost da je, u uslovima nekontrolisanog ispada agregata iz sistema, potrebno određeno vrijeme do ponovnog puštanja agregata u pogon

¹Studija evakuacije velikih voda na brani HE „Bočac“, Institut za vodoprivredu „Jaroslav Černi“, Beograd 2002.

energija

ili do puštanja zatvarača na temeljnom ispustu ili prelivu. Ovom vremenu treba da se doda vrijeme propagacije talasa duž kompenzacionog bazena čija je dužina 7,3 km. Radi obezbjeđivanja biološkog minimuma umanjena je korisna zapremina akumulacije kompenzacionog bazena, ostavljajući rezervu za 2 sata ispuštanja vode iz kompenzacionog bazena.

Angažovanje agregata elektrane vrši dispečerski centar Elektroprivrede Republike Srpske (ERS) u Trebinju. Elektroprivreda Republike Srpske je jedna od tri balansno odgovornih strana u elektroenergetskom sistemu Bosne i Hercegovine. U uslovima „slabog“ sistema sa velikim termo jedinicama i malim brojem hidro jedinica, relativno često je interventno i neplanirano angažovanje HE „Bočac“. Odstupanje od dnevnog plana angažovanja agregata ima za posljedicu povećanje oscilacija vode nizvodno od postrojenja.

2.2 Režim rada u periodu nailaska velikih voda

Uz sam akumulacioni bazen HE „Bočac“ nema većih naselja niti obradivih površina. Ne javlja se potreba za korištenjem hidroakumulacije u svrhu navodnjavanja, ali regulisanje ispuštanja vode u korito rijeke nizvodno je posebno osjetljivo pitanje uzimajući u obzir da se nizvodno nalazi jedna od najgušće naseljenih regija Republike Srpske.

Akumulacioni bazen HE „Bočac“ sa ukupnom zapreminom od $52,10 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ (1,75% srednjeg godišnjeg oticanja) predstavlja prostor za višednevno do sedmično izravnavanje protoka. Korisna zapremina za denivelaciju od 28 m (do kote 254,00) je $42,90 \cdot 10^6 \text{ m}^3$. Sa obzirom, da se iz energetskih razloga nivo uspora pretežno zadržava na kotama što bližim koti normalnog uspora, mogućnosti za prihvatanja radnog talasa su dosta ograničene. Čak i uz mogućnost pravovremenog pražnjenja kroz forsirani rad HE „Bočac“ (vodeći račun i o nizvodnim korisnicima) može se omogućiti tek prihvatanja talasa sa kratkim povratnim periodima.

Oko pitanja uloge hidroelektrane u uslovima nailaska velikih voda šira javnost nije dovoljno upoznata. U trenucima kada dolazi do poplava u Lijevče polju, u centar pažnje javnosti stavlja rad elektrane, a široko su raširena mišljenja ljudi od toga da „elektrana izaziva poplave“ do toga da „nisu ništa uradili da poplave spriječe“. Hidroelektrane, kao strateški objekti su dugo vremena bile sklonjene od očiju javnosti, a po prirodi svog položaja su

u kanjonima, daleko od naselja, tako da je poznavanje prirode rada hidroelektrane prosječnog čovjeka vrlo malo.

U uslovima elementarnih nepogoda, kada ljudi trpe materijalne štete od poplava i kada su ugroženi i ljudski životi, nije dobro biti „na lošem glasu“ kao mogući krivac.

Radi upoznavanja mogućnosti i ograničenja hidroelektrane i hidroakumulacije, ostvarena je veća saradnja sa novinskim i televizijskim kućama, naročito onim koji su lokalnog karaktera. U toku mjeseca septembra, za vrijeme remontnih radova, organizovan je „Dan za medije“ gdje su po principu „dana otvorenih vrata“ pozvani predstavnici svih medijskih kuća iz Banjaluke, civilnih zaštita nizvodnih gradova, ronilačkih, rafting i kajak-kanu klubova na rijeci Vrbas, te turističkih i nevladinih organizacija vezanih za rijeku Vrbas. Prisutni su upoznati sa remontnim radovima na agregatima i načinu rada hidroelektrane.

U normalnim uslovima rada, HE „Bočac“ nikako ne može biti uzrok poplavnog talasu, a mogućnosti za ublažavanje talasa sa kratkim povratnim periodima su vrlo ograničene. Za pravovremene manipulacije sa pogonom HE „Bočac“ potrebne su pouzdane višednevne prognoze padavina i dotoka u slivnom području. Za tu namjenu, u izradi je Hidroinformacioni sistem sliva rijeke Vrbas.

2.3 Režim rada u vanrednim prilikama

Na brani postoji služba tehničkog osmatranja sa stalnim osobljem koje je zaduženo da redovno vrši kontrole i osmatranja po datom programu. Sistem osmatranja i obavještanja je u nadležnosti opštinskih organa uprave, a ovim sistemom je pokriveno cijelo područje potencijalnog poplavnog talasa. Služba za osmatranja brane je povezana sa Centrom za obavještanje Na samoj brani je postavljena sirena za direktno alarmiranje stanovništva u neposrednoj blizini brane, kao i pogonskog osoblja.

U slučaju incidentnog zagađenja u području akumulacionog bazena važno je utvrditi mjesto i vrijeme incidenta i uslove dotoka u akumulaciju, a kao krajnja mjera je predviđeno

Slika 1 Dan otvorenih vrata u HE „Bočac“



zaustavljanje rada HE „Bočac“ uz ispuštanje vodoprivrednog minimuma. Do sada nije bilo većih incidentnih situacija razlijevanja opasnog tereta u akumulaciju, ali je nekoliko puta, u saradnji sa „Vodovodom“ iz Banjaluke vanredno analizirana voda iz akumulacije na mjestima gdje se sumnjalo u njen kvalitet.

Vodotok nizvodno od HE „Bočac“ je izložen različitim izvorima zagađenja. Magistralni put jajce-Banjaluka je potencijalni izvor zagađenja u slučaju saobraćajne nezgode sa tečnim transportnim sredstvima koji prevoze materijale koji mogu izazvati zagađenje voda. Nizvodno od Banjaluke, postoji brojni potencijalni izvori industrijskog zagađenja vode.

U slučaju incidentnog zagađenja vodotoka nizvodno od HE „Bočac“ mogu se primijeniti dvije različite mjere. Povećavanjem protoka HE „Bočac“ ima za posljedicu razblaženje zagađenja, a smanjivanjem protoka se redukuje brzina transportovanja zagađenja duž toka i omogućava se preduzimanje hitnih mjera za otklanjanje posljedica zagađenja.

Kao poseban vid vanrednih prilika, predstavlja situacija spašavanja nastradalih u saobraćajnim nesrećama iz korita rijeke nizvodno od HE „Bočac“.

2.4 Zahtjevi za posebnim režimima rada

Mogućnosti, makar i ograničene, za regulaciju vodotoka nizvodno od HE „Bočac“ su prepoznate i „HE na Vrbasu“ a.d. je često izložena molbama i zahtjevima za posebnim režimima ispuštanja vode nizvodno u vodotok. Karakteristika ovih zahtjeva je da su unaprijed planirani te dispečer ima mogućnost prilagođavanja angažovanja agregata zahtjevima, ali da su bitno drugačiji od protoka koji bi bio kao posljedica normalnog rada elektrane samo u energetske svrhe.

Ovakvi zahtjevi dolaze od strane ronilačkih klubova, turističkih organizacija, rafting klubova, kajakanu klubova, za potrebe snimanja televizijskih emisija, za potrebe građevinskih preduzeća koje izvode radove u koritu rijeke i ostalih zainteresovanih strana.

Samo u 2008. godini, 17 dana po nekoliko časova je vršena posebna regulacija vode na zahtjev trećih lica, a u ljetnjem periodu organizovana je direktni kontakt sa službom za spašavanje na gradskim plažama u Banjaluci radi pravovremenog obavještanja o režimima rada elektrane.

Obično je zahtjevi odnose na ispuštanje tačno definisane količine vode u određenom periodu za željene aktivnosti na određenoj lokaciji.

Uz prethodni dogovor, a uzimajući u obzir hidrološke prilike i potrebe elektroenergetskog sistema, u 16 od navedenih 17 slučajeva se izašlo u susret zahtjevima. Zahtjevu građevinske firme za 15 dana neprekidnog ispuštanja minimuma, a radi iskopa temelja mosta u Banjaluci nije udovoljeno, jer nije moguće u mjesecu novembru kada je dotok natprosječno velik, održavati minimalno ispuštanje u korito rijeke toliko dugo.

Problem koji često nastaje, jeste što ni sami podnosioci zahtjeva (insistira se na pismenom zahtjevu barem 2 dana ranije) često ni ne znaju šta traže, odnosno ne izražavaju svoje zahtjeve u protoku u m³/s nego u opisno, prema lokalnim markerima na mjestima od interesa traže „više“ ili „manje“ vode.

Isto tako, zahtjevi se obično odnose na lokacije na riječnom koritu koje su više ili manje udaljene od kompenzacionog bazena, tako da je potrebno vremena posebnog režima puštanja vode koja su navedena u zahtjevu prevesti u potrebne manipulacije zatvaračima, odnosno potrebno je procijeniti vrijeme koje je potrebno da regulisana željena količina vode stigne od akumulacije kompenzacionog bazena do željene tačke.

U toku izgradnje brane, modelovana je propagacija poplavnog talasa nizvodno u slučaju rušenja brana, a na terenu su obilježene linije dopiranja maksimalnog mogućeg poplavnog talasa nastalog rušenjem. Međutim, vrijeme propagacije pozitivnog i negativnog vodenog talasa nije analizirano.

U tom smislu je organizovano snimanje vremena propagacije karakterističnih talasa na određenim profilima duž nizvodnog toka Vrbasa kao bi se dobili precizne informacije o vodenom talasu.

Koliko je teško predvidjeti sve moguće situacije koje se mogu desiti u praksi i držati se karakterističnog dnevnog dijagrama rada, pokazuje jedinstvena situacija do koje je došlo 4. 12.2008. godine.

Na jezeru akumulacije HE „Bočac“, na mjestu dotoka vode u akumulaciju, formirana je ekološki centar „Bočac-jezero“ od strane trećeg lica. U pomenutom centru postavljena je mreža na površini jezera čime se sakuplja plivajući otpad na ulasku u akumulaciju. Sa pomenutim pravnim licem HE „Bočac“ nema nikakav ugovor o posebnim ograničenjima u upravljanju akumulacijom.

Zbog velikih padavina, i otapanja snijega izračunati dotok u akumulaciju je bio oko 150 m³/s, što predstavlja veoma veliki dotok. Istovremeno, zbog nedostatka energije u mreži uzrokovanog ispadom termoelektrane, dispečer je angažovao oba agregata maksimalno, što je dovelo do relativno brzog obaranja kote gornjeg jezera do nivoa 275 m.n.m. Normalni radni režim je 281 m.n.m.

U kombinaciji ta dva dešavanja, Eko centar „Bočac jezero“ je imao velikih problema sa mrežom, jer su na mjestu gdje je postavljena mreža, **niska kota i veliki protok** stvarali bujicu koja je trgala mrežu i odnosila smeće nizvodno.

Sa jedne strane, uklopničar je imao usmeni zahtjev vlasnika ekološkog centra „Bočac jezero“ za podizanjem kote jezera i time, kako je naveo „sprečavanje ekološke katastrofe“, a sa druge strane, dispečeru je trebala nedostajuća energija u sistemu, a maksimalnim radom oba agregata taj nedostatak je smanjivao, ali je i izazivao dalji pad kote gornjeg jezera.

3. Zaključak

Postrojenje hidroelektrane „Bočac“ namijenjeno je prvenstveno hidroenergetskom korištenju vode, ali rad ovog postrojenja nužno mora biti usklađen sa drugim vodoprivrednim interesima na području akumulacije i nizvodno. Akumulacija se koristi prema odgovarajućim planovima i potrebama elektroprivrede, poštujući uslove i ograničenja koja proističu iz vodoprivredne dozvole i projektne dokumentacije. Činjenica da se nizvodno od elektrane nalazi veoma naseljeno područje te da, nizvodno, do Banjaluke nema većih pritoka Vrbasa, dodatno pod lupu javnosti stavlja način upravljanja ovom akumulacijom.

Osim zakonskih obaveza, koje nalaže vodoprivredna dozvola, pred hidroelektranu se, često, postavljaju

zahtjevi i od strane raznih društvenih organizacija i institucija za posebnim režimima upravljanja ispuštanja vode iz kompenzacionog bazena. Jedan od najčešćih zahtjeva javnosti, u periodu velikih dotoka, je zahtjev za pretpražnjenjem akumulacije u svrhu prihvata poplavnog talasa. Karakteristike akumulacije hidroelektrane „Bočac“ nisu dosta poznate široj javnosti, a mediji često stvore pogrešno uverenje da bi se ova akumulacija mogla iskoristiti u svrhu sprečavanja poplava.

Cilj nam je ostvariti tijesnu saradnju sa medijima i civilnom zaštitom. Radi kvalitetnije prognoze dolaznog talasa, u toku je razvoj hidroinformacionog sistem rijeke Vrbas. Dnevni dotoci se redovno ažuriraju na sajtu elektrane www.henavrbasu.com, a u periodima izuzetno velikih i u periodima izuzetno malih voda, trenutni dotoci se satno saopštavaju civilnoj zaštiti u Banjaluci.

Osim zakonskih obaveza, poštujući društvene, etičke i ekološke norme, izlazi se u susret i zahtjevima za posebnim režimima ispuštanja vode koji odstupaju od uobičajenih, a koji se javljaju u uslovima vanrednih događaja ili turističkih manifestacija koje se odvijaju na rijeci.

Ostvarena je i izvrsna je saradnja sa ronilačkim klubom „Buk“ iz Banjaluke, rafting klubom „Kanjon“, kajakanu klubom „Vrbas“, Turističkom organizacijom grada Banjaluka i Civilnom zaštitom Banjaluka. Hidroelektrana „Bočac“ je često odredište dačkih ekskurzija i posjeta nevladinih organizacija. Cilj je da se javnost što više upozna sa prirodom rada ove hidroelektrane.

Kompenzacioni bazen hidroelektrane „Bočac“ je prilikom izgradnje predviđen kao privremeno rješenje dok se ne izgrade nizvodne stepenice HE „Krupa“ i HE „Banjaluka-niska“. Sticajem okolnosti, ovo „privremeno rješenje“ funkcioniše već više od 25 godina.

Izgradnjom HE „Krupa“, ova će elektrana preuzeti ulogu kompenzacionog bazena i omogućavaće vršni rad HE „Bočac“ i smanjenje oscilacija vode u nizvodnom koritu.

Literatura

1. Studija evakuacije velikih voda na brani HE „Bočac“, Institut za vodoprivredu „Jaroslav Černi“, Beograd 2002.

2. Podloge za stalnu vodoprivrednu dozvolu HE "Bočac", Energoinvest Higrainženjering, Sarajevo 1986
3. Obavještanje i uzbunjivanje stanovništva nizvodno od brane „Bočac“, Energoinvest, Sarajevo, 1981.
4. Obilježavanje poplavnog vala nizvodno od brane HE "Bočac", Energoinvest Energoinženjering, Sarajevo 1990
5. Određivanje bezbjednog nivoa vode u akumulaciji HE "Bočac", Energoinvest Energoinženjering, Sarajevo 1981
6. Analiza i interpretacija rezultata mjerenja u periodu od 1995. do 1998. godine, Energoprojekt Hidroinženjering, Beograd 1999.
7. Analiza i interpretacija rezultata mjerenja u periodu 2002. godine, Energoprojekt Hidroinženjering, Beograd 1999.
8. Analiza i interpretacija rezultata mjerenja u periodu 2002. godine, Energoprojekt Hidroinženjering, Beograd 1999.

Rastislav Kragić, Inés Arañó Puig, Tomislav Peruničić, Bojan Kovačić

UDC: 621.311.245.001/.004 (497.11)

Studija opravdanosti izgradnje farme vetroelektrana "Popadija"

Rezime

Rad opisuje rezultate ispitivanja i analize energetske potencijala vetra u okviru projekta pod nazivom „Jačanje centra za obnovljive izvore energije u okviru Agencije za energetske efikasnost“, koji je bio realizovan u periodu od 2007. do 2009. godine. Jedan od ostvarenih ciljeva projekta je izrada studija opravdanosti izgradnje farme vetroelektrana na najpovoljnijoj lokaciji gde je bilo vršeno merenje. Nakon analize prikupljenih podataka, studija je urađena za lokalitet pod nazivom "Popadija" u opštini Negotin.

Ključne reči: energija vetra, meteorološki stub, vetroelektrana, farma vetroelektrana

Feasibility Study of the Wind Farm "Popadija"

The paper describes results of research and analyse of wind power potential in the scope of the Project named "Strengthening of the Renewable Energy Department of Serbian Energy Efficiency Agency", which has realised from 2007 to 2009. One of the basic aims of the project was preparation of the Feasibility Study of the Wind Farm Design for the best location where measurements were implemented. After analyse of collected data, the Feasibility Study was done for site "Popadija" in Negotin municipality.

Key words: wind energy, meteorological tower, wind turbine, wind farm

Uvod

Srbija godišnje potroši oko 16Mten (miliona tona ekvivalenta nafte) primarne energije [1], sa godišnjom stopom rasta potrošnje od oko 5%. Procenjeno je da je potencijal obnovljivih izvora energije (u daljem tekstu OIE) Srbije oko 3.2Mten (bez velikih hidroelektrana i potencijala energije sunčevog zračenja). Pri tome, godišnji potencijal energije biomase se procenjuje na 2.6Mten, energije vetra na 0.2Mten [2], geotermalne na 0.18Mten, malih hidroelektrana na 0.15Mten i energije sunčevog zračenja na 0.1 kgen/m². Ako se uzme u obzir da se biomasa može ekonomski isplativo koristiti uglavnom za proizvodnju toplotne energije, kao i da je procena potencijala energije vetra rađena sa vetroelektranama snage 1.5MW, a da

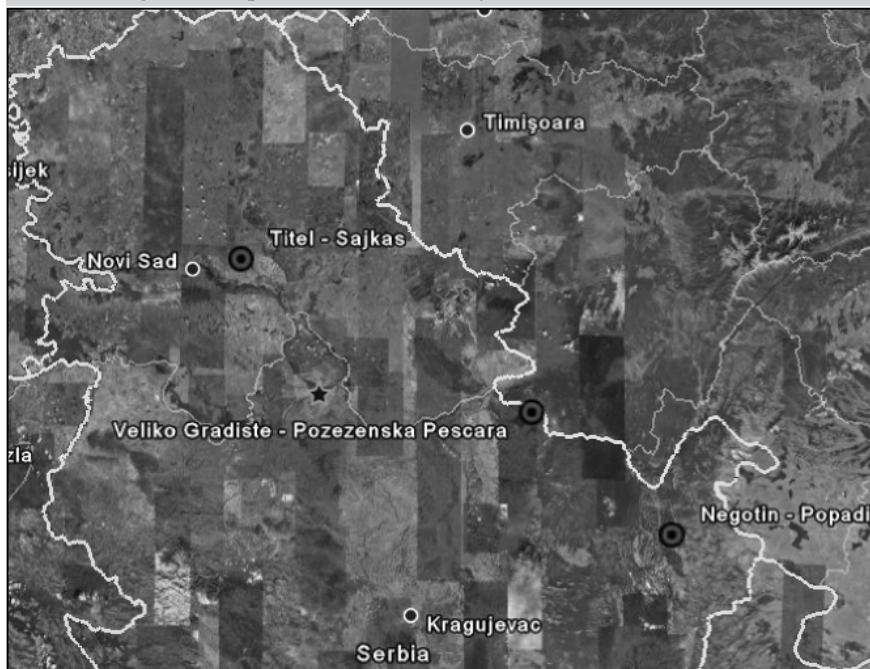
je danas standardna upotreba jedinica od 2MW do 5MW, očigledno je da se energetske potencijal vetra može smatrati veoma značajnim obnovljivim resursom Srbije za proizvodnju električne energije.

Prepoznavši potrebu za boljim upoznavanjem realnih potencijala Srbije u oblasti korišćenja energije vetra, kao i uređenjem zakonske i tehničke regulative u ovoj oblasti u skladu sa preporukama i iskustvima vodećih zemalja sveta po iskorišćenju energije vetra, u Agenciji za energetske efikasnost (u daljem tekstu AEE) je pokrenut projekat pod nazivom „Jačanje Centra za obnovljive izvore energije u okviru Agencije za energetske efikasnost“ (u daljem tekstu Projekat). Projektni zadatak je predviđao sledeće aktivnosti:

Tabela 1 Dinamika realizacije projektnih aktivnosti

Aktivnost	Vreme realizacije
izbor konsultanta	do novembra 2006.
izbor lokacija i instalacija merne opreme	do avgusta 2007.
kampanja merenja	10.08.2007. – 09.08.2008.
izrada studije opravdanosti	do decembra 2008.
finalna prezentacija projekta	11.12.2008.

Slika 1 Geografski raspored izabranih lokacija

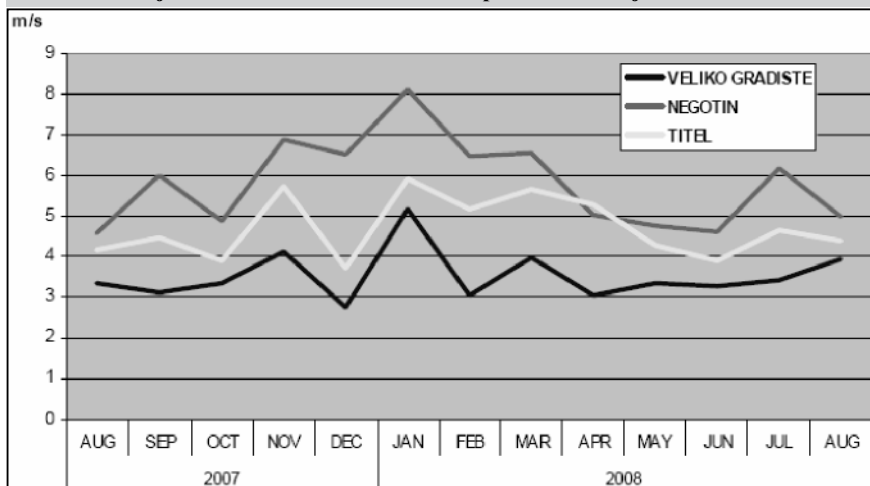


- instalacija tri meteorološka stuba visine 50m sa pratećom opremom na tri izabrane lokacije,
- sprovođenje kampanje merenja u trajanju od godinu dana,
- nabavka licenci za softverske pakete WASP i WindFarmer,
- obuka članova tima AEE za rad na pribavljenom softveru,
- izrada studije opravdanosti izgradnje

Tabela 2 Srednje godišnje brzine vetra i procenat validnih podataka

Lokacija	12-mesečna srednja brzina na 50m (m/s)	ekstrapolirana 12-mesečna srednja brzina na 80m (m/s)	Udeo validnih podataka na 50m (%)
Veliko Gradište	3.50	3.71	99.0
Negotin	5.77	6.10	92.4
Titel	4.72	4.99	98.1

Slika 2 Srednje mesečne brzine vetra na tri ispitivane lokacije na visini 50m



farme vetroelektrana za najpovoljniju od lokacija gde je vršeno merenje i

- prenošenje iskustava zakonskog uređenja upotrebe energije vetra iz zemalja koje su lideri u toj oblasti.

Projekat je bio podražan od strane Ministarstva rudarstva i energetike, a finansiran je kroz donaciju Kraljevine Španije. Na tenderu koji je sprovela Španska agencija za međunarodnu saradnju, za konsultanta je izabrana firma NIP S.A. iz Madrida, koja je za potrebe svoje logistike na terenu, ugovorila saradnju sa firmom Elektra iz Petrovaradina. Radi efikasnije realizacije projektnih aktivnosti i jačanja ranije uspostavljenih dobrih odnosa, AEE i Elektroprivreda Srbije – Direkcija za strategiju i investicije, dogovorili su saradnju i na ovom projektu.

Realizacija projekta

Tabela 1 opisuje dinamiku realizacije sprovedenih projektnih aktivnosti.

Za potrebe realizacije kampanje merenja, nabavljena su tri kompleta merne opreme, proizvođača NRG:

- meteorološki stub visine 50m,
- elektronski uređaj za prikupljanje podataka (data-logger), (jedan po stubu),
- merači brzine vetra (anemometri), za visine 10m, 30m, i 50m (po svakom stubu),
- merači pravca vetra, za visine 30m i 50m (po svakom stubu) i
- termosenzor (jedan po stubu).

Projektnim zadatkom je bilo predloženo šest lokaliteta za koje se pretpostavljalo, (na osnovu ranijih saznanja i analiza, [4] i [5]) da predstavljaju mesta sa zadovoljavajućim potencijalom vetra (Cer, Titel, Vršac, Veliko Gradište, Deli Jovan i Vlasina). Prilikom izbora lokacije korišćena je metodologija koja je uzela u obzir sledeće elemente:

- potencijal energije vetra na širem lokalitetu (na osnovu dostupnih podataka),
- topografija terena,
- prisustvo vegetacije,
- prisustvo zaklona (objekata, planina itd),
- blizina i raspoloživi kapacitet prenosne elekromreže,
- prilaznost putevima,
- udaljenost od naseljenih mesta,
- urbanistički planovi,
- vlasnički odnosi,
- slaba istraženost energetskeg potencijala vetra na lokalitetu i
- potencijalna korist od prikupljenih

Slika 3 Raspodela energije vetra u okolini mernog stuba

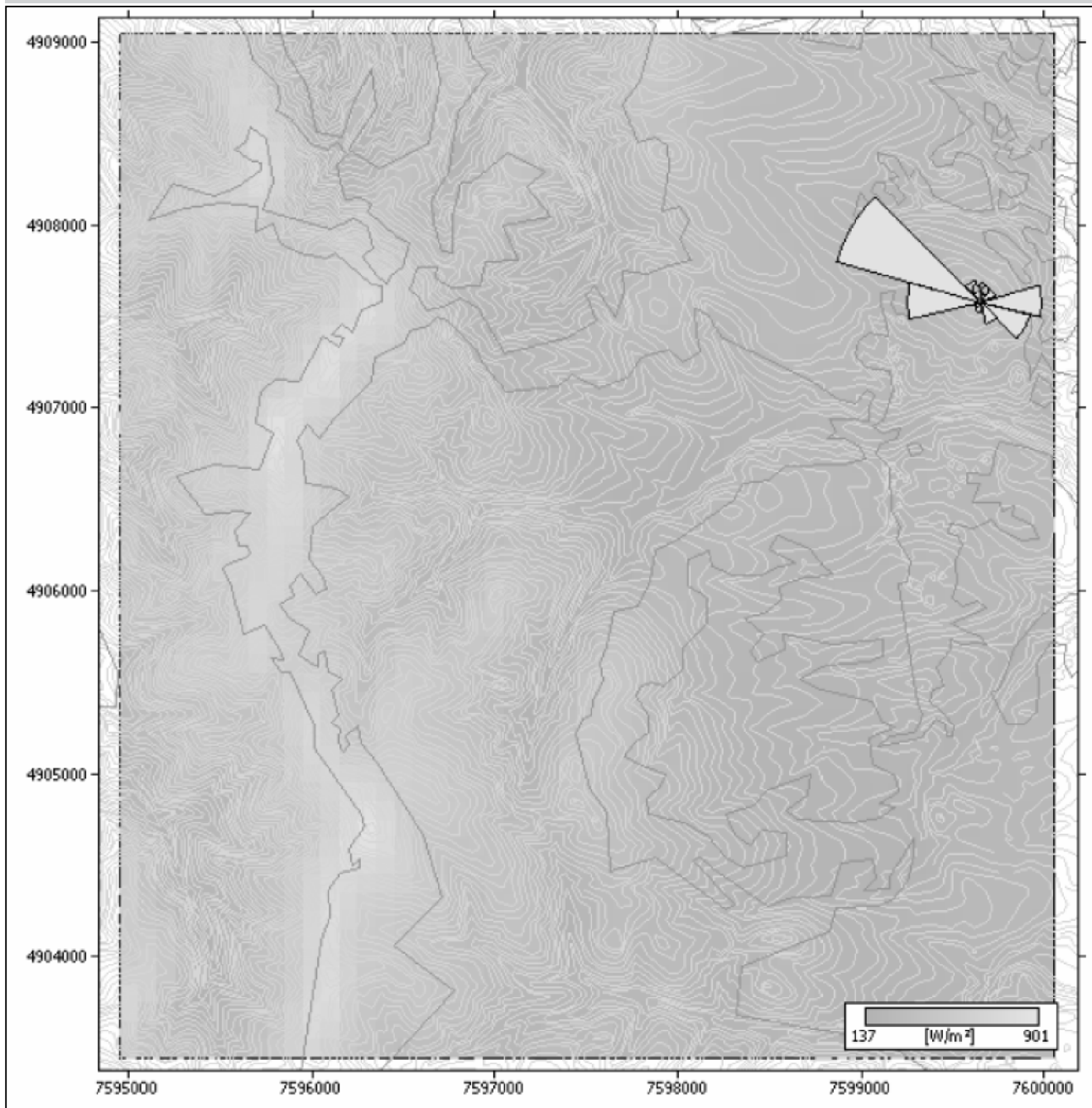


Tabela 3 Podaci o farmi vetroelektrana Popadija

nominalna snaga farme	45 MW
jedinične vetroelektrane	VESTAS V-90, 3 MW visina 80 m Class IIA
broj vetroelektrana	15
neto godišnja proizvodnja energije	112,8 GWh
stepen iskorišćenosti kapaciteta	28,6%
broj ekvivalentnih sati rada pod punim opterećenjem	2.505 h
srednja nadmorska visina farme	630 m
srednja (estimirana) brzina vetra na 80m od tla	6,99 m/s
priključenje na elektromrežu	110 kV planirana transformatorska stanica "Mosna"

podataka sa gledišta kasnijih globalnih analiza.

Analizom 14 konkretnih lokacija koje su ušle u uži izbor, izabrane su ukupno tri, u opštinama Veliko Gradište, Negotin i Titel, kao najpovoljnije za instalaciju merne opreme (Slika 1). Merenja su vršena sa dvosekundnom rezolucijom. Za svaki meri instrument su u desetominutnom režimu, upisivani podaci, i to srednja, minimalna, maksimalna vrednost i standardna devijacija. Prikupljeni podaci su jednom dnevno automatski prosleđivani putem mreže mobilne telefonije na odgovarajuće e-mail adrese.

Rezultati

Nakon 12 meseci merenja pristupilo se analizi podataka dobijenih merenjem.

Slika 4 Pozicija farme vetroelektrana

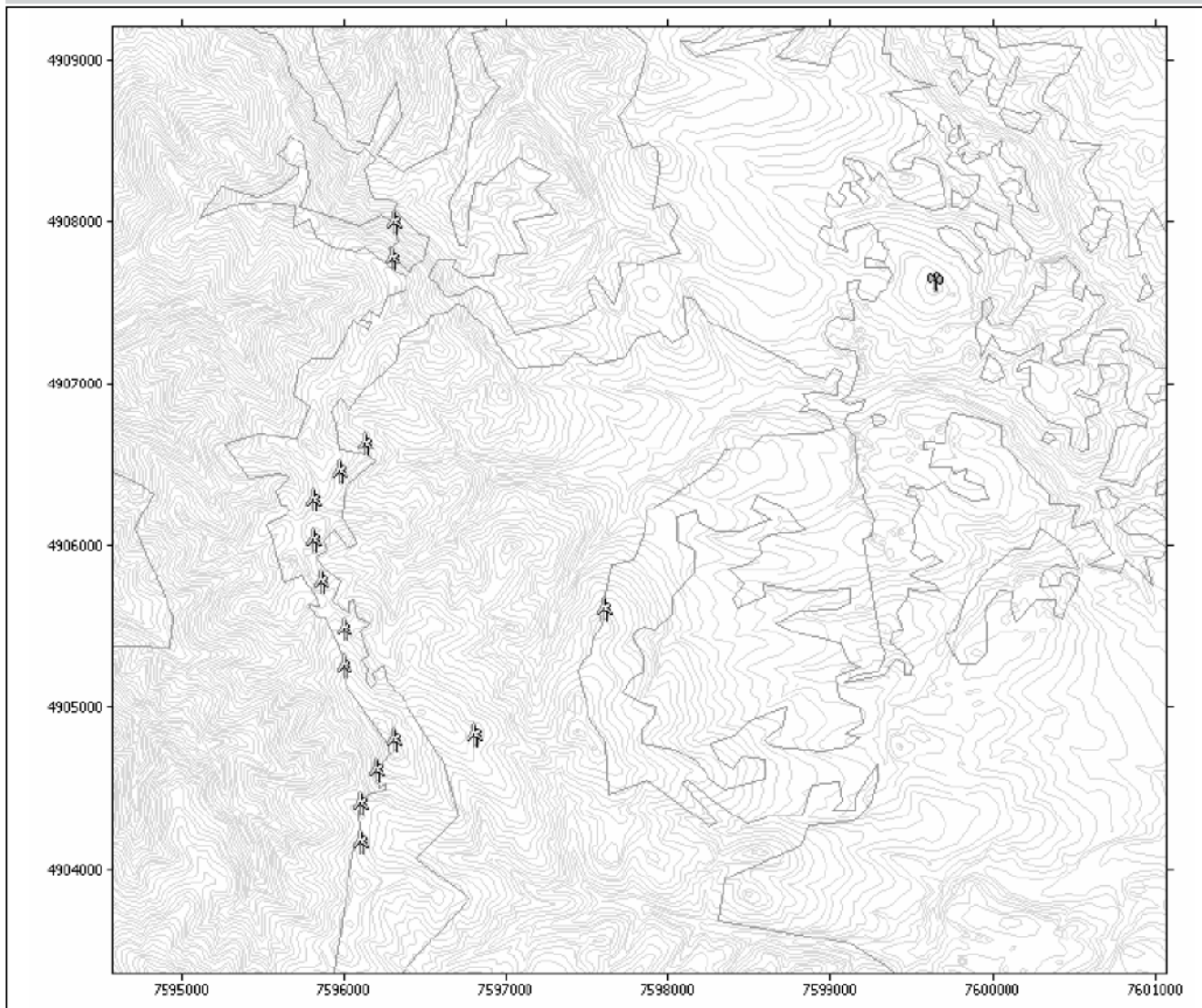


Tabela 4 Rezultati finansijske analize

ukupna vrednost investicije	61,875,000 evra (100%)
cena opreme	50,241,944 evra (81.2%)
građevinski radovi	3,150,256 evra (5.1%)
elektrto-instalacije	1,321,747 evra (2.1%)
transformatorska stanica	2,199,970 evra (3.6%)
ostali troškovi	4,961,083 evra (8%)
cena po instalisanom kW	1,466 evra/kW
neto godišnja proizvodnja energije	112.8 GWh
očekivana prodajna cena energije	11/100 evra/kWh
bruto godišnji prihodi od prodaje električne energije	12,401,532 evra
godišnji troškovi	2,200,000 evra
vreme prostog povraćaja investicije	7 godina
interna stopa povraćaja investicije (20 godina)	14.7%

Slika 2 i Tabela 2 prikazuju osnovne rezultate dobijene kroz kampanju merenja.

Na osnovu prikazanih rezultata sve tri lokacije, zaključeno je da je lokalitet Popadija u opštini Negotin najpovoljniji za izgradnju farme vetroelektrana. Slika 3 prikazuje rezultat analize raspodele energije vetra u okolini mernog stuba.

Studija opravdanosti za navedenu lokaciju posebno je obradila više različitih tematskih celina, bitnih za realizaciju projekta, kao što je geotehnička analiza, analiza priključenja na elektromrežu, sagledavanje prilaznih puteva, analiza uticaja na prirodnu okolinu, pravni aspekti, energetska analiza, predlog konstrukcionog rešenja i finansijska analiza.

U razmatranje je uzeta relativno šira teritorija oko mernog stuba, kako bi bila određena najpovoljnija pozicija farme vetroelektrana. Na razdaljini od oko 4km zapadno od mernog stuba, na planinskom vencu koji se pruža od vrha Deli Jovana (na jugu) prema selu Popadija (na severu), softverskom obradom je definisana optimalna pozicija farme vetroelektrana (Slika 4).

Analiza je radena sa više različitih modela vetroelektrana i različitim brojem jedinica. Sukcesivnom optimizacijom se došlo do rezultata prikazanih u Tabeli 3.

Na osnovu izvršene tehničke analize i prikupljenih ekonomskih parametara, urađen je finansijski deo studije, čiji su rezultati prikazani u Tabeli 4.

Zaključak

Rezultati projekta pokazuju da je realizacija farme vetroelektrana na lokaciji Popadija u opštini Negotin realno ostvariva. Jedan od osnovnih ekonomskih preduslova za njenu

isplativost je uvođenje sistema subvencija ili liberalizacija tržišta električnom energijom.

Agencija za energetske efikasnost je sa upravom opštine Negotin ugovorila nastavak merenja parametara vetra na istoj lokaciji i na još jednom lokalitetu, na poziciji buduće farme vetroelektrana, kako bi se potvrdili primarno dobijeni rezultati.

Reference

- [1] ENERGETSKI BILANS REPUBLIKE SRBIJE ZA 2008. GODINU, Ministarstvo rudarstva i energetike, 2008.
- [2] R. Putnik, MOGUĆNOST KORIŠĆENJA ENERGIJE VETRA ZA PROIZVODNJU ELEKTRIČNE ENERGIJE, EPS 2002.
- [3] P. Gburčik, STUDIJA ENERGETSKOG POTENCIJALA SRBIJE ZA KORIŠĆENJE SUNČEVOG ZRAČENJA I ENERGIJE VETRA, Ministarstvo nauke i zaštite životne sredine 2005.
- [4] R. Kragić, T. Peruničić, ISPITIVANJE POTENCIJALA VETRA U KOŠAVSKOM PODRUČJU SA TRI METEOROLOŠKA STUBA, Energetika 2008.

Prof. dr Milan Čalović, dr Miodrag Mesarović

Energoprojekt Entel, Beograd

UDC: 621.311.245 (497.11)

Energetski potencijal vetra i stvarne mogućnosti njegovog korišćenja u Srbiji

Rezime

Budući dugo zapostavljen, energetske potencijal vetra u Srbiji je danas predmet intenzivnog istraživanja, koja sprovode razne institucije za takođe razne potrebe. Koliki je stvarno raspoloživ i energetske iskoristiv potencijal vetra, takva neusmerena i nekoordinirana istraživanja teško da mogu utvrditi. Sa druge strane, postoji ograničena mogućnost učešća vetroelektrana u elektroenergetskom sistemu Srbije, te stoga i logična potreba da se ustanove optimalni lokaliteti i granični kapaciteti za njihovu izgradnju. U radu su analizirani dosadašnja i tekuća istraživanja i proučeni potencijali vetra do kojih su ona dovela, kao i ostali prateći aspekti (ekonomija, regulativa, priključenje na elektroenergetsku mrežu, uticaj na životnu sredinu i drugi) o kojima je nužno voditi računa uz uvažavanje specifičnosti vetroelektrana kao izvora električne energije u Srbiji.

Ključne reči: Energetski potencijal vetra, elektroenergetski sistemi, vetroelektrane

Energy Potential of Wind and Real Possibilities of its Utilisation in Serbia

Long time neglected, the energy potential of wind in Serbia presently becomes the subject of intensified research, performed by various institutions for different purposes. It is hard to believe that such uncoordinated activities could establish the really available and energy-wise useful potential of wind. On the other side, there is a limited share of the wind power plants possible to be used in the power system of Serbia, and therefore a logical need to determine their capacities to be constructed at the optimum sites. This paper analyses the past and current researches and their results, as well as the other associated aspects (economy, legal permits, connection to the power network, environmental aspects, etc.), since it is indispensable to take into account specific features of wind power plants as future generating sources within the electric power system in Serbia.

Key words: Energy potential of wind, power systems, wind power plants

1. Uvod

Neobnovljivi energetske resursi, koji su, u formi fosilnih goriva, obeležili industrijski razvoj u 20. veku, nalaze se na početku 21. veka u mnogim zemljama pred opasnom pretnjom vremenski ne tako dugog trajanja do potpunog iscrpljenja. Jasno je da oni u takvim zemljama nemaju dugoročnu perspektivu, pa se te zemlje nalaze pred dramatičnim odlukama da se okrenu novim i obnovljivim izvorima

i održivom razvoju, čiji je glavni cilj očuvanje ekološke ravnoteže tamo gde nije narušena i njeno ponovno uspostavljanje u područjima gde je već poremećena. Pored još neiskorišćenih hidroizvora, korišćenje energije vetra i biomase, zbog dostupnosti i tehnološke zrelosti za korišćenje, predstavljaju prvi izbor u toj preorijentaciji na obnovljive izvore energije. Taj opšti zaključak je u potpunosti primenljiv i na Srbiju, koja je u svetskim razmerama energetske

energija

siromašna zemlja, kada se govori o klasičnim energetskim izvorima u formi fosilnih goriva (posebno tečnih goriva i prirodnog gasa). Ovaj referat je posvećen razmatranju problema perspektivnog razvoja vetroenergetike u Srbiji u odnosu na njen intenzivan razvoj u Evropi.

Raspoloživost vetroenergije ogleda se u pojavama vetra kao klimatskog fenomena, različitih, neiskoristivih i iskoristivih, brzina. U tom pogledu bolje stoje zemlje sa dugim morskim i/ili okeanskim granicama, nego kontinentalne, a pogotovu ako su lišene izlaza na more. I u ovoj drugoj grupi zemalja (u koju spada i Srbija) postoje zone sa vetrom i boljom i lošijom perspektivom vetroenergetike. Konkretno povoljne lokacije za vetroelektrane mogu se utvrditi iz postojećih meteoroloških podataka i obaveznim merenjima na širim geografskim područjima, koja se smatraju povoljnima za vetroelektrane. U tom smislu Srbiji nedostaje detaljan atlas energetskog potencijala vetra, kakav je sačinjen još 1989. godine za zemlje Zapadne Evrope.

Pitanja koja treba rešiti u vezi sa korišćenjem energije vetra obuhvataju:

- Donošenje zakonske regulative za izgradnju vetroelektrana;
- Izbor najpovoljnijih područja i mikrolokacija za iskorišćenje energije vetra;
- Određivanje tehnički i ekonomski iskoristivog potencijala energije vetra shodno izboru iz prethodne tačke;
- Izbor standardne snage vetrogeneratora i vetroelektrana;
- Priključak perspektivnih vetroelektrana na elektroenergetsku mrežu;
- Donošenje pravila eksploatacije vetroelektrana u okviru elektroenergetskih sistema.

U ovom referatu će prvo biti razmotreni opšti problemi određivanja potencijala vetra, a potom će biti dat pregled do sada preduzetih aktivnosti u svetu i u Srbiji, da utvrđeni potencijali budu iskorišćeni za proizvodnju električne energije.

2. Iskoristivi potencijal energije vetra
Energetski potencijal kinetičke energije vetra proračunava se primenom opšte formule:

$$W_{kin}^T = \frac{m_v^T V_{wT}^2}{2} \quad [J], \quad (1)$$

gde je m_v^T masa vazduha u [kg], koja tokom određenog vremena T prođe kroz turbinu, dok je V_{wT} srednja brzina

vetra ispred vetroturbinu u periodu T u [m/s]. Snaga na osovini vetroturbinu je određena formulom:

$$P_{wT} = \frac{1}{2} m_v (V_1^2 - V_3^2) \\ = \frac{1}{4} \rho_v A_R (V_1^2 - V_3^2) (V_1 + V_3) [W], \quad (2)$$

gde je $V_1 = V_w$ brzina vetra ispred turbine, V_3 brzina vetra iza turbine, obe u [m/s], $m_v = A_R \rho_v V_2$ protok vazduha kroz turbinu u [kg/s], A_R [m²] je površina koju briše rotor prečnika $D=2R$ u [m], dok je ρ_v specifična gustina vazduha u [kg/m³], tako da je $m_v = A_R \rho_v \frac{V_1 + V_3}{2}$ [kg/s]. Snaga vetra u neporemećenoj struji vazduha ispred turbine je

$$P_0 = \frac{\rho_v}{2} A_R V_1^3, \quad (3)$$

tako da količnik snaga (2) i (3) predstavlja važan karakteristični pokazatelj vetroelektrane

$$\frac{P_{wT}}{P_0} = \frac{1}{2} \left[1 - \left(\frac{V_3}{V_1} \right)^2 \right] \left(1 + \frac{V_3}{V_1} \right), \quad (4)$$

Maksimalna vrednost odnosa (4), dobijena izjednačavanjem njegovog prvog izvoda po V_3 sa nulom dobija se kada je $V_3 = \frac{1}{3} V_1$, pa se zamenom izvodi poznata Betz-ova formula [1-3,7]:

$$P_{wT}^{\max} = \frac{16}{27} A_R \rho_v V_1^3 = 0,593 A_R \rho_v V_w^3 [W]. \quad (5)$$

To znači da P_{wT}^{\max} zavisi od trećeg stepena brzine vetra i da se može iskoristiti najviše 59,3% raspoloživog energetskog potencijala vetra (1).

Moguća godišnja proizvodnja vetroelektrane (pri zanemarivanju relativno malih gubitaka u generatoru) je:

$$W_{wE}^g = \int_0^{T^g} P_{wEn}(t) dt = P_{wEn} T_{wE}^g [kWh] \text{ ili } [MWh], \quad (6)$$

pri čemu je ukupna nazivna snaga vetroelektrane P_{wEn} [kW] ili [MW] sa više generatora zbog efekta zasićenja usled međusobne bliskosti vetrogeneratora u elektrani, nešto manja od zbira njihovih nazivnih snaga P_{wTni} .

$$P_{wEn} = k \sum_i P_{wTni} [kW] \text{ ili } [MW], \quad (7)$$

gde je $k \leq 1$ koeficijent interakcije, koji zavisi od međusobnog geometrijskog položaja agregata u vetroelektrani, a T_{wE}^g [h/god.] je ekvivalentni broj sati iskorišćenja instalisane (nazivne) snage P_{wEn} elektrane, dok je $T^g = 8760$ h/god.

Teorijski energetski potencijal vetroelektrane dobija se korišćenjem formule (2), a maksimalni iskoristiv potencijal korišćenjem formule (5). Tehnički iskoristivi deo potencijala je još manji zbog ograničenja samo na iskoristive brzine vetra, koje su, zbog konstrukcionih karakteristika vetroturbinu, takve da je [3]:

$$V_w^{isk} = \begin{cases} 0 & \text{za } 0 \leq V_w(t) \leq V_{in} \\ V_w & \text{za } V_{in} \leq V_w(t) \leq V_n \\ V_n & \text{za } V_n \leq V_w(t) \leq V_{out} \\ 0 & \text{za } V_w \geq V_{out} \end{cases} \quad (8)$$

što je evidentno sa *slike 1*, koja daje tipičan dijagram zavisnosti snage vetroturbinu P_{wT} od brzine vetra $V_w(t)$, pri čemu su obeležene četiri karakteristične brzine vetra (sve u [m/s]):

- V_{in} - brzina vetra pri kojoj vetroturbinu počinje da odaje snagu;
- V_n - brzina vetra pri kojoj vetroturbinu dostiže nazivnu snagu;
- V_{ret} - najveća brzina vetra pri kojoj se vetroturbinu sme staviti u pogon;
- V_{out} brzina vetra pri kojoj se iz sigurnosnih razloga vetroturbinu mora isključiti iz rada.

Na *slici 2* je prikazan međusobni odnos različitih potencijala energije vetra, gde su, pored napred definisanih, posebno dati i tehnički iskoristiv, kao i ekonomski opravdan deo iskoristive energije vetra.

3. Sadašnje stanje i perspektive razvoja vetroenergetike

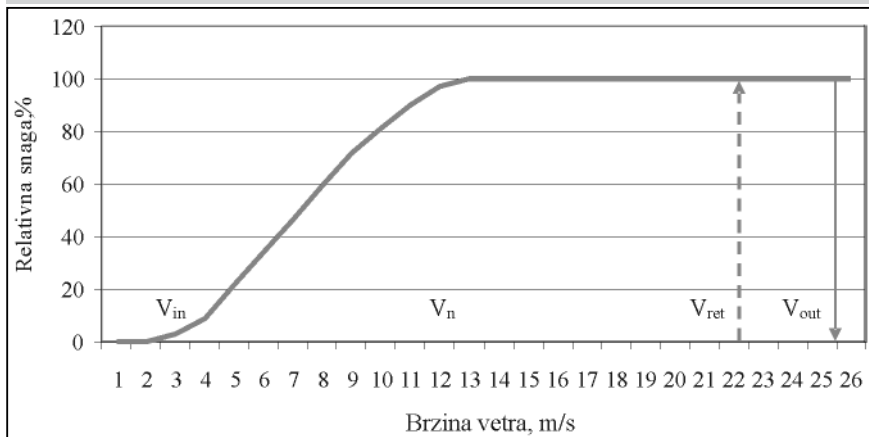
3.1. Vetroelektrane krajem 2007. godine

Vetroenergetika je bila deo elektroenergetike sa najbržim razvojem u poslednjih 10 godina. Prema podacima Evropske asocijacije za energiju vetra (EWEA), Evropa (bez Rusije) krajem 2007. godine imala je ukupno instalisani kapacitet vetroelektrana od 57136 MW, pri čemu je u 2007. godini dodata snaga od 8862 MW na instalisanu snagu krajem 2006. godine od 48563 MW, što čini godišnji priraštaj od 17,84%*. Pri tome su najveći instalisani kapaciteti bili u Nemačkoj (22247 MW), Španiji (15145 MW) i Danskoj (3125 MW), kako se vidi iz *tabele 1* [4].

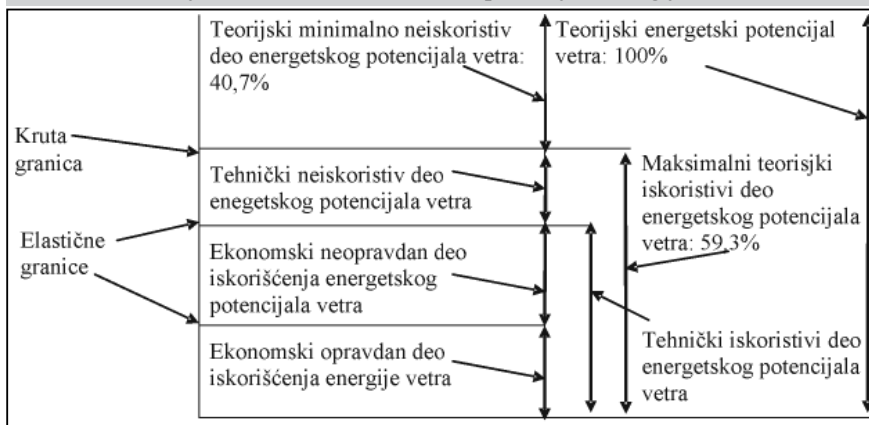
Van Evrope (koja je, inače, svetski lider u vetroenergetici), značajne instalisane kapacitete u vetroelektranama imaju SAD (16818 MW), Kina (6050 MW),

* Razlika od 89 MW zbira instalisanih snaga krajem 2006. godine i novih u 2007 godini (57225 MW) i instalisane snage krajem 2007. godine (57136 MW) pojavljuje se usled gašenja nekih vetroelektrana i aktualizacije stanja krajem 2007. godine.

Slika 1 Tipičan dijagram zavisnosti snage vetroturbine od brzine vetra [2]



Slika 2 Ilustracija međusobne veze različitih potencijala energije vetra [3]



Indija (8000 MW), Kanada (1826 MW), Japan (1538 MW), Australija (824 MW), dok je pojedinačno instalirana snaga u drugim vevnopskim zemljama koje ih imaju (Novi Zeland, Egipat, Tajvan, Brazil, Koreja itd.) manja od 400 MW. Krajem 2007. godine instalirana snaga vetroelektrana u svetu bila je 94100 MW, sa desetinama hiljada vetrogeneratora u pogonu, [4].

Mada je globalna proizvodnja električne energije u vetroelektranama tokom perioda između 2000. i 2007. godine porasla oko 5 puta, njeno učešće u pokrivanju ukupnih potreba električne energije u svetu je mala (reda 1%), ali sa daleko značajnijim procentima u nekim zemljama kao što su Danska (21,22%), Španija (11,76%), Portugalija (9,26%), Irska (8,42%), Nemačka (7,0%) i ukupno u Evropskoj Uniji (EU-27) 3,78%.

Pada u oči činjenica da su u dosadašnjem razvoju u Evropi „off-shore“ elektrane bile mnogo manje zastupljene sa instalisanom snagom samo 1079 MW (Danska 409 MW, Velika Britanija 404 MW, Švedska 133 MW, Holandija 10 MW i Irska 25 MW), što znači da je njihov udeo u ukupno instaliranom kapacitetu manji od 2%, dok ostalih 98% pripada

vetroelektranama na kopnu („on shore“), što navodi na zaključak da se u budućnosti mora pokloniti veća pažnja „off shore“ vetroresursima.

3.2. Evropski planovi razvoja vetroenergetike do 2050. godine

Evropski sektor za energiju vetra lansirao je u julu 2008. godine tzv. „Evropsku platformu za tehnologiju energije vetra“ (European Wind Energy Technology Platform-TP Wind), u kojoj su identifikovane i definisane prioritne oblasti za intenzivnije tehnološke inovacije, kao i sadašnji i novi zadaci istraživanja i razvoja [5]. Prvenstveni cilj Platforme je da se smanje socijalni, ekonomski i tehnološki troškovi električne energije iz vetroelektrana. Ona u suštini predstavlja putokaz za tehničko-tehnološka istraživanja u sektoru korišćenja energije vetra, kao i želju za saradnju između svih zemalja članica Evropske Unije, kako onih sa već razvijenom vetroenergetikom, tako i onih koje se nalaze na početku tog razvoja, ili ga samo planiraju. U Platformi se konstatuje da će u 2030. godini energija vetra predstavljati najsavremeniji energetski resurs sa gledišta pouzdanosti i cenovne konkurentnosti (shodno specifičnim troškovima po proizvedenom kWh).

Tržište energije će se u tom periodu formirati s obzirom na:

- Uticaj energetike na klimatske promene;
- Iscrpljivanje rezervi nafte i gasa;
- Visoku cenu obezbeđivanja sigurnosti snabdevanja gorivima;
- Penalizaciju proizvodnje gasova sa efektom staklene bašte (u prvom redu CO₂).

Smatra se da će realizacija planova zavisiti od tekućih procesa decentralizacije, dekarbonizacije i globalizacije kao opštih ciljeva. Razvoj vetrogeneratora se predviđa u tri faze:

Faza 1 (kratkoročna, do 2020. godine): Očekuje se da će tržište energije u Zapadnoj Evropi dostići punu zrelost i da će se takođe razviti u Centralnoj i Istočnoj Evropi. U tom periodu doći će do konkurencije između zemalja sa niskom cenom rada i otpočeće sistematsko iscrpljivanje „off shore“ vetroenergetskih izvora, pri čemu će instalirani kapacitet vetroelektrana dostići 180 GW, od čega 40 GW „off shore“.

Faza 2 (srednjeročna, od 2020. do 2030. godine): Korišćenje vetroenergije će nastaviti da se usavršava, kako „on shore“, tako i „off shore“, pri čemu će akcenat biti stavljen na dalje smanjenje proizvodnih troškova vetroenergije i tehnologija, koje dozvoljavaju visoku penetraciju vetroelektrana u nacionalne elektroenergetske sisteme. Krajem ovog perioda instalirani kapacitet vetroelektrana dostići će 300 GW, sa godišnjim priraštajem 20 GW, od čega je polovima „off shore“ a 7,5 GW zamena starih kapaciteta.

Faza 3 (dugoročna, od 2030. do 2050. godine): Glavna područja primene se predviđaju u korišćenju „off shore“ lokacija i zameni starih isluženih kapaciteta vetroelektrana. Evropska industrija će nastaviti da vlada svetskim tržištem vetrogeneratora i prateće opreme. Vetroelektrane će pokrivati oko 25% ukupnog tržišta Evropske Unije i snagu od oko 300 GW, što će odgovarati godišnjoj uštedi emisija CO₂ od blizu 600 miliona tona. Podršku ovakvom razvoju treba da pruži optimalna ekspanzija industrijskog razvoja u Evropi. Evropska tržišta energije treba da budu mnogo bolje integrisana, uz puno razdvajanje funkcija vlasništva nad sredstvima za prenos i delatnost proizvodnje, uz jače međusobno povezivanje i efikasno tržište na veliko, kao i funkcionisanje balansnih tržišta energije.

Pada u oči da su u ovoj viziji razvoja vetroenergetike [5] kvantitativni

Tabela 1 Instalirane kapacitete vetroelektrana u zemljama Evrope krajem 2007, [4]

Red. broj	Zemlja	Godina.			Porast, MW 2007.-2006.
		2005.	2006.	2007	
1.	Austrija	816,9	965	982	17
2.	Belgija	167,4	194	287	93
3.	Bugarska		36	70	34
4.	Kipar		0	0	0
5.	Češka Rep.	20,3	54	116	62
6.	Danska	3129,0	3136	3125	-11
7.	Estonija	32,0	32	58	26
8.	Finska	82,2	86	110	24
9.	Francuska	755,6	1567	2454	927
10.	Nemačka	18427,0	20622	22247	1625
11.	Grčka	573,3	746	871	125
12.	Mađarska	17,5	61	65	4
13.	Irska	480,2	746	805	59
14.	Italija	1639,0	2123	2726	603
15.	Letonija	24,0	27	27	0
16.	Litvanija	0,9	48	50	20
17.	Luksemburg	35,3	35	35	0
18.	Malta	-	0	0	188
19.	Holandija	1224,0	1558	1746	123
20.	Poljska	71,8	153	276	434
21.	Portugalija	1047,0	1716	2150	5
22.	Rumunija		3	8	0
23.	Slovačka	5,1	5	5	0
24.	Slovenija	0	0	0	0
25.	Španija	9911,0	11623	15145	3522
26.	Švedska	493,0	571	788	217
27.	Velika Britanija	1565,0	1962	2389	427
	Ukupno EU-27	40517,8	48069	56535	8466
28.	Hrvatska	4,7	17	17	0
29.	Makedonija	0	0	0	
30.	Turska		50	146	97
	Ukupno 28-30		67	163	97
31.	Island		0	0	0
32.	Lihtenštajn		0	0	0
33.	Norveška		325	333	8
34.	Švajcarska		12	12	0
	Ukupno 31-34		337	345	8
35.	Farska ostrva		4	4	0
36.	Ukrajina		86	89	3
37.	Srbija		0	0	0
38.	Crna Gora		0	0	0
39.	Andora		0	0	0
40.	Moldavija		0	0	0
41.	Belorusija		0	0	0
	Ukupno 35-41		90	93	3
	Sveukupno 1-41		48563	57136	8662

pokazatelji dati samo za prve dve faze, dok je u trećoj fazi akcenat stavljen na usavršavanje tehnologija. Drugim rečima, Platforma u svojim predviđanjima ne ide dalje od 300 GW instalirane snage vetroelektrana, sa glavnim udelom kopnenih „on shore“ kapaciteta u tim konačnim planovima do polovine 21. veka. Računajući sa srednjim faktorom godišnjeg

iskorišćenja kapaciteta od (pesimističke) vrednosti 0,2, to znači da će one obezbeđivati godišnju proizvodnju od 525 TWh/god.

Da se ova vizija pretvori u stvarnost, identifikovane su četiri tematske oblasti za istraživanje. To su:

- Planiranje korišćenja vetroresursa sa visokim stepenom preciznosti (sa neizvesnošću manjom od 3%);

- Tehnologija vetroturbina i generatora takva da 2030. godine vetroenergija postane najjeftiniji energetske resurs;
- Integracija vetroenergetskih sistema, koja će dozvoliti visoke stepene penetracije uz minimalne troškove i uz održavanje visoke pouzdanosti i sigurnosti napajanja potrošača električnom energijom;
- Iscrpljivanje i eksploatacija „off shore“ lokacija za vetroelektrane, tako da se više od 10% potreba pokriva sa postrojenjima tog tipa, uz proizvodne troškove koji će biti konkurentni drugim izvorima električne energije. Tu dolazi i razvoj tehnologije vetroelektrana za lokacije na vodenim površinama dubine do 50 m uz demonstraciju vetropostrojenja na dubinama preko 50 m, kao i plutajućih vetrogeneratora.

Za ostvarivanje vizije platforme TP Wind do 2030. godine neophodno je da se obezbede stabilno tržište i zakoni. U razvoju strategije tržišta razmatraju se sledeće oblasti:

- Tehnički razvoj;
- Smanjenje troškova;
- Minimizacija birokratije i administrativnih procedura;
- Integracija vetroelektrana u prirodno okruženje i
- Obezbeđivanje podrške javnosti za razvoj vetroenergetike.

U svetlu poslednjih promena energetske politike u Evropi i socijalnih i ekoloških zateva postoji urgentna potreba da se aktualizuju ciljevi finansiranja istraživanja razvoja i demonstracionih projekata u oblasti energetike, kako bi se osnažila evropska inicijativa, definisana u stratejskom tehnološkom planu za energiju (Strategic Energy Technological Plan – SET Plan), kao ključna prilika da Evropa zadrži svoje liderstvo u istraživanju, razvoju i realizacijama projekata vetroenergetike. Razmatranja u TP Wind Platformi su u punoj saglasnosti sa SET Planom.

4. Energetski potencijal vetra u Srbiji

Za planiranje izgradnje vetroelektrana osnovno je poznavanje prostornog rasporeda i karakteristika vetra, jer se na osnovu podataka o raspoloživosti, intenzitetu i učestalosti pojave vetra određuju bliže lokacije i veličine budućih vetroelektrana. Da se dobiju

ti podaci, neophodna je uska saradnja stručnjaka energetičara i meteorologa, jer ti podaci nisu raspoloživi u potrebnom obimu i formi u statistikama koje se standardno vode u postojećim meteorološkim službama. Oni se najracionalnije mogu dobiti putem sistematskih merenja brzine i ruže vetrova na određenim visinama iznad tla tokom dužeg vremenskog intervala (od više godina). Statističkom obradom tih podataka za pojedina područja mogu se uočiti zakonitosti pojave i učestalosti varijacija brzine vetra na godišnjem intervalu. Takav pristup se trenutno sprovodi na samo nekoliko lokaliteta u Srbiji.

Interes za praktični aspekt vetroenergetike u Srbiji se pojavio krajem prošlog veka (do tada je vetroenergetika smatrana kao oblast egzotike) i to prvo u naučnim krugovima na univerzitetu i u nekim institutima. Suočeni sa priličnom nezainteresovanošću elektroprivrede i industrije, s jedne strane, i sa nedostatkom osnovnih podataka sa terena, sa druge strane, zainteresovani za vetroenergetiku su samo mogli da prate literaturu i uče.

Shvatanja su promenjena tokom poslednjih desetak godina, kada se vetroenergetika u svetu našla u žiži interesovanja. Nažalost, taj period nije spremno dočekan u osiromašenoj Srbiji, sa razorenom privredom. I tu je napravljena još jedna greška: rad na problemima vetroenergetike se odvija u dezorganizovanom ambijentu, na više različitih strana, ali se nigde nije maklo daleko od početka. Takvo stanje na neki način pothranjuju razni (uglavnom) inostrani kvazi-investitori, koji se pojave sa velikim planovima i obećanjima i po pravilu iščeznu čim se suoče sa komplikovanom birokratskom procedurom, pre nego što se učini neki značajniji korak. U radu na tom polju nema koordinacije, pa ni nekih opipljivih praktičnih rezultata, mada ima dosta neutemeljenih reklamiranja navodno uspešnih početnih realizacija.

Dve značajnije studije koje su finansirali EPS [6] i Ministarstvo nauke i tehnološkog razvoja [7], istraživale su energetski potencijal vetra u Srbiji. U prvoj od tih studija [6] su na bazi standardnih meteoroloških podataka o merenju brzine vetra svakih 10 minuta na visini od 10 m iznad tla, simulacijom preko matematičkih modela proračunate brzine vetra na visini od 50 m (prema klasifikaciji brzina iz Evropskog atlasa vetra (European Wind Atlas) iz 1989. godine. Na taj način su identifikovane lokacije u Srbiji sa brzinom vetra većom od 6

m/s. Analiza tako dobijenih rezultata je pokazala da u Srbiji postoji značajan broj (oko 250) lokacija na kojima vetar duva preko 50% vremena u godini sa izračunatom (na modelu) srednjom brzinom većom od 6 m/s. Na taj način određene najpovoljnije lokacije, gde je verovatnoća pojavljivanja brzine vetra ≥ 6 m/s veća od 50% godišnje prikazane su u *tabelama 2 i 3*.

Ako se pretpostavi da je za ekonomičnu proizvodnju električne energije savremenim vetrogeneratorima shodno *slici 1* potreban vetar sa srednjom godišnjom brzinom od 6 m/s i većom, određenom na visini od 50 m iznad tla, u studiji [6] je zaključeno da Srbija po tom kriterijumu ima potencijal na površini od 471,25 km². Ukoliko bi bio iskorišćen celokupni energetski potencijal vetra na toj površini, moguća je izgradnja vetroelektrana instalisanih kapaciteta 1316 MW. Uz pretpostavku realno ostvarivog godišnjeg iskorišćenja kapaciteta od $m^s = 0,2$ ($T^s \approx 1750$ h), moguća godišnja proizvodnja vetroelektrana u Srbiji bila bi oko 2,3 TWh. To je daleko manje od neutemeljenih optimističkih pretpostavki raznih energetskih "eksperata" koji reklamiraju vetroenergetiku u sredstvima javnog

informisanja i u javnosti pothranjuju nerealna očekivanja. Poređenja radi, ta proizvodnja je otprilike onolika koju bi obezbedio turboagregat snage 500 MW sa ne tako visokim godišnjim faktorom iskorišćenja kapaciteta $m^s = 0,525$ ($T^s \approx 4600$ h).

Shodno rezultatima iz ref. [3], na slici 3 je data zavisnost specifične cene proizvedenog kWh, za realne uslove finasiranja, u funkciji broja časova godišnjeg iskorišćenja instalisane snage za dve cene jedinične instalisane snage vetrogeneratora, 1300 €/kW i 1500 €/kW. Može se reći da bi se za uslove u Srbiji stvarna cena proizvedenog kWh nalazila između te dve krive za pomenute investicione izdatke. Tako, na primer, za $T^s = 2000$ h, ona bi bila između 9,45 c€/kWh (za specifične investicije 1300 €/kW) i 10,75 c€/kWh (za specifične investicije 1500 €/kW). Znači, još uvek, i pri optimističkim pretpostavkama investicionih troškova (koji u ceni proizvedenog kWh učestvuju sa 75-80%), ta cena je dosta viša od proizvodne cene u klasičnim termoelektranama na fosilna goriva (oko 6 c€/kWh).

Studija [7] je kao glavni rezultat dala mape snage i energije vetra za teritoriju Srbije u mesecima januaru i julu, kao i

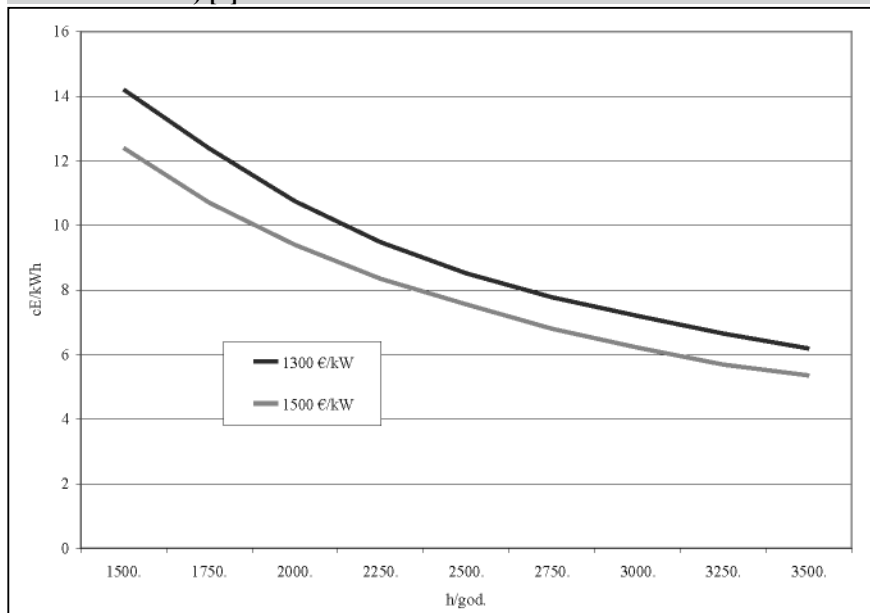
Tabela 2 Lokacije sa najvećim srednjim godišnjim brzinama vetra prema studiji [6]

Lokacija (Merna stanica)	Nadmorska visina H_{nv} , m	Srednja godišnja brzina vetra, V_{sr}^g , m/s
Midžor	2169	7,66
Suva Planina	1155	6,46
Vršacki Breg	430	6,27
Tupižnica 1	1098	6,25
Krepoljin	679	6,18
Tupižnica 2	1066	6,14
Deli Jovan	1005	6,13

Tabela 2 Lokacije sa verovatnoćom pojave srednje godišnje brzine vetra ≥ 6 m/s prema studiji [6]

Lokacija (Merna stanica)	Površina km ²	Učestalost pojave, %/god
Midžor	19,75	56
Deli Jovan	4,75	54
Jastrebac	1,75	54
Stara Planina -jug	7,25	54
Kopaonik	5,25	54
Juhor	3,00	54
Suva Planina	2,50	55
Tupižnica	3,00	54
Krepoljin	3,50	54
Vršac 1	0,50	59
Vršac 2	0,25	53
Šara 1	4,50	56
Šara 2	2,75	56
Šara 3	2,00	56

Slika 3 Dijagram specifičnih troškova proizvedenog kWh u vetroelektranama za dve vrednosti jediničnih investicionih troškova po instalisanom kW (1300 €/kW i 1500 €/kW) [3]



za celu godinu. Metoda izrade tih mapa je, po uzoru na Evropski atlas vetra iz 1989. godine, bazirana na sinoptičkoj meteorologiji, gde je uticaj topografije terena uvažavan samo indirektno, u meri u kojoj se oseća na podacima merjenja. Te mape preslikavaju samo izmerene podatke na meteorološkim stanicama koje su pretežno locirane na malim nadmorskim visinama sa merenjima na visini od 10 m iznad tla. Te izmerene vrednosti prizemnog vetra su služile za proračune brzine vetra na 100 m korišćenjem jednačine profila vetra uz uvažavanje hrapavosti tla.

Za proračun brzine vetra na visini od 100 m iznad tla korišćen je tzv. model logaritamskog profila vetra

$$V(z) = V(h) \cdot \left\{ \ln \left(\frac{z}{z_0} \right) / \ln \left(\frac{h}{z_0} \right) \right\} \quad (9)$$

gde je $V(z)$ brzina vetra na visini z iznad tla (ovde je $z=100m$);

$V(h)$ brzina vetra izmerena na visini h (ovde je $h=10 m$);

z_0 parametar hrapavosti podloge.

Takođe je korišćena empirijska formula

$$V(z) = V(h) \cdot \left\{ \left(\frac{z}{z_0} \right) / \left(\frac{h}{z_0} \right) \right\}^a \quad (10)$$

gde je a ($0,1 \leq a \leq 0,4$) koeficijent koji zavisi od položaja meteorološke stanice.

Rezultati proračuna prosečne godišnje

snage vetra na visini od 100 m prikazani su na slici 4, a prosečne godišnje energije vetra na slici 5 prema studiji [7]. Nije jasno da li su rezultati na tim mapama izračunati za veličinu ukupne ili samo za iskoristivu energiju vetra, koje se, shodno jednačini (8), mogu međusobno dosta razlikovati. Inače, opšti zaključak studije [7] "da Srbija raspolaže sa natprosečnim resursima energije vetra u odnosu na zemlje kontinentalne Evrope" je dosta optimistički.

Isti obrađivač (Institut za multidisciplinarnu studiju) je u okviru Programa tehnološkog razvoja Ministarstva nauke i tehnološkog razvoja tokom 2008. godine izradio "Atlas energetskeg potencijala sunca i vetra Srbije" [8]. U toj studiji je kao neposredan prioritet daljeg istraživanja definisanje energetskeg potencijala vetra prema standardnoj metodologiji EU, čiji je očekivani rezultat "precizna procena resursa vetra". Ona se sastoji od četiri osnovne komponente:

- Analitički model procene resursa energije vetra primenjen na nacionalnom nivou;
- Aplikativni model procene resursa energije vetra na mikro nivou;
- Model informaciono-tehnološke podrške;
- Modelovanje profila vetra i optimalnog generisanja električne energije.

Pomenuti Atlas energetskeg potencijala sunca i vetra u domenu energije daje:

- Metodologiju izrade Atlasa;
- Prostornu distribuciju energetskeg

potencijala kroz mape snage i mape energije vetra na visini od 100 m iznad tla za referentne mesece, godinu i grejnu sezonu;

- Strukturu numeričke baze izvornih podataka i statistički izvedenih podataka za referentne lokalitete;
- Profile brzina i energije vetra (iz baze grafičkih podataka) za referentne lokalitete, kao i komparativne analize profila vetra na različitim klimatskim područjima i komplementarnosti energija sunca i vetra.

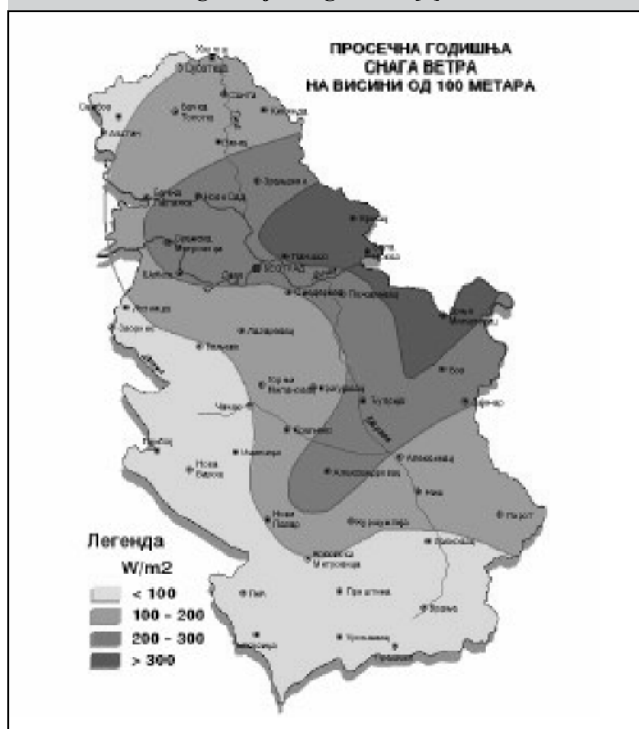
Ukupna raspoloživa godišnja količina energije vetra za celu teritoriju Republike Srbije je procenjena na 2400 TWh, dok je prosečna godišnja količina po jedinici površine na visini 100 m iznad tla između 900 kWh/m² (na jugozapadu i jugu Srbije) i 2700 kWh/m² (u istočnom delu Srbije). Maksimalne vrednosti ove energije javljaju se u regionu košave i nekim planinskim lokalitetima, dok su „vrlo iskoristivi“ potencijali identifikovani u centralnoj Srbiji, odnosno u Pomoravlju i Timočkoj krajini.

Rezultati Atlasa su optimistički, jer je izveden zaključak da je „potencijal energije vetra veoma dobar i pogodan za proizvodnju električne energije“. Međutim, on nije potvrđen adekvatnim merenjima na svim lokacijama, nego procenjen na osnovu standardnih meteoroloških osmatranja i preračunavanjem, koje može dati samo indikativne, a ne rezultate na kojima se mogu zasnovati konkretni projekti. Stoga se za takve projekte planiraju i sprovode adekvatnija lokalna istraživanja [9], kako bi na njima zasnovana rešenja bila realno ostvariva i ekonomski i energetske opravdana.

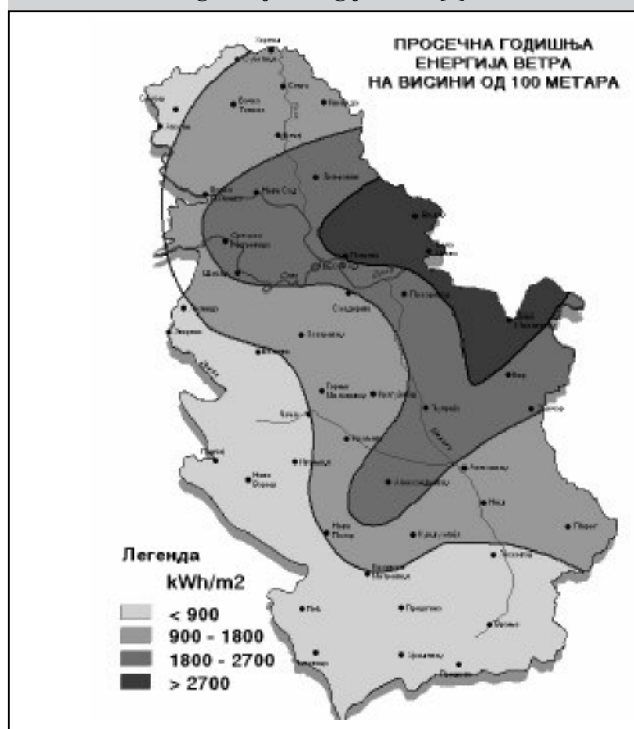
5. Zaključak

Vetroelektrane imaju intermitentnu, jako promenljivu i teško predvidivu proizvodnju, te ne mogu samostalno napajati potrošače, bez pomoći klasičnih termoelektrana i hidroelektrana, ili dodatnih sistema za akumulaciju električne energije. One takođe ne mogu odgovarati regularnim promenama opterećenja u sistemu, što znači da ne mogu učestvovati u primarnnoj i sekundarnj regulaciji ni u režimu programa praćenja opterećenja. Time vetroelektrane povećavaju zahteve za regulacionom i operativnom rezervom, jer se praktično mogu koristiti samo u režimu rada prema vetru, za popunjavanje baznog dela dijagrama opterećenja, sa svom nepredvidljivošću koja karakteriše sam vetar. Za relativno male faktore penetracije (manje od 10%) ovi zahtevi obično ne dovode do

Slika 4 Prosečna godišnja snaga vetra [7]



Slika 5 Prosečna godišnja energija vetra [7]



značajnijih poremećaja u eksploataciji elektroenergetskih sistema, ali to može biti slučaj ako su faktori penetracije veliki, a pri tome nisu iskorišćeni optimalni energetske potencijali vetra. Budući dugo zapostavljen, energetske potencijal vetra u Srbiji je danas predmet intenzivnog istraživanja. Koliki je stvarno raspoloživi i energetske iskoristivi potencijal vetra takva neusmerena i nekoordinirana istraživanja teško da mogu utvrditi. Sa druge strane, postoji ograničena mogućnost učešća vetroelektrana u elektroenergetskom sistemu Srbije, te stoga i logična potreba da se ustanove optimalni lokaliteti i granični kapaciteti za njihovu izgradnju. Dosadašnja i tekuća istraživanja energetske potencijala vetra su dovela do izvesnih podataka, ali praktično neupotrebljivih za usmerenu primenu radi njegovog optimalnog i racionalnog iskorišćenja. Kako ni ostali prateći aspekti vetroenergetike (ekonomija, regulativa, priključenje na elektroenergetsku mrežu, uticaj na životnu sredinu i drugi) nisu sistematski i koordinirano istraženi, još ne postoje svi elementi o kojima je nužno voditi računa pri utvrđivanju optimalnih energetske potencijala vetra uz uvažavanje specifičnosti lokacija i tehnologije vetroelektrana kao izvora električne energije u Srbiji.

Reference

- [1] S. Heier: „Grid Integration of Wind Energy Conversion Systems“, Wiley, Chichester, UK., 1996.
- [2] T. Ackerman (Editor): „Wind Power in Power Systems“, Wiley, Chichester, UK., 2005.
- [3] M. Čalović i M. Mesarović: „Vetroelektrane u savremenim elektroenergetskim sistemima“, članak priredjen za objavljivanje u časopisu Elektroprivreda u 2009. godini.
- [4] *** "Wind Power Installed in Europe by End of 2007", EWEA, Bruxelles, 2008.
- [5] *** "Strategic Research Agenda: Market Development Strategy from 2008 to 2030", European Wind Technology Platform, Bruxelles, July 2008.
- [6] „Mogućnost korišćenja energije vetra za proizvodnju električne energije“, Studija, Tekon Tehnokonsalting i Republički Hidrometeorološki Zavod, Beograd, 2002.
- [7] „Studija energetske potencijala Srbije za korišćenje sunčevog zračenja i energije vetra“, Centar za multidisciplinarnu studije Univerziteta u Beogradu, Beograd, 2004.
- [8] "Snaga sunca i vetra - Vetar u jedra Srbije", Centar za multidisciplinarnu studije

Univerziteta u Beogradu, Beograd 2009.

- [9] R. Raković, C. Liljergren, F Lindahl: "Towards Application of Wind Energy Solutions for Regional Power Supply Within Mountain Region of Serbia", International Congress on Renewable Energy Sources and Energy Efficiency, Plovdiv, Bulgaria, 2005.

Mobilni hibridni vetar-solarni sistem za autonomno napajanje izolovanih potrošača

I. Uvod

Potreba za napajanjem izolovanih potrošača je prisutna i česta. Zbog toga, tokom prethodnih decenija razvijani su modeli agregata sa motorom sa unutrašnjim sagorevanjem, i danas takvi agregati veoma uspešno odgovaraju izolovanim energetske potrebama.

Sa pretećim nestankom fosilnih goriva i stalnim rastom cena, kao i sve bržem jačanju ekološke svesti, logičan korak je bio uvođenje obnovljivih izvora energije i u ovaj sektor.

Mobilni hibridni vetar-solarni sistem je zamišljen kao alternativa manjim benzinskim agregatima i u uslovima gde su dostupni obnovljivi resursi solarne i energije vetra.

Projekat mobilnog hibridnog vetar-solarnog sistema je odobren od strane Ministarstva za Nauku Republike Srbije [1], i u ovom radu su predstavljeni neki rezultati proistekli iz istraživanja tokom trajanja projekta.

II. Opis mobilnog hibridnog vetar-solarnog sistema

Mobilni hibridni vetar solarni sistem se sastoji od vetrogeneratora, fotonaponskih panela, akumulatorskih baterija, invertora i električnog razvoda smeštenih na standardnu zatvorenu automobilsku prikolicu.

Pri transportu sistema sa jedne lokacije na drugu, sve njegove komponente su smeštene u prikolici. Po dolasku na željenu lokaciju vetrogenerator se sklapa, i za pravilno funkcionisanje sistema je potrebno 10 x 10 m slobodnog zemljišta, dostupnost energije sunčevog zračenja, kao i energije vetra.

Na slici 1 je prikazan mobilni hibridni vetar-solarni sistem u trenutku rada vetrogeneratora i fotonaponskih panela.

Rezime

U radu je opisan mobilni hibridni vetar-solarni sistem za napajanje električnom energijom izolovanih potrošača. Sistem se sastoji od vetrogeneratora maksimalne snage 750W i solarnih fotonaponskih modula maksimalne snage 250W. Ceo sistem je postavljen na automobilsku prikolicu, čime je postignuta mobilnost sistema, a pored ovih komponentata poseduje i bateriju za akumulaciju električne energije kapaciteta 276Ah, 12V, kao i invertor za napajanje naizmeničnih potrošača. Posebno su obrazložene prednosti ovog sistema nad postojećim izvorima autonomnog napajanja.

Ključne reči: Mobilni hibridni vetar-solarni sistem, vetrogenerator, fotonaponsko napajanje, autonomno napajanje.

Abstract

This paper presents mobile hybrid wind-solar system for isolated consumption electric energy supply. System consists of 750W wind generator and 250Wp solar photovoltaic modules. Whole system is placed on simple car trailer, which provided mobility for whole system. System also possesses 276Ah, 12V battery for accumulation of electric energy. Advantages of this system over conventional methods of isolated consumption supply are elaborated.

Key words: Mobile hybrid wind-solar system, wind generator, photovoltaic supply, isolated consumption supply.

Tehničke karakteristike prikolice su prikazane u tabeli 1.

Prikolica poseduje ručnu kočnicu, stabilizatore koji se postavljaju za vreme rada sistema kao i propisanu signalizaciju radi učestvovanja u saobraćaju.

Jedan deo prikolice je izdvojen za smeštaj akumulatorskih baterija, a drugi za razvodnu tablu na kojoj se nalaze utičnice za priključak raznih potrošača, kao i razvodna tabla sa osiguračima.

Osnovne karakteristike vetar-solarnog sistema su prikazane u tabeli 2.

Principijelna šema rada vetar-solarnog sistema je data na slici 3.

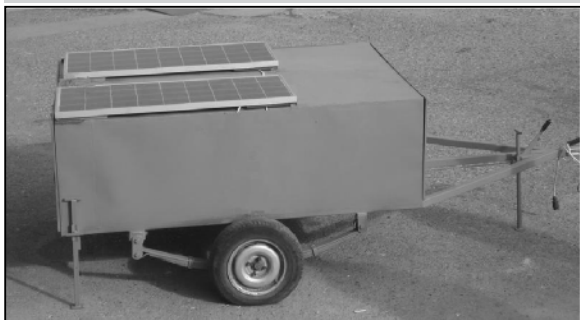
Slika 1 Mobilni hibridni vetar-solarni sistem



Tabela I Tehničke karakteristike prikolice

Širina	2 m
Dužina	2,5 m
Visina	1,05 m
Težina (sa kompletnom opremom)	735 kg

Slika 2 Prikolica mobilnog hibridnog vetar-solarnog sistema



Fotonaponski moduli su montirani na gornjoj strani prikolice, dok je sve ostala oprema zaključana unutar prikolice. Moduli su uvek preko regulatora povezani na baterije, pa se njihovo dopunjavanje može vršiti čak i tokom vožnje. Po dolasku na željenu lokaciju, potrebno je montirati vetrogenerator i povezati ga na sistem. Ostavljena je mogućnost podešavanja ugla fotonaponskih modula do 30° u odnosu na horizontalu.

Mobilni hibridni vetar-solarni sistem se praktično sastoji iz dva podsistema:

1) Podsistem za generisanje električne energije i dopunjavanje akumulatorske baterije koga čine vetrogenerator, fotonaponski paneli i baterija.

2) Podsistem za potrošnju električne energije koga čine baterija, inverter i uređaj koji se napaja (potrošač).

Podsistem za generisanje električne energije za svoj optimalan rad zahteva postavljanje mobilnog hibridnog vetar-solarnog sistema na osunčane i vetrovite lokacije. Fotonaponski paneli su najefikasniji kada su okrenuti prema jugu i sa pogodnim nagibnim uglom za dato doba godine. Uz pretpostavku

da će se ovaj hibridni sistem više koristiti tokom toplijih 6 meseci, ugao je najbolje podešavati od 30° tokom marta do 10° tokom jula[2]. Vetrogenerator je najefikasniji na čistim, nešumovitim područjima, na vrhovima brda ili na lokacijama pored reka [3].

Pri dimenzionisanju podsistema za potrošnju električne energije se uvažila fleksibilnost prema vrsti potrošača. Potrošačima se pomoću odabranog invertora pruža mogućnost napajanja naizmeničnim naponom 220V, 50Hz, ili se mogu napajati preko regulatora punjenja jednosmernim naponom 12V. Odabrani inverter je pogodan za napajanje različitih potrošača. Osim što pruža stabilan izvor napona, ima izrazito povoljne karakteristike za napajanje potrošača koji zahtevaju veće struje tokom pokretanja. Inverter trpi preopterećenje do 300% svoje nominalne snage u trajanju od 5 sekundi,

kao i preopterećenja do 50% u trajanju do 30 minuta

III. Napajanje pomoću benzinskih agregata

Trenutno rešenje za autonomno napajanje potrošača je korišćenjem agregata sa motorom sa unutrašnjim sagorevanjem. Za veće snage (preko 10 kVA) su pogodniji dizel agregati, dok su za manje energetske potrebe pogodniji benzinski agregati.

Honda EU20i benzinski agregat po izlaznoj snazi odgovara mobilnom hibridnom vetar-solarnom sistemu, pa su zato ova dva energetska izvora pogodna za poređenje. Karakteristike ovog agregata[4] su prikazane u tabeli 3.

Proizvođač agregata daje garanciju u trajanju od 5 godina, pri čemu smatra da vreme rada tokom jedne radna godina agregata iznosi oko 200 radnih sati [4]. Lako se računa da je vek trajanja agregata oko 1000 radnih sati

IV. Poređenje rada benzinskog agregata i mobilnog hibridnog vetar solarnog sistema

Poređenje rada ova dva izvora energije ima više aspekata.

Osnovne i najuočljivije mane novog sistema nad konvencionalnim su:

- robusnost, odnosno mobilni hibridni sistem je i veći i teži od benzinskog agregata,
- zavisnost od heurističkih veličina (vetrovitost, osunčanost)

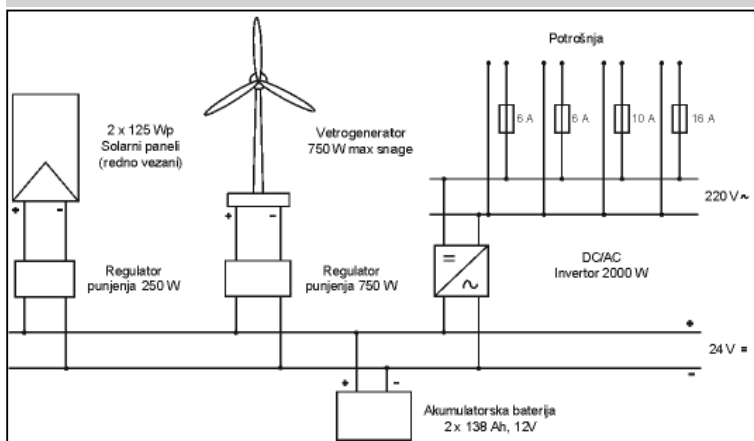
Tabela II Karakteristike vetar-solarnog sistema

Vetrogenerator (P_{max})	750 W Tri elise prečnika 2,4m Visina stuba 8m (4 x 2m)
Fotonaponski moduli	2 x 125 Wp
Akumulatorske baterije	2 x 138 Ah, 20h, 12 V
Regulatori punjenja	1 x 750 W 1 x 400 W
Invertor	2000 W

Tabela III Tehničke karakteristike honda eu20i benzinskog agregata

Maksimalna snaga	1600 W (2000 VA)
Dimenzije	0,51 x 0,29 x 0,425 m
Težina	21 kg (bez goriva)
Kapacitet rezervoara	4,1 l
Vreme potrošnje celog rezervoara pri ¼ opterećenja	10,5 h

Slika 3 Principijelna šema mobilnog hibridnog vetar-solarnog sistema



Slika 2 Benzinski agregat Honda EU20i



⇒ energija

- viši investicioni troškovi,
- više komponenti koje mogu da se pokvare.

Ipak, prednosti novog sistema se ne mogu zaobići:

- nepotrebnost svakodnevnog dopunjavanja goriva,
- duži vek trajanja,
- bežuman rad,
- potpuno ekološki prihvatljiv izvor energije.

Pored sagledavanja osnovnih karakteristika, analizirali smo rad oba sistema. Analize su obuhvatale priključenja različitih potrošača na inverter mobilnog hibridnog sistema, kao i na benzinski agregat. Potrošači koji su se priključivali su:

- inkandescentne sijalice snaga 25, 75 i 150 W
- kompakt fluorescentne sijalice 15 i 17 W
- kućište računara
- monitor
- frižider

Zaključak ispitivanja je da je inverter kvalitetniji izvor napajanja iz više razloga:

- Inverter predstavlja stabilniji izvor napajanja, što naročito osećaju osetljivi potrošači poput elektronske opreme.
- Inverter se pokazao kao veoma fleksibilan u režimima polaznih struja, jer je bio u stanju da u kratkom vremenskom roku izdrži velika preopterećenja, dok je pri ispitivanju benzinski agregat kratkotrajno gubio brzinu obrtanja zbog nemogućnosti da trpi preopterećenja bilo koje vrste.
- Benzinskim agregatima odgovara konstantno opterećenje, pa česte promene opterećenja, kao i veoma mala opterećenja poput samo jedne sijalice ne prijaju agregatu i skraćuju mu radni vek.

Najvažniji aspekt poređenja dva izvora energije je ekonomski. Investiciona, cena goriva i cena održavanja oba uređaja se veoma razlikuju. Merodavan faktor koji uvažava sve navedene faktore je cena električne energije na pragu izvora energije. U daljem tekstu je izložena kraća tehno-ekonomska analiza koja poredi ova dva uređaja[5]:

1. Benzinski agregat Honda EU20i

Cena agregata Honda EU20i je oko 1150 €, što predstavlja ukupne investicione troškove.

Pri optimalnoj potrošnji od $\frac{1}{4}$ maksimalne snage, i sa punim rezervoarom, agregat može raditi 10,5h.

Ako je kapacitet rezervoara 4,1l, može se izračunati potrošnja goriva po kWh:

$$\frac{1}{4} \cdot 1600 \text{ W} \cdot 10,5 \text{ h} = 4200 \text{ Wh}$$

$$\frac{4,1\text{l}}{4462,5 \text{ Wh}} = 0,976 \frac{\text{l}}{\text{kWh}}$$

Kao gorivo, agregat koristi bezolovni benzin. Prosečna cena ovog goriva iznosi oko 1,3€. Cena goriva po proizvedenom kWh je dakle:

$$0,976 \frac{\text{l}}{\text{kWh}} \cdot 1,3 \frac{\text{€}}{\text{l}} = 1,269 \frac{\text{€}}{\text{kWh}}$$

Troškovi održavanja podrazumevaju periodično čišćenje filtera za gorivo, što se može zanemariti. Pored toga, prema prospektu proizvođača[4], na svakih 50 radnih sati treba dosuti ulje u motor. Količina ulja koja se dosipa je oko 3 dl, pri čemu je cena kvalitetnog ulja oko 10€. Može se izračunati i količina ulja po kWh.

Ukupna cena eksploatacionih troškova (gorivo i održavanje) iznosi po kWh:

$$\frac{0,3\text{l}}{50\text{h}} \cdot \frac{10,5\text{h}}{4200\text{Wh}} \cdot 10 \frac{\text{€}}{\text{l}} = 0,15 \frac{\text{€}}{\text{kWh}}$$

Ukupna energija koja se tokom veka trajanja agregata generiše iznosi:

$$\frac{1000\text{h}}{10,5\text{h}} \cdot 4200 \text{ Wh} = 400 \text{ kWh}$$

Na kraju se može sagledati cena proizvedenog kWh električne energije tokom veka trajanja agregata, uračunavajući investicionu cenu uređaja, troškove goriva kao i održavanja u vidu stalne provere ulja u motoru (cena na pragu izvora):

$$\frac{1150 \text{ €} + 400 \text{ kWh} \cdot 1,4188 \frac{\text{€}}{\text{kWh}}}{400 \text{ kWh}} = 4,294 \frac{\text{€}}{\text{kWh}}$$

2. Mobilni hibridni vetar-solarni sistem

Investiciona cena ovog sistema iznosi oko 8000€. Ovaj sistem nema troškove goriva (eksploatacioni troškovi).

Održavanje se svodi na zamenu baterija posle 5 godina, što predstavlja dodatni trošak od 400€. Potrebno je periodično čišćenje panela i pregled instalacije, kao i pregled prikolice i eventualna zamena točkova i manje prepravke, što će se aproksimirati godišnjim troškovima od oko 200€.

Srednja dnevna energija koju fotonaponski paneli ovog sistema mogu da proizvedu (na našim prostorima), iznosi oko 0,9 kWh[2]. Sa gubicima

[209]

opisanim u prethodnoj tački, dobija se dnevna korisna energija iz ovog sistema u iznosu oko 0,55kWh. Energija koja se može dobiti iz vetrogeneratora zavisi od lokacije i veoma je promenljiva. Procena na našim prostorima ukazuju da vetrogenerator prosečno radi maksimalnom snagom dnevno u trajanju od 3,5h. Ukupna energija koja se iz njega dobija poseduje napred opisane gubitke tako da korisna snaga iznosi:

$$3,5 \text{ h} \cdot 750 \text{ W} \cdot 0,95 \cdot 0,92 \cdot 0,8 \cdot 0,97 = 1,780 \text{ kWh.}$$

Ukupna dnevna korisna energija na pragu ovog izvora iznosi:

$$1,780 \text{ kWh} + 0,55 \text{ kWh} = 2,33 \text{ kWh.}$$

Tokom veka trajanja mobilnog hibridnog vetar-solarnog sistema (pretpostavka 10 godina) proizvede se ukupno:

$$2,33 \text{ kWh} \cdot 365 \cdot 10 = 8504,5 \text{ kWh.}$$

Sada se može izračunati prosečna cena električne energije na izlazu iz ovog sistema:

$$\frac{8000\text{€} + (400\text{€} + 10 \cdot 200\text{€})}{8504,5 \text{ kWh}} = 1,223 \frac{\text{€}}{\text{kWh}}$$

Razlika u ceni proizvedenog kWh je očigledna i ide u korist mobilnog hibridnog vetar-solarnog sistema

V. Zaključak

Obavljena merenja i tehno-ekonomska razmatranja tokom projekta razvoja mobilnog hibridnog vetar-solarnog sistema prikazala su mogućnost autonomnog napajanja izolovanih potrošača električnom energijom proizvedenom iz obnovljivih resursa.

Mobilni hibridni vetar solarni sistem, koga čine vetrogenerator maksimalne snage 750W i fotonaponski paneli maksimalne snage 250W, je pokazao neke prednosti u odnosu na standardni benzinski agregat, a koje se ogledaju u nezavisnosti od fosilnih goriva, stabilnosti izvora napajanja, kao i očuvanju životne sredine.

Izložena tehno-ekonomska analiza je pokazala da je cena električne energije koja se dobija iz mobilnog hibridnog vetar-solarnog sistema od 1,223 €/kWh u potpunosti konkurentna ceni električne energije na izlazu iz benzinskog agregata od 4,294 €/kWh.

Povećanje efikasnosti fotonaponskih ćelija i vetrogeneratora, kao i dalji razvoj mobilnog hibridnog vetar-solarnog sistema bi pomogao ostvarivanje apsolutne konkurentnosti nad benzinskim agregatima odgovarajućih snaga i na lokacijama

dovoljnog solarnog i vetro-potencijala

VI. Zahvalnost

Autori bi želeli da zahvale Ministarstvu Nauke Republike Srbije i Gradskoj Energetici grada Beograda za finansiranje projekta mobilnog hibridnog vetar-solarnog sistema.

VII. Literatura

- [1] Inovacioni projekat Ministarstva Nauke „Razvoj hibridnog vetar-solarnog pilot sistema za napajanje električnom energijom izolovanih potrošača u ruralnim regionima u Srbiji“, ev. br. 451-01-02960/2006-72.
- [2] Internet sajt SOLAREC finansiran od strane Evropske komisije,
- [3] Dušan Mikičić, Željko Đurišić, Branko Radičević, Amir Kunosić, Atlas energetskog potencijala Sunca i vetra Srbije, Izveštaj projekta TD-7042-B, jun 2008.
- [4] Tehničko uputstvo proizvoda Honda EU20i, <http://www.hondasrbija.co.yu>.
- [5] Dušan Nikolić, Svetlana Stevović, „Cena električne energije iz obnovljivih izvora u sistemima autonomnog napajanja male potrošnje“, VII simpozijum industrijska elektronika Indel 2008, Banja Luka, 06-08. novembar 2008.

Doprinos obnovljive energije na očuvanje životne sredine i energetskog bilansa

Rezime

Imajući u vidu sve veće zahteve za energijom, realno je očekivati da određen nedostatak kvalitetnih oblika energija, što upućuje da već danas treba intezivirati uvođenje i korišćenje novih obnovljivih izvora energije (sunčeva, vetar, geotermalne koja je i predmet ovog rada, biomasa i dr.) koje danas u opštem energetskom bilansu sveta učestvuju sa oko 2 %.

Sedamdesetpet procenata (75 %) aktivno – angažovane energije za grejanje i hlađenje prostora može se pokriti korišćenjem energije koju zemlja oslobađa. Korišćenje energije zemlje prikazano matematičkim modelom je :

$$Q_1 = Q_2 + E$$

Energija dobijena iz zemlje Q_2 → Pogonska energija E → Ukupna energija Q_1 dodatna pogonska energija E (električna energija)

Osnovni parametar koji ukazuje na geotermalnu potencijalnost neke teritorije je toplotno polje, koje određuje raspodela temperature i toplotnih protoka unutar i na površini Zemlje. Toplotno polje u gornjim delovima Zemljine kore do dubine gde se ona može meriti i posmatrati, u najvećoj meri zavisi od izvora toplote u samoj kori i od toplote koja se prenosi iz Zemljine unutrašnjosti.

Osnovni izvor toplote u Zemljinoj kori i Zomlji, u celini su unutrašnji (planetarni) i spoljašnji (kosmički).

Promenom rezultujućeg toplotnog toka dolazi do promene temperature zemljine površine. Zahvaljujući toploti iz Zemljine unutrašnjosti i smanjenim gubitcima putem dugotrajnog zračenja Zemljine površine u atmosferu, radijacioni bilans Zemlje je pozitivan i srednja temperatura zemljine površine je oko 15° C.

Toplotni tok iz gornjrg omotača, odnosno toplota koja se prenosi kroz zemljinu koru može biti veoma značajna. Nastanak toplote putem već analiziranih toplotnih izvora u unutrašnjosti Zemlje i njena predaja do površine opredeljuje toplotni režim zemljine kore. (provođenje - kondukcija; prelaz - konvekcije). Provođenje toplote predstavlja osnovni vid prostiranja toplote u Zemljinoj kori koji se obavlja iz unutrašnjosti Zemlje do površine, tako da se toplotni tok definiše jednačinom :

$$p = - \lambda \Delta T$$

Poznavanjem vrednosti geotermnog gradijenta i koeficijenta provođenja toplote moguće je relativno lako odrediti toplotni protok u gornjim delovima zemljine kore. Nakon definisanja geotermalnog gradijenta, toplotnog toka i energetskog potencijala, pristupa se definisanju načina iskorišćavanja energije zemlje i moguće toplote snage.

Za našu zemlju ovi obnovljivi izvori imaju poseban značaj jer raspoložemo sa veoma povoljnim uslovima za njihovo korišćenje.

Korišćenjem ovog vida energije i raspoložive toplotne snage moguće je značajno učešće u energetskom bilansu zemlje a posebno ekološke zaštite sredine i ekonomskih efekata u funkciji vremena.

Ključne reči : obnovljivi izvori, toplotni tok, kondukcija, konvekcija, geotermalni gradijent, energetski bilans

Contribution of Renewable Energy to Environmental Protection and Energetic Balance

Having in mind the growing energy requirements, deficiency of good quality energy forms is a realistic anticipation, which implies that implementation and utilization of new renewable energy resources (solar, wind, geothermal energy, being the subject of this paper, biomass, etc.) should be immediately intensified. Currently, they participate with 2 % in the general energetic balance.

Seventy five percents (75 %) of actively engaged energy for heating and cooling can be covered by using the energy released by earth. Utilization of this energy is represented by the following mathematical model:

$$Q_1 = Q_2 + E$$

Energy attained from earth Q_2 → Energy power E → Total energy Q_1

Additional Energy power E (electric power)

Basic parameter pointing to geothermal potentiality of a certain territory is a thermal field, determined by distribution of temperature and thermal flows inside and at the Earth's surface. The thermal field in the upper parts of Earth's crust until the measurable and observable depths mostly depends on the energy source in the crust and the heat which is transferred from the inside of Earth.

Basic heat sources in Earth's crust and Earth in general are internal (planetary) and external (cosmic).

Alterations of resultant heat flow change the temperature of earth surface. Due to the heat from Earth's inside and reduced losses caused by long term radiance of Earth surface into the atmosphere, Earth's radiance balance is positive and average temperature of Earth surface is about 15°C.

Thermal flow from the upper shield, i.e. heat transferred through the Earth's crust can be very important. Creation of heat by the already analyzed thermal sources in the inside of Earth and its convection to the surface determines the thermal regime of Earth's crust. Heat conduction represents the basic mode of heat propagation in Earth's crust that is accomplished from the Earth's inside to the surface, thus, the thermal flow is defined by the following equation:

$$\rho = \lambda \Delta T$$

By knowing the value of geothermal gradient and the heat conduction coefficient, determination of heat flow in the upper layers of Earth's crust is relatively easy. After defining the geothermal gradient, heat flow and energetic potential, the method of earth's energy utilization and the possible heat power are being defined.

The renewable energy sources are of special importance for our country, due to the existence of very favourable conditions for their utilization.

By utilization of this type of energy and the available thermal power, considerable participation in energetic balance of the country is possible and especially in environmental protection and economic effects in function of time.

Key words: renewable sources, thermal flow, conduction, convection, geothermal gradient, energetic balance.

Uvod

Već je prihvaćena konstatacija da se novim i obnovljivim izvorima energije mora posvetiti veća pažnja, iz razloga što predstavljaju za mnoge zemlje sveta veliku šansu da smanje potrošnju konvencionalnih energetske izvora i poveća korišćenje sopstvenih energetske potencijala. Takođe se može konstatovati da obnovljivi izvori energije dok se nekoriste ostaju samo potencijali, a sa korišćenjem postaju resursi ili rezerve, uz preciziranje stanja i uslova korišćenja.

Od teoriskih raspoloživih potencijala, samo jedan deo predstavlja tehnički iskoristiv potencijal obnovljivih izvora energije koji je u zavisnosti od tehnološke razvijenosti, a ostali deo je potencijal zbog ekonomske neisplativosti.

Novi i obnovljivi izvori energije poznati su vekovima, a tek nakon energetske krize sedamdesetih godina dobijaju veći značaj. Mnogi stručnjaci koji se bave energetikom smatraju da je ovo prelazni period od dosadašnje epohe korišćenja konvencionalnih (fosilnih) goriva ka budućoj epohi korišćenja novih obnovljivih izvora energije, za koje se očekuje da intezivnije započne u ovom 21 veku.

Imajući u vidu sve veće zahteve za energijom, realno je očekivatida određen nedostatak kvalitetnih oblika energija javi već u kraćem vremenskom periodu, što upućuje da već danas treba intevizirati uvođenje i korišćenje novih obnovljivih izvora energije(s unčeva, vetar, geotermalna koja je i predmet ove studije, biomasa idr.) koje danas u opštem energetske bilansu sveta učestvuju sa oko 2 %. Zbog navedenog bi energetske zajednica trebalo da usmeri svoje napore na razvoj pozitivnih programa za posticaj i razvoj obnovljivih izvora energije, koristeći optimalnu proizvodnju i efikasnu krajnju potrošnju uz društveno opravdanu zaštitu okoline. Zbog toga se insistira na većem ulaganju u istraživanja i razvoj novih izvora u nardnom periodu kako bi se omogućila dugoročna sigurnost snabdevanja i diverzifikacija energetske izvora. Javlja se jedan problem, što ta izvori zahtevaju velika početna ulaganja, za veće energetske korišćenje. Zasada kapital još uvek nije zainteresovan, ali za manji obim korišćenja su potrebna manja srestva koja se u funkciji vremena veoma brzo varolizuju.

Najveće promene se vezuju za učešće novih obnovljivih izvora

energije, jer ekologija predviđa intezivan razvoj obnovljivih izvora uz znatno smanjenje učešća značajnih zagađivača životne sredine produktima sagorevanja. Poboľšanjem energetske efikasnosti, zahteva obiman program transfera tehnologije, finansiranje i komercionalno implementiranje energetske racionalnih tehnologija. Dosadašnja iskustva pokazuju da postoje određeni problemi vezani za brži razvoj novih obnovljivih izvora energije i da se nesme samo bazirati na dnevnoj ekonomici, već i na različitim društvenim pretpostavkama kao što su nacionalna energetske politika, sigurnost snabdevanja, ekološki aspekti, nivo standarda, obrazovanje, tehnička kultura itd.

Q_2 - Energija dobijena iz zemlje

Osnovni parametar koji ukazuje na geotermalnu potencijalnost neke teritorije je toplotno polje, koje određuje raspodela temperature i toplotnih protoka unutar i na površini Zemlje. Toplotno polje u gornjim delovima Zemljine kore do dubine gde se ona može meriti i posmatrati, u najvećoj meri zavisi od izvora toplote u samoj kori i od toplote koja se prenosi iz Zemljine unutrašnjosti.

energija

Osnovni izvor toplote u Zemljinoj kori i Zomlji, u celini su **unutrašnji (planetarni) i spoljašnji (kosmički) procesi**. U okviru unutrašnjih procesa nepostoji lančana reakcija, jer su gustine i pritisci, koji se ostvaruju u unutrašnjosti zemlje, manji od kritičnih vrednosti koji omogućavaju takvu reakciju.

Prvi veliki unutrašnji procesi, obuhvataju raspadanje radioaktivnih elemenata. Može se izvesti zaključak da, sa dubinom stene postaju sve bazičnije, a stvaranje toplote prilikom raspada radioaktivnih elemenata smanjuje sa porastom dubine. Podatke koje je dao Schmucker, toplota proizvedena od radioaktivnog raspada pri srednjem sadržaju radioaktivnih elemenata u stenama je:

Granitske magmatske stene -	prosečno 2970 W/km ³
Granodioriti	- prosečno 1510 W/km ³
Bazične magmatske stene	- prosečno 545 W/km ³
Peridititi	- prosečno 7 - 30 W/km ³

Kod sedimentnih stena sadržaj radioaktivnih elemenata najveći je u glinama i laporcima (kao u grandiritima), krečnjaci i peščari daju količine toplote slične onima koje oslobađaju bazične magmatske stene. Kod sedimentnih stena sadržaj radioaktivnih elemenata najveći je u glinama i laporcima (kao u grandiritima), krečnjaci i peščari daju količine toplote slične onima koje oslobađaju bazične magmatske stene.

Na osnovu navedenih podataka, jasno je da će se normalni temperaturni fon u zemljinoj kori obrazovan prema vrednostima koje bi odgovarale vrednostima količina toplote koju oslobađaju bazične magmatske stene, biti poremećen u blizini izrazito kiselih granitskih magmatskih stena, a naročito ako se radi o većim intruzijama granita, o čemu uvek treba voditi računa.

Drugi veliki unutrašnji izvor je diferencijacija težih i lakših čestica pod dejstvom gravitacione sile. Pod dejstvom gravitacione diferencijacije došlo je do raslojavanja jednorodne Zemlje na gušći centralni deo - jezgro i lakšu zemljinu koru, pri čemu se moglo osloboditi do (1,5-2,0) · 10³¹ J energije ili 5 · 10²¹ J/god, što je sasvim uporedivo sa energijom radioaktivnog raspada. Snaga toplotne energije ostvarene putem radioaktivnog raspada i gravitacionim procesima iznosi 35 · 10¹², što omogućava odavanje toplotnog fluksa od oko 0.069 W/m² sa površine Zemlje.

Procenjuje se da toplota proistekla kao rezultat usporenja obrtanja Zemlje, kao rezultat plime I oseke i trenja usled međusobnog dizanja i spuštanja blokova i delova omotača Zemljine kore pod dejstvom privlačnih sila Sunca i Meseca, oslobađa toplotni fluks od 0.0105 W/m², što iznosi oko 10 - 30 % toplote proizvedene radioaktivnim raspadom.

Toplota usled vulkanskih aktivnosti, odnosno od magmatskih intruzija u nevolkanskim oblastima, je s obzirom na svoj lokalni karakter, veoma uticajni faktor na formiranje toplotnog polja. U magmatskim procesima, koji dovode do pojave vulkana ili stvaranja podpovršinskih intruzija, konvektivnim putem se ogromne količine magme, samim tim i toplote, koncentrišu u gornjim delovima Zemljine kore. Zavisno od starosti magmatskog procesa, vrste magme, dubine njenog očvršćavanja, zapremine magmatske intruzije, toplotnih i hidrogeoloških karakteristika stena i prostora u kome su se izvršila magmatska intruzija, magmatska intruzivna tela predstavljaju veoma moćan izvor toplote u veoma dugom vremenskom periodu.

Rezultati dosadašnjih geotermalnih istraživanja pokazuju da se najveći deo najpoznatiji izvora geotermalne energije nalazi u oblastima sa relativno mladim i još neohlađenim intruzijama kiselih magmatskih stena.

Ostali izvori toplote su još nedovoljno istraženi, ali mnoge računice pokazuju na njihov značajan udeo u stvaranju geotermalnih anomalija, iz razloga poklapanja intezivnih seizmičkih aktivnosti sa geotermalnim anomalijama.

U **spoljašnje izvore** toplote ubrajaju se izvori u kosmosu čija energija zračenja ili putem neutrina, kosmičke prašine i meteorita dolazi do zemljine površine i prenosi se u unutrašnjost.

Od spoljašnjih izvora najveći značaj ima Sunčevo zračenje. Svake godine od Sunčevog zračenja Zemlja apsorbira dve trećine zračenja, prevedeno u toplotu, 1 m² se dozrači sa 6,9 · 10⁹ J. Efekat sunčevog zračenja ne dozvoljava primećivanje količine odavanja energije (procenjuje se da je to oko 0,06 W/m²), preračunato na površinu Planete iznosi dva puta više nego što je ukupna godišnja potrošnja energije u svetu. S obzirom na potencijal koji geotermalna energija ima, sasvim je logično što se ona tretira kao obnovljiva.

Promenom rezultujućeg toplotnog toka dolazi do promene temperature zemljine površine. Zahvaljujući toploti iz Zemljine unutrašnjosti i smanjenim

gubitcima putem dugotrajnog zračenja Zemljine površine u atmosferu, gde je radijacioni bilans Zemlje pozitivan i srednja temperatura zemljine površine je oko 15^oC.

Toplotni tok iz gornjeg omotača, odnosno toplota koja se prenosi kroz zemljinu koru može biti veoma značajna, naročito u području gde dolazi do uzdizanja Mohorovičićeve površine (diskontinuiteta) i manje debljine zemljine kore, za formiranje geotermalnog izvora. Nastanak toplote putem već analiziranih toplotnih izvora u unutrašnjosti Zemlje i njena predaja do površine opredeljuje toplotni režim zemljine kore. (provođenje - kondukcija; prelaz - konvekcije)

Provođenje toplote predstavlja osnovni vid prostiranja toplote u Zemljinoj kori koji se obavlja iz unutrašnjosti Zemlje do površine, tako da se toplotni tok definiše jednačinom :

$$q = - \lambda \Delta T$$

gde su : λ = koeficijent provođenja (W/m^oC), ΔT = temperaturni gradijent (°C/m)

Pod pretpostavkom da je toplotni tok direktno vertikalno do Zemljine površine, tj. u pravcu z-ose, i da je reč o izotropnom i homogenom materijalu čija je vrednost koeficijenta toplotne provodljivosti konstantna, toplotni tok se određuje jednačinom :

$$q = - \lambda \cdot \Delta T / \Delta z$$

Veličina koeficijenta provođenja toplote zavisi od sredine, u kojoj se odvija proces predaje toplote, temperature i pritiska. Do dubine od 50 km osnovni uticaj na vrednost koeficijenta provođenja toplote ima temperatura. Do temperature od 1000 °C može se koristiti relacija:

$$\lambda = \lambda_0 \cdot T_0 / T$$

gde je: T_0 - temperatura pri kojoj je određena vrednost λ_0 .

Za prostiranje toplote u gornjim delovima kore poseban značaj ima relacija između geotermnog gradijenta, toplotnog protoka i koeficijenta provođenja toplote, prema zakonu Furijea:

$$G = \rho / \lambda$$

gde su : G - geotermni gradijent (°C/m), ρ - toplotni protok (W/m²)

Osim geotermnog gradijenta, često se koristi i parametar dobijen kao recipročna vrednost geotermnog gradijenta, odnosno geotermni stepen

⇒ energija

koji predstavlja dubinu u metrima pri kojoj temperatura poraste za 1°C ;

$$G_s = 1 / G$$

Poznavanjem vrednosti geotermnog gradijenta i koeficijenta provođenja toplote stena, moguće je relativno lako odrediti toplotni protok u gornjim delovima Zemljine kore. Usled teškoća u određivanju tačnih vrednosti po dubini, za praktične primene proračune obično se i koeficijent provođenja toplote i geotermni gradijent uprosečuju kao konstatne vrednosti. Sve do dubine od nekoliko kilometara moguće je primeniti jednostavnu formulu za određivanje geotermnog gradijenta u obliku:

$$G = (T - T_n) / (H-h)$$

gde su: T - temperatura na dubini H (m), T_n - temperatura "neutralnog" sloja na dubini h (m)

Na osnovu poznatih vrednosti geotermnog gradijenta ili stepena, njihovom ekstrapolacijom može se izračunati približna vrednost temperature na zadatoj dubini H po sledećem obrascu:

$$T = T_0 + GH$$

Poznavanjem vrednosti geotermnog gradijenta i koeficijenta provođenja toplote moguće je relativno lako odrediti toplotni protok u gornjim delovima zemljine kore. Na površini zemlje, u oblasti gde je uticaj konvektivnog prenosa toplote zanemarljiv, vrednosti tog "normalnog" toplotnog protoka se kreću od 3,34 · 10⁻² do 8,36 · 10⁻² W/m². Koeficijent prostiranja toplote većine stena ima vrednosti od 0,167 do 4,19 W/m K.

Koeficijent provođenja toplote suvih stena λ_{st} zavisi od njihovog

minerološkog sastava, tipa stene i poroznosti. Koeficijent provodljivosti stena se smanjuje sa povećanjem temperature, a u prisustva fluida se povećava efektivni koeficijent provođenja toplote zasićenog poroznog tela. Za opseg temperatura od 10 do 540 °C može se koristiti sledeća jednačina :

$$\log \lambda_{ekv} = \Phi \log \lambda_f + (1 - \Phi) \log \lambda_s$$

Primena navedene jednačine koristi se u slučajevima kada je sistem ograničen na kondukcijono dominantan mehanizam prenosa toplote i gde je uticaj konvekcije (dinamike protoka fluida) i radijacije zanemarljiv. Treba naznačiti da pri eksploataciji geotermalnih ležišta, a naročito u slučajevima kada se koristi reinjektiranje iskorišćenog fluida, za definisanje ekvivalentne toplotne provodljivosti sistema u obzir se mora uzeti dinamika neizoternog protoka fluida kroz ležište i bušotinu.

Bez obzira na tip poroznosti geotermalnog ležišta, ekvivalentni koeficijent provođenja toplote može se definisati jednačinom :

$$\lambda_{ekv} = \lambda_{sr} + \lambda_{disp}$$

gde su : λ_{sr} = koeficijentat provođenja toplote stene zasićene vodom bez protoka (W/mK), λ_{disp} = član koji uzima u obzir mehaničku (ili konvektivnu) termičku disperziju,(W/mK)

Ako je pretpostavka da je kolektor stena homogena i izotropna, analitički izraz za koeficijent provođenja toplote stena zasićene vodom ima oblik :

$$\lambda_{s,r} = \lambda_a (1 - \Phi) + \lambda_w \Phi - \Phi(\lambda_a - \lambda_w)(1 - \tau^{0.5})$$

τ - faktor vijugavosti pornog prostora, saglasno predhodnim pretpostavkama vrednosti za faktor vijugavosti određena labaratoriskim merenjima iznosi 0.66, λ_a - koeficijent provođenja toplote stena

zasićene vazduhom, (W/mK).

Drugi model za proračun efektivnog koeficijenta provođenja toplote stena koja je zasićena ima oblik:

$$\lambda_{s,r} = \lambda_w \{1 - (1 - \Phi)^{0.5} + (1 - \Phi)^{0.5} \cdot 2/C \cdot [(1 - X) \cdot B / C^2 \cdot \ln(1/BX - B + 1/2 - B - 1/C)]\}$$

gde su: X = λ_w / λ_{st} ; B = 1 . 4((1 - Φ) / Φ)^{10/9} ; C = (1 - X · B)

U prisustvu konvektivnog i disperzionog protoka mase i energije kroz porni prostor modifikuju se njegova termofizička svojstva. Pri neizoternom protoku brzina protoka fluida utiče na molekularni prenos toplote, tako dase prenos toplote ostvaruje kao kombinovani fizički proces provođenja toplote u čvrstoj fazi i konvekcije usled prenosa toplote sa fluida na stene.

Korekcija ekvivalentnog koeficijenta provođenja toplote zbog efekata konvektivne toplotne disperzije ima oblik :

$$\lambda_{disp} = (\rho C_p)_f \cdot d \cdot V_f^n$$

gde su : V_f - brzina filtracije (m/s) , (ρC_p)_f - toplotni kapacitet fluida (kJ/m³K), d - karakteristična dužina pornog prostora

Sposobnost kolektor stene da akumulira toplotnu energiju karakteriše se toplotnim kapacitetom ili specifičnom toplotom (C_{iv}):

$$C_{iv} = (1 - \Phi) (\rho_z C_z) + \Phi \sum_i S_{fi} \rho_f C_f$$

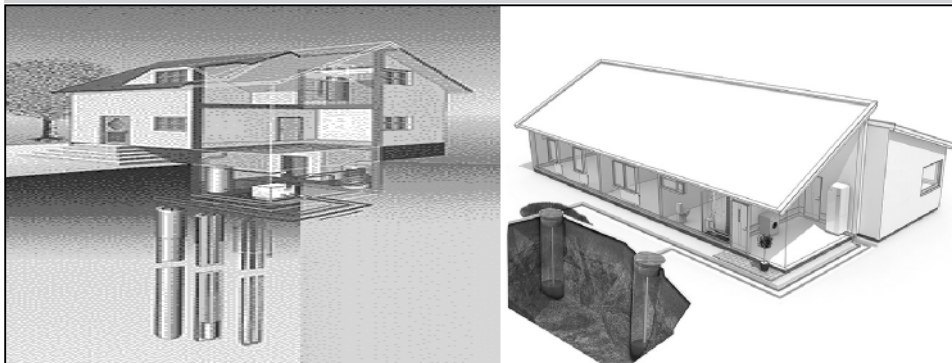
gde su : S_{fi} - zasićenje fluidom (voda, para), Φ - poroznost stena, C_f - specifična toplota fluida (KJ/kgK), C_r - specifična toplota stene (KJ/kgK), ρ_f - zapreminska masa čvrste faze stena (kg/m³), ρ_f - zapreminska masa fluida (kg/m³)

U slučaju da je poroznost stena relativno mala (ne prelazi 0.04), toplotni kapacitet

Tabela 1 Termofizičkih karakteristika stena

Stena	Poroznost	Propusnost K 10 ¹² m ²	Zapreminska masa ρ _r (kg/m ³)	Koeficijent provođenja toplote λ _r (W/mK)	Specifična toplota C _p ^r (KJ/kgK)
Peščar	2 - 30	1,5 · 10 ⁻⁴ - 4,4	2015 - 2880	1,67 - 4,6	0,79 - 0,88
Bazalti	0,4 - 30	1,5 · 10 ⁻⁵ - 1,9	2080 - 3180	1,5 - 3,5	0,84 - 0,91
Krečnjak	0,5 - 30	3,8 · 10 ⁻⁴ - 1,4 · 10 ⁻¹	1120 - 2850	0,84 - 0,92	0,84
Konglomerat	0,5 - 30	4,9 · 10 ⁻⁴ - 2,6 · 10 ⁻²	2670 - 2800	2,08 - 3,3	0,84
Sip	30 - 64	2,4 - 4,3 · 10 ⁻⁴	1500 - 1900	0,7	0,84
Dolomit	0,5 - 2,8	10 ⁻³ - 1,6 · 10 ⁻²	2300 - 3150	1,67 - 5,86	0,84 - 0,95
Gabro	0,3 - 10	10 ⁻³ - 10 ⁻¹	2850 - 3190	1,93 - 2,29	0,84 - 0,88
Gnajs	0,3 - 10	3,1 · 10 ⁻² - 10 ⁻¹	2590 - 3360	2,0 - 4,6	0,81 - 0,84
Granit	0,1 - 1,7	10 ⁻¹ - 1	2260 - 2809	2,19 - 4,1	0,84 - 0,88
Šljunak	25 - 40	10 ⁻⁴ - 5 · 10 ⁻⁴	1500 - 1900	1,04 - 1,27	0,84
Pesak	26 - 52	10 ⁻² - 3,1 · 10 ⁻³	1400 - 2100	0,59 - 5,38	0,84
Tuf	15 - 45	4 · 10 ⁻⁵ - 1,2 · 10 ⁻²	1500 - 2300	0,62 - 2,89	0,53 - 1,7

Slika 1 Prikaz otvorenog i zatvorenog sistema eksploatacije Geotermalne energije



temperature (raste sa porastom temperature) i pritiska (opada sa porastom pritiska). U Tabeli 1. date su termofizičke karakteristike stena za vrednost poroznost, propusnost, zapreminsku masu, koeficijent povećanja toplote i specifičnu toplotu za one stene koje se mogu smatrati za potencijalne kolektore stena geotermalnog fluida a važe i za suve stene.

Do sada su poznata dva načina eksploatacije Geotermalne energije : 1. Otvoren sistem – kada je u pitanju fluid(voda), i zatvoren sistem kada je u pitanju suva stena. Navedeni načini eksploatacije Geotermalne energije prikazani su na Slici 1.

E - Pogonska energija

Pogonska energija je električna energija čiji je udeo 25% od ukupne toplotne energije, Slika 2.

Q1 - Ukupna energija

Akumulirana geotermalna energija se može koristiti za, Slika 3:

- energije za zagrevanje objekata (kako stambenih tako i privrednih).
- energije za hlađenje objekata, i
- energije za pripremu sanitarne vode i vode za bazene.

Ekonomska analiza

(Tabela 2)

Na primeru površina grejanja 500 m²

Gradnja objekta iz ugla izolovanosti: loša ; prosečna ; niskoenergetska

Potrebna toplota zagrevanja objekta data po m²: 100 ; 75 ; 50 W/m²

Ukupno potrebna toplotna snaga: 50 ; 37,5 ; 25 KW

Radni sati grejanja na godišnjem nivou

izraženo u h:

1 700 ; 1 900; 2 100 časova

Gas : Usvojen koeficijent korisnog dejstva 80% ; Cena 36 din/m³ ; Grejne snage 10 KWh/m³

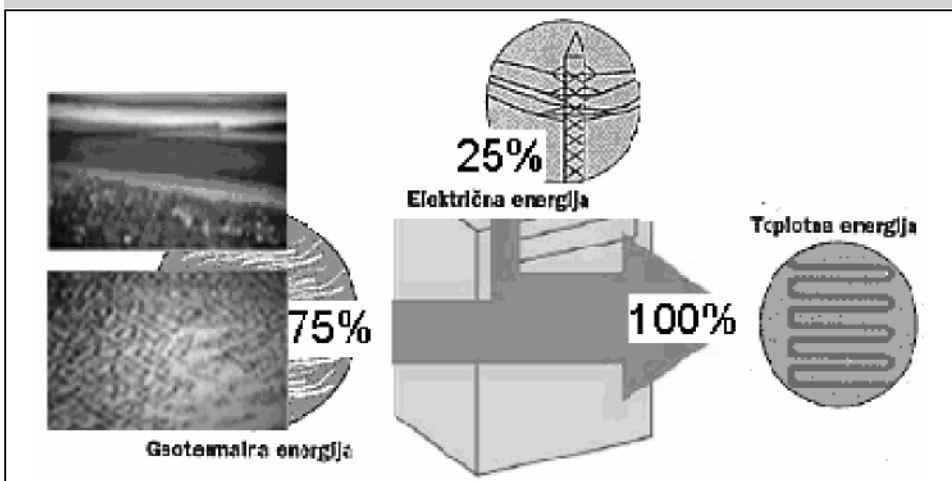
Električna energija :

Cena 5,9 din/KWh skupa 60 %
1,48 din/KWh jeftina 40 %

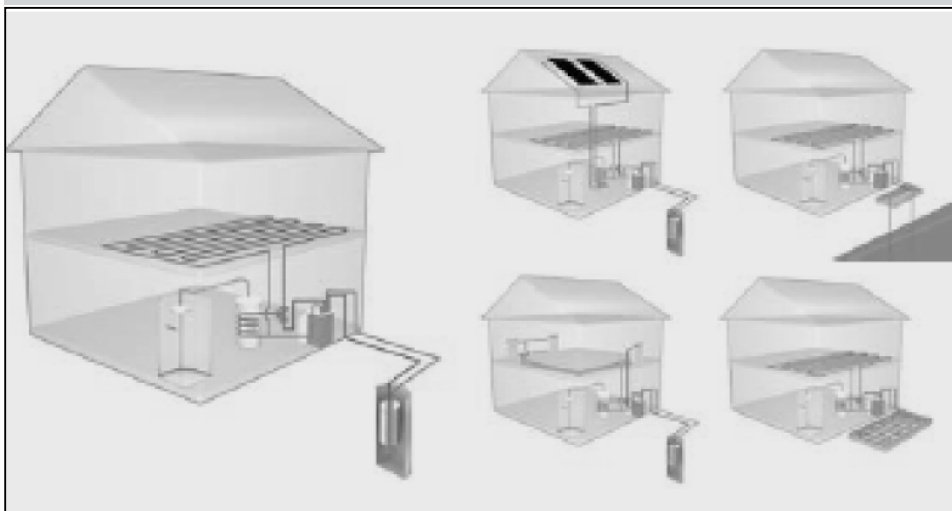
Očuvanje životne sredine

Geotermalna energija, ima veoma mali uticaj na zagađenje okoline, a samim

Slika 2



Slika 3



kolektor stena zasićene geotermalnim fluidom jednak je toplotnom kapacitetu nezasićene stene. Uvođenje koeficijenta zapreminskog toplotnog kapaciteta ($C_v = dC_{tw/dT}$), čija se vrednost neznatno menja sa promenom temperature, toplotni kapacitet se može izraziti kao :

$$C_{tw} = C_v T$$

Ako se razmatranja ograniče na kolektor stene koje sadrže samo vodu,

odnosno dubine zaleganja stena kao što je slučaj za geotermalna ležišta na području Srema, može se iz predhodne relacije zaključiti da će najveći uticaj na vrednost specifične toplote imati poroznost i specifična toplota suvih stena.

Za proračun procesa prenosa toplote koristi se osrednja konstantna vrednost specifične toplote vode, iz razloga što specifična vrednost toplote vode neznatno se menja sa porastom

Tabela 1 Termofizičkih karakteristika stena

Gradnja objekta iz ugla izolovanosti	Potrebna toplota zagrevanja W/ m ²	Ukupno potrebna toplotna snaga KW	Radni sati grejanja h	Potrebna energija na godišnjem nivou KW/h	Gogišnja potrošnja gasa m ³	Gogišnja cena gasa Din/ m ³	Gogišnja potrošnja struje KWh	Gogišnja cena struje din	Razlika u ceni ušteda u din
loša	100	50	1700	85 000	12 142	345 828	15 454	63 858	282 966
			1900	95 000	13 571	386 514	17 272	71 370	316 139
			2100	105 000	15 000	427 200	19 090	78 883	349 312
prosečna	75	37,5	1700	63 750	9 107	259 371	11 590	47 893	212 473
			1900	71 250	10 178	289 885	12 954	53 529	237 353
			2100	78 750	11 250	320 400	14 318	59 162	262 233
Niskoe - nergetska	50	25	1700	42 500	6 071	172 914	7 727	31 929	141 981
			1900	47 500	6 785	193 357	8 636	35 685	158 567
			2100	52 500	7 500	213 600	9 545	39 441	175 154

tim njena važnost sve više rasti, jer neće biti potrebe da se predviđaju dodatne mere zaštite koje povećavaju investicione i eksploatacione troškove, tako da će njena specifična cena energije biti konkurentna konvencionalnim gorivima u znatno širem obimu primene.

Geotermalna energija ima specifičnosti u odnosu na konvencionalna goriva, jer sve delatnosti vezane za dobijanje i korišćenje geotermalne energije su usmerene na jednu relativno ograničenu oblast, u neposrednoj blizini potrošača, nema potrebe kao kod konvencionalnih goriva izrada postrojenja i instalacija za ceo energetska ciklus počev od dobijanja energetske sirovine, njene pripreme, prerade i transporta, do udaljene energane.

Primenom geotermalne energije, instalacije i priprema energetske sirovine i energane kao izvor energije koristi se termalni fluid dobijen iz podzemlja prirodnom cirkulacijom.

U zavisnosti od konkretnih geotermalnih uslova termalni fluid može biti u obliku vrele termalne vode. U zavisnosti od konkretnih geotermalnih uslova i kvaliteta podzemnih voda predviđaju se i mere zaštite i načina iskorišćenja geotermalne energije. Zbog navedenog se i uticaj geotermalne energije na okolnu sredinu vezuje samo na usko područje geotermalnog lokaliteta. Ali neželjeni uticaji mogu se proširiti na izvesno ostojanje od geotermalnog izvorišta i na taj način ugroziti neposrednu okolinu, te se svi ti uticaji moraju proučiti pri dobijanju i iskorišćenju geotermalne energije. Neophodno je razumeti osnovne karaktere tih pojava i predvideti njihov uticaj, u prvom redu na :

*tlo, kojeg nema
atmosveru, kojeg nema
površinske i podzemne vode, kojeg
nema.*

Literatura

1. Đajić N., The Development of Geothermal Energy in Serbia, Simposium ECE UN, Ancara, 1989
2. Đajić N., ENERGETSKI IZVORI I POSTROJENJA, univerzitetski udbenik, BFF, beograd 1992
3. Handbook of geothermal Energy, Houston, USA, 1982
4. ENERGY FOR TOMORROW" WORLD, Draft Summany, 15 WEC Congress, Madrid, 1992
5. European Geothermal Update, Proc. 4th International Seminar on the Results of EC Geothermal Reswrch and Demonstration, florenc, (April, 1989)
6. European Geothermal Update, III Inter. Seminar, Munich, 1983
7. Galus, JP., Pyle, D.E: "Performance of oil-Well Cementing Compositions in geothermal Wells, SPE Paper 7591
8. Geotermalna energy resources and their use in European agriculture, FAO, CNRE study No.2, Roma, 1988
9. Geothermal Energy-Resourse, production, Stimulation, adited by Kruger P. & Otte C., Stanford, 1973
10. Milivojević M., Ocena geotermalnih resursa teritorije SR Srbije van teritorije SAP, doktorska disertacija RGF., beograd 1989
12. Novi i obnovljivi izvori energije, podprojekat "Geotermalna energija", strateški projekat RZNS, koordinator projekta i podprojekta N. Đajić, Beograd, 1987-1991
13. Prats M.: "Thermal Recovery", SPE Monigraph, New York, 1982
14. Problemi geotermii i praktičeskogo ispoizovanja tepla Zemli, t.I., 1959, t.II, 1961, Moskva, AN SSSR
15. Rakić Z., Hidrogeologija Srema sa aspekta istraživanja novih ležišta podzemnih voda i njihovog zahvatanja, Beograd, 2001.
16. Rakić Z., Hidrogeotermalni resursi Srema i optimizacija metode njihove eksploatacije, Beograd 2008.
17. Soleša, M. Mihailović M., Mitrović V., Đajić N. "Principi matematičkog modeliranja prenosa toplote u uslovima geotermalnih sistema", Zbornik radova "Alternativni izvori energije" međunarodni simpozijum, Brioni, 5-8.X.1988
18. Soleša M. Đajić N. Parađanin Lj. Proizvodnja i korišćenje Geotermalne energije, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd 1995
19. Survey of Energy Resources 1974, 1977, 1980, 1983, 1986, 1989, 1992, WEC, London
20. Thomas. D.M., Gudmundsson, J.S.: "research directions in solids deposition in geothermal systems", GEOTHERMICS, Volume 18, No.1/2, 1973
21. Tole, M.P. "Low Enthalpz Geotermal Syatems in Kenza *geotermics, Vol.17, No.5/6, pp.777-783, 1988
22. Whetten, J.T.: "the U.S. Hot Dry Rock Prpject" Geotermics, Vol. 16, No.4, (1987), 331-339

Onovljivi izvori energije -biomasa-mogućnost primene u JPRB "Kolubara"

Osvrt na obnovljive izvore energije

OBNOVLJIVI IZVORI ENERGIJE su oni čiji se kapacitet ne smanjuje i ako ih koristimo. Prirodni procesi, koji se neprekidno događaju na Zemlji utiču da se ovi izvori stalno obnavljaju i da se kao takvi ne mogu potrošiti. Sunce, voda, vetar, biomasa i toplota zemljinog jezgra su osnovni vidovi obnovljivih izvora energije (OIE).

Većina ovih energetske resursa su, u suštini, posledica sunčevog zračenja, kao u ostalom i sva fosilna goriva (ugalj, nafta, zemni gas) koja sada čine bazu modernih energetske sistema. Fosilna goriva nisu ništa drugo, već milionima godina skladištena sunčeva energija.

Kako je količina fosilnih goriva na zemlji ograničena, oni čine kategoriju konvencionalnih ili neobnovljivih izvora energije.

31. član Univerzalne deklaracija o pravima čoveka glasi:

"Svako ljudsko biće ima pravo na održavanje ekološke ravnoteže u svojoj životnoj sredini, koju deli sa svim ostalim živim bićima, životinjama i biljkama, čiji opstanak kao jemstvo vlastitog opstanka treba da bude osiguran."

Održivi razvoj nije suština za prirodu, već sposobnost ljudskog društva da izvodi stalne reforme u cilju da sačuva ravnotežu između ljudi i njihovog prirodnog sistema za održanje života, odnosno, potrebno je koristiti resurse održavanjem sklada između budućih i sadašnjih potreba. Da bi se to uspešno izvelo, potrebna je nova orijentacija tehnološkog razvoja i mnogo bitnija promena institucionalnog razvoja - promena društva. Ako želimo da nademo kvalitetnije rešenje potrebno je da sagledamo problem sa svih aspekata.

Rezime

31. član Univerzalne deklaracija o pravima čoveka glasi:

"Svako ljudsko biće ima pravo na održavanje ekološke ravnoteže u svojoj životnoj sredini, koju deli sa svim ostalim živim bićima, životinjama i biljkama, čiji opstanak kao jemstvo vlastitog opstanka treba da bude osiguran."

Srbija bi polovinu energije mogla da proizvodi iz obnovljivih izvora energije, ali se trenutno godišnje iskoristi 18 odsto potencijala tih izvora. Najveći udeo mogla bi imati biomasa, od koje bi se moglo proizvoditi oko četvrtine ukupne energije u Srbiji, a velika količina energije može se dobiti i od hidroenergije, sunca i vetra. Prelaz na obnovljive izvore građani Srbije ne bi osetili kroz cenu energije, koja bi ostala ista, ali bi država, čak i uz dotirane cene, imala višestruke koristi.

U Srbiji postoji značajan potencijal obnovljivih izvora energije u iznosu više od 3 miliona tona ekvivalentne nafte godišnje. Oko 80% ovog potencijala čini biomasa. Biomasa podrazumeva biološki razgradive materije nastale u poljoprivredi, stočarstvu i šumarstvu i sa tim vezanoj industriji, kao i biloško razgradivi deo industrijskog i gradskog otpada.

Osnovu za primenu biomase u RB Kolubari bi činile rekultivisane površine zasađane poljoprivredni kulturama (pšenica, kukuruz) i drvena masa koja se krči ispred fronta radova.

Ovaj rad je pokušaj da se ukaže da osim uglja koji se eksploatiše u RB Kolubari, postoje i drugi izvori energije koje je moguće iskoristiti.

Renewable Sources of Energy – Biomass – the Possibility of Its Use at JPRB "Kolubara"

Article 31 of the Universal Declaration of Human Rights reads:

'Everyone has the right to maintain ecological balance in his/her environment which he/she shares with all the other beings, animals and plants, whose survival is to be ensured as a guarantee of his/her own survival.'

Serbia could produce half of its energy from renewable sources, but 18 per cent of its potential is currently used a year. Biomass could be major source which could be used for production of about one quarter of total energy in Serbia, and large amount of energy could also be derived from hydro energy, the sun and wind.

Citizens of Serbia would not feel the transfer to renewable sources as energy price increase, the prices would remain as they are, but the state would, even with subventions, have multiple benefits.

Serbia has considerable potential of energy sources in amount of more than 3 million tons of equivalent oil a year. Biomass represents about 80 per cent of this potential.

Biomass includes biodegradable materials resulting from activities in agriculture, cattle-breeding and forestry and related industries, as well as biodegradable part of industry and urban waste.

The basis for using biomass at RB Kolubara would be re-cultivated areas with agricultural products (wheat, maize) and wood mass which is cut prior to front works.

This work represents an attempt to point out that there are other sources of energy that can be used apart from coal which RB Kolubara exploits.

energija

Srbija spada u zemlje u kojima bi alternativni izvori ,poput biomase, hidroenergije, solarne energije itd. mogli zameniti polovinu energije dobijenu tzv. prljavim tehnologijama- iz termoelektrana. Primera radi: jedna termoelektrana snage 1000 megavata, za godinu dana potroši oko 2,5 miliona tona uglja i proizvede oko:

- 8 miliona tona ugljen-monoksida,
- 40 miliona tona sumpor-dioksida,
- 6 miliona tona prašine i
- pola miliona tona letećeg pepela.

Mislim da nije potrebno spominjati koliko je ova količina štetnih gasova pogubna za ljudsko zdravlje, a i okolinu u kojoj živimo.

Nasuprot tome, prema zvaničnim podacima, u Srbiji bi se godišnje moglo proizvesti, iz alternativnih izvora energije 4,89 miliona tona ekvivalentne nafte(ton).

Na žalost i pored, evidentno znatnih, potencijala za upotrebu alternativnih izvora energije, u Srbiji se iskoristi samo 18% potencijala tih izvora. Međutim, država bi morala ulagati u finansiranje razvoja ovog vida energije, ne samo zbog znatnih pozitivnih efekata po životnu sredinu i zdravlje ljudi, nego i zato što je naša zemlja po Kjoto protokolu, do 2020.god obavezna da smanji emisiju štetnih gasova, a koji se stvaraju sagorevanjem fosilnih goriva i dovode do stvaranja efekta staklene bašte. Ovo se jedino može ostvariti prelaskom na alternativne izvore energije, kao osnovu za proizvodnju energije u zemlji. U Strategiji razvoja republike, do 2015.god. posebno mesto zauzima Program selektivnog korišćenja obnovljivih izvora energije, čiji je cilj smanjenje potrošnje kvalitetnih uvoznih energenata, obzirom da se dve trećine potreba za gasom i tečnim gorivima podmiruje uvozom.

Najveći udeo bi svakako imala biomasa, od koje bi se mogla proizvoditi četvrtina ukupne energije u Srbiji. Prelaz na obnovljive izvore energije, građani ne bi ni osetili kroz cenu, jer bi ona ostala ista, ali čak i u slučaju dotiranja cena od strane države, korist koja bi se ostvarila bila bi daleko veća.

Biomasa

Biomasa se definiše kao, biološki razgradiva materija nastala u poljoprivredi, stočarstvu i šumarstvu i sa tim vezanoj industriji, kao i biološki razgradivi deo industrijskog i gradskog otpada.

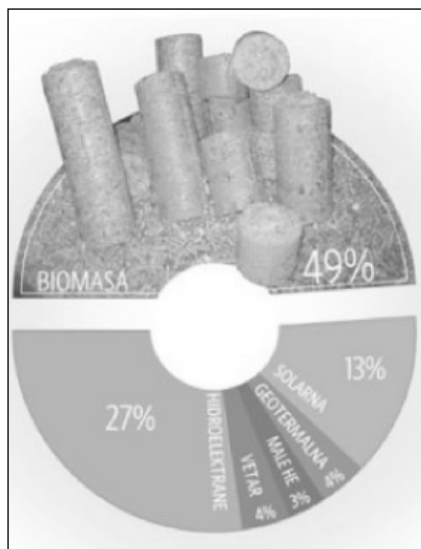
Biomasa, u vidu drveta, je tradicionalni energetski resurs koji je dominirao sve do početka masovnog korišćenja uglja.

Osim drveta koje se danas u razvijenim zemljama manje koristi kao energetski

resurs, u biomasu spadaju i nusprodukti u ratarskoj i stočarskoj proizvodnji, prehrambenoj i drvnoj industriji, kao i organska materija iz gradskog otpada i kanalizacije. Pored ovoga, postoje i specifični usevi čija se biljna masa koristi u proizvodnji tečnih goriva. To se pre svega odnosi na uljanu repicu pri proizvodnji bio-dizela, kao i šećernu trsku u proizvodnji alkoholnih goriva (naročito u Latinskoj i Centralnoj Americi).

Od biomase se dobijaju čvrsta goriva, biogas, biodizel i bioetanol koji zamenjuju klasične energente kao npr. dizel ili benzin.

Međutim, još uvek je razmišljanje u pravcu korišćenja takvih potencijala, kojih ima na pretek u našoj okolini, u povoju. Tako se svake godine u našoj zemlji, nepotrebno bacaju milioni, degradira zemljište, uništavaju biljke, biomasa se ne zaorava u dovoljnoj meri, te se samim time smanjuje plodnost tla, jer je u oranicama sve manje humusa.



Procenjeno je da se u Srbiji svake godine proizvede 12,5 miliona tona biomase, a najveći deo se ne koristi na racionalan način. Istraživanja su pokazala, da bi se godišnje, mogli ostvariti prinosi 15 do 20 tona drvene biomase po hektaru, imajući u vidu, ukupne površine, oko 3 do 4 miliona tona drvene mase, jer je nacionalnim planom predviđeno da 31,5% teritorije

Srbije bude pokriveno šumama. Kod nas postoji mogućnost i gajenja tzv. energetskih šuma na oko 200 000 hektara neobrađenog zemljišta, na kojem bi se mogla zasadić brzorastuća šuma (topole), koja bi se kasnije mogla koristiti u energetske svrhe. Svake godine u Srbiji se proizvede 12,5 miliona tona biomase, a e ukupni godišnji energetski potencijal biomase u Srbiji je na nivou od 40 odsto energetske vrednosti uglja koji se godišnje iskopa u našim rudnicima.

Mogućnost primene biomase u RB Kolubara

U Rudarskom basenu Kolubara se odavno krenulo sa rekultivacijom zemljišta, degradiranog usled rudarskih radova, tako da su sve površine koje su obuhvaćene ovim radovima, prethodno izanalizirane u tehničkim projektima rekultivacije, čime je obuhvaćena analiza i tehničke i biloške rekultivacije, te analiza posmatranog područja pre i posle aktivnosti površinskog kopa.

Sama rekultivacija podrazumeva složen skup radova poput rudarsko-inženjerskih, meliorativnih i dr. a sve u cilju obnavljanja reproduktivnih sposobnosti oštećenog zemljišta i stvaranja organizovanih „kulturnih“ predela.

Cilj projekata je bio, da se još u toku eksploatacije obezbede uslovi za biološku rekultivaciju.

Orografija terena Kolubarskog basena je pretpostavljala rešenje biološke rekultivacije sa dva osnovna tipa:

- pošumljavanjem i
- poljoprivrednom rekultivacijom.

Podizanje ,već spomenutih, plantaža brzorastućih vrsta, se uzima kao prelazno rešenje, koje kasnije, kada se ispune uslovi, odnosno posle prestanka rada izvora zagađenja (zatvaranje kopa, prestanak rada TE i prelazak na druge vidove energetskog potencijala) mogu, zameniti poljoprivrednim površinama.

Osnovna funkcija plantaža brzorastućih vrsta, je produkcija biomase i kao takve, one predstavljaju ekonomski isplativiju kategoriju nego proizvodnja poljoprivrednih kultura. Ulaganje u podizanje ovih plantaža se revalorizuje,

Tabela 1 Poljoprivredna kultura

KULTURA	POVRŠINA (ha)
pšenica	37,91
suncokret	54,1
kukuruz	22,8
lucerka	23,5
voćnjak	11,4
ogled	6,3
ukupna površina:	156,01

Tabela 2 Iskaz površina

Ukupna površina	Šume i šumsko zemljište				Ostalo zemljište		
	Σ	šuma	šumske kulture	šumsko zemljište	Σ	Neplodno	za ostale svrhe
	ha	ha	ha	ha	ha	Ha	ha
897,11	800,25	561,57	161,4	77,28	96,86	42,33	54,53

Tabela 3

Redni broj	Vrsta biomase	Količina raspoložive biomase(t)
1.	Pšenična slama	114
2.	Kukuruzovina	115
3.	Suncokret	216
4.	Drvena biomasa	9.500
Ukupno:		9.945

u kratkom vremenskom periodu i ekonomske analize ukazuju da su one profitabilne.

Prvi radovi na šumarskoj rekultivaciji su obavljani još 1958.god na spoljašnjem odlagalištu polja „A“, a zatim 1967. i 1968. takođe na spoljašnjem odlagalištu polja „D“, ali ozbiljniji i intenzivniji radovi počinju tek 1978 god., tako da je do danas ukupno pošumljeno oko 800 hektara, a pod poljoprivrednim kulturama je 156 hektara.

Ako znamo, da na šumski otpad, koji je osnova za stvaranje drvene biomase, odlazi 20-30%, lako je izračunati koliko biomase može da se dobije samo od krčenja postojećeg šumskog područja i koliki potencijal postoji u Kolubari koji se može koristiti kao alternativni vid energije.

Ne računamo da je rekultivacija u toku i da se na novorekultivisanom zemljištu mogu saditi brzorastuće šume ili neka od biljnih kultura od koje se otpad može koristiti kao biomasa, tako da se sem korišćenja biljne kulture može koristiti i otpad od nje.

Analizom je utvrđeno da se po hektaru poljoprivrednog zemljišta može dobiti 3 tone slame od pšenice, uljane repice i soje, 5 tona od kukuruzovine i 4 tone stabljike suncokreta, što je, a 15-20 tona drvene biomase se dobija po hektaru zasađenog šumom, što iznosi za Kolubaru oko 8-10 hiljada tona biomase. Da bi se stekao pravi utisak o značaju biomasa, dovoljno govori podatak, da se od 2,5kg slame može uštedeti 11 lož ulja, ili 9,72 kw električne energije.

U tabeli 2 su prikazani podaci o rekultivisanim površinama u Kolubarskom basenu od početka rekultivacije pa do danas, s tom razlikom što je cifra pod šumom na polju „B“ umanjena jer je ponovo došlo do aktiviranja odlagališta „Istočna kipa“ koje je bilo rekultivisano šumskom kulturom, te je usled njegovog ponovnog

aktiviranja ta površina smanjena a rekultivisana površina iskrčena i može se smatrati drvenim otpadom. To je još jedan od primera kako se na velikim kopovima mogu stalno stvarati novi izvori drvene biomase koja znatno može zameniti upotrebu dosadašnjih energenata.

U tabeli 3 je dato na koje količine biomase se može računati u Kolubari. Napredovanjem kopa, oslobađaju se nove površine za rekultivaciju a samim tim se dobijaju i nove količine biomase. Osim toga, eksproprijacijom zemljišta ispred fronta radova, velikim delom se nailazi na šume koje se krče pa bi se i taj drveni otpad kao i otpad nastao krčenjem terena mogao koristiti za dobijanje biomase.

Zaključak

Jedna od osnovnih prepreka za ekonomično eksploatiranje korišćenje biomase u širokoj primeni, je relativno mala energetska vrednost, raštrkanost i nepristupačnost terena za mehanizovano prikupljanje, kao i briketiranje, međutim u Kolubarskom basenu to ne bi bio problem, zato što su područja koja se iskrčuju obično velike šumske celine, sve se radi već postojećom mehanizacijom i ljudstvom, a i briketiranje ne predstavlja prepreku zbog već postojećih kapaciteta.

Sve ovo navodi na pomisao da se RB Kolubara polako priprema za uklanjanje u svetske tokove kad su u pitanju iznalaženje uslova za stvaranje i razvoj tzv. čistih tehnologija.

Pošto su osnovni, tehničko-tehnološki problemi koji određuju ekonomsku opravdanost primene ove tehnologije u vezi sa troškovima prikupljanja biomase i njenim kvalitetom, u RB Kolubara mogli biti ako ne potpuno prevaziđeni, onda znatno smanjeni, jasno je da bi se moglo pristupiti realizaciji ideje o velikom učešću biomase kao alternativnom vidu energije u RB Kolubara.

Literatura

- Dopunski rudarski projekat Površinskog kopa Polja D-Tehnički projekat rekultivacije
- Biomasa kao energent-T.Janić.M.Brkić
- Mineralno sirovinski kompleks Srbije i Crne Gore na razmeđu dva milenijuma
- Rekultivacija površinskih kopova i odlagališta

LOGISTIČKI SISTEMI ZA KORIŠĆENJE BIOMASE I OTPADNOG DRVETA KAO ENERGENATA U KOMUNALNIM SISTEMIMA

Dr Srećko Ćurčić, dr Snežana Dragičević
Tehnički fakultet, Svetog Save 65, Čačak
Mr Dragana Labović

Visoka škola za poslovnu ekonomiju i preduzetništvo, Mitropolita Petra 8, Beograd

UDC: 662.63.002/.004

REZIME

Biomase predstavljaju biološki razgradive materije koje se formiraju u poljoprivredi, stočarstvu i sa njima povezanim granama industrije, kao i biološki razgradivi deo industrijskog i gradskog otpada. Ona je potencijalni energent raspoloživ u ogromnim količinama, koji se veoma malo ili uopšte ne koristi. U današnje vreme kada količina organskog otpada neprestao raste čovek treba da shvati da je taj isti otpad istovremeno i nepresušni izvor energije. Tehnologije u kojima se može koristiti biomasa kao gorivo, pogotovu tehnologije sagorevanja su relativno jednostavne, dok je priprema biomase (sakupljanje, briketiranje, paletiranje, pakovanje, distribucija, skladištenje) nešto složeniji proces.

Korišćenje biomasa i otpadnog drveta kao energenata u komunalnim sistemima ima niz pozitivnih efekata: poboljšanje stanja životne sredine lokalne zajednice, povećanje tehnološkog razvoja u energetici, kao i razvoj slabo razvijenih oblasti koje su bogate biomasom.

Ključne reči: biomasa, logistički sistemi, energent.

ABSTRACT

Biomass is biological material derived from living, or recently living organisms. The term biomass is most often intended to refer to the organic materials produced from agricultural wastes, wood materials and municipal waste. Currently, it is available renewable energy sources but still insufficiently used. While amount of organic waste permanently increase today, at the same time biomass presents the inexhaustible energy source. Available technologies for usage of biomass energy are relative simple, as combustion of biomass, but preparation of biomass is more complex process (collection, brick and palette making, packing, distribution, storage).

Usage of biomass and wood waste as energy sources in municipal communal system has following advantages: environment improvement of local areas, increase growth of the energetics technology, and development of low developed regions with abundantly available biomass.

Key words: biomass, logistic system, energy source.

1. UVOD

Opšti pojam biomase veoma je širok i podrazumeva organsku materiju biljnog i životinjskog porekla. Prema procenama od ukupno nastale biomase na planeti Zemlji iskoristi se manje od 4 % (za hranu ljudi i životinja, za proizvodnju papira i kartona, u energetske svrhe -gorivo, itd). Energetska primena biomase većim delom ograničena je na drvo kao gorivo za loženje, što uglavnom nije ekološki opravdano i ne može biti osnov za dalje povećanje upotrebe biomase

Osnovne karakteristike pri upotrebi biomase kao energenta iste su kao kod svakog goriva: hemijski sastav, toplotna moć temperatura samozapaljenja, temperatura sagorevanja, fizička svojstva koja utiču na toplotnu moć (npr. gustina, vlažnost i dr). Osnovna veličina za proračun energije iz određene količine biomase jeste njegova toplotna moć. Najveći uticaj na nju ima vlaga (vlažnost, udeo vlage), potom hemijski sastav i gustina. Na toplotnu moć nedrvne biomase podjednako utiču udeo vlage i pepela. Udeo pepela u nedrvenim biljnim ostacima može iznositi i do

20% pa značajno utiče na toplotnu moć. Iskustva iz razvijenih zemalja, u Europi, posebno Danske, pokazuju kako se radi o vrednom izvoru energije koji se ne bi trebao zanemariti.

Jedan od najbitnijih faktora koji određuju potencijalnu ulogu biomase u energetskej industriji, predstavlja jaka konkurencija koja postoji između vrednosti biomase i zemljišta neophodnog za njen uzgoj, što nije slučaj sa ostalim obnovljivim izvorima. Biomasa može da se koristi kao hrana, đubrivo, za proizvodnju papirnih vlakana i kao gorivo. Čak i među derivatima biomase postoji konkurencija koja može da smanji njen značaj kao potencijalnog goriva: stajnjak je važno đubrivo, papir može da se reciklira, ljuspice pamuka mogu da se koriste u naftnim bušotinama, piljevina može da se koristi kao zaštitini sloj plodnog zemljišta, a otpadne masti iz restorana kao hrana za domaće životinje. Iako mnogi stručnjaci smatraju da biomasa može da se uzgaja isključivo za energetske potrebe, njihova dvostruka ili višestruka uloga se ne može zanemariti uključujući i ulogu sekundarnih proizvoda žetve.

Koncept upotrebe biomase obuhvata veliki broj izvora kao što su:

- Poljoprivredni otpaci: slama, lišće, delovi voćaka,
- Poljoprivredne žitarice kao što su različite vrste šećerne repe, šećerna trska, kukuruz,
- Energetske žitarice: žitarice koje brzo rastu kao što su repa, krompir i drveće,
- Šumski otpaci: neiskorišćeno drvo, ostaci klada i panjeva, poludivlje drveće
- Industrijski otpad,
 - Gradski otpad: iako ovaj tip otpada često sadrži toksične materijale, kao što su hemijski obrađivano drvo, baterije koje sadrže živu i druge opasne materije, ima otpada kao što su papir i biljni ostaci koji se mogu iskoristiti kao izvor biomase.

2. BIOMASE I OTPADNO DRVO KAO VREDAN RESURS

Na osnovu sprovedenih istraživanja utvrđeno je da trenutno na teritoriji opštine Čačak postoje dva javna preduzeća JKP «Gradsko zelenilo» i JKP «Komunalac» koja sakupljaju određene količine biomase i otpadnog drveta. Najveći deo sakupljene biomase i otpadnog drveta odnosi se na deponiju. Količine biomasa i otpadnog drveta koje se sakupljaju na godišnjem nivou na teritoriji Čačka date su u tabeli 1. Ukoliko bi javna preduzeća održavala sve delove grada, škole, predškolske ustanove i druge površine koje su na teritoriji urbanog i ruralnog dela Čačka količine sakupljene biomase bi mogle biti značajno veće, prema procenama oko (2-3) puta.

Tabela 1. Godišnje količine biomasa i otpadnog drveta koje se sakupljaju na teritoriji Čačka

Vrsta biomase	Količine koje sakuplja JKP «Gradsko zelenilo»		Količine koje sakuplja JKP «Komunalac»	
		Ukupno		Ukupno
Trava iz urbanog i ruralnog dela	1000 m ³		400	
Gradska i seoska groblja: zelena masa (trava, uvelo cveće)	750 m ³	2370 m ³	-	970 m ³
Lišće	500 m ³		500	
Ukrasno šiblje i žive ograde	120 m ³		70	
Granje pri orezivanju drveća	450 m ³	650 m ³	100	200 m ³
Drvo - deblje	200 m ³		100	
Industrijski otpad	-	-	7500 kg	7500 kg

Toplotna moć biomase zavisi od mnogo faktora: drvo ima toplotnu moć od 8,2 do $20 \frac{MJ}{kg}$, a biljni ostaci od 5,8 do $16,7 \frac{MJ}{kg}$. Ako se usvoji da je toplotna moć otpadne biomase $15 \frac{MJ}{kg}$, za prosečnu masu po metru kubnom razmatranih biomasa iz urbanog i ruralnog dela Čačka od $150 \frac{kg}{m^3}$ dobija se da je toplotna moć $1m^3$ otpadne biomase $2250 \frac{MJ}{m^3}$. Na osnovu toga količina toplote potencijalne otpadne biomase koja se skuplja iz urbanog i ruralnog dela Čačka iznosi:

$$Q_1 = 3440 \cdot 2250 = 7740 \text{ GJ} / \text{god} = 2153 \text{ MWh} / \text{god} . \quad (1)$$

Ako se usvoji da je toplotna otpadnog drveta $15 \frac{MJ}{kg}$, za prosečnu masu po metru kubnom otpadnog drveta iz urbanog i ruralnog dela Čačka od $500 \frac{kg}{m^3}$ dobija se da je toplotna moć $1m^3$ otpadnog drveta $7500 \frac{MJ}{m^3}$. Na osnovu toga količina toplote potencijalnog otpadnog drveta koja se skuplja iz urbanog i ruralnog dela Čačka iznosi:

$$Q_2 = 850 \cdot 7500 = 6375 \text{ GJ} / \text{god} = 1773 \text{ MWh} / \text{god} . \quad (2)$$

Na osnovu sprovedenih istraživanja konstatovano je da ostala preduzeća na teritoriji opštine Čačak, koja imaju potencijal i mogućnosti za korišćenje, veoma malo, ili uopšte ne koriste biomase i otpadno drvo.

2.1 Skladištenje biomasa i otpadnog drveta

Biomasa koja mora da se sakuplja i prevozi do skladišta ima svoju cenu zbog transporta. Ovi troškovi u strukturi nabavne cene mogu da se kreću od 35 do 50% u nabavnoj ceni. Oni su uslovljeni udaljenošću na koju se biomasa transportuje, vrstom transporta, veličinom kapacitetne jedinice u transportu, stepenom korišćenja transportnih sredstava, organizacijom utovara i istovara i dr. Kako bi se pronašlo optimalno rešenje, tj. da bi se transportni troškovi sveli na minimum

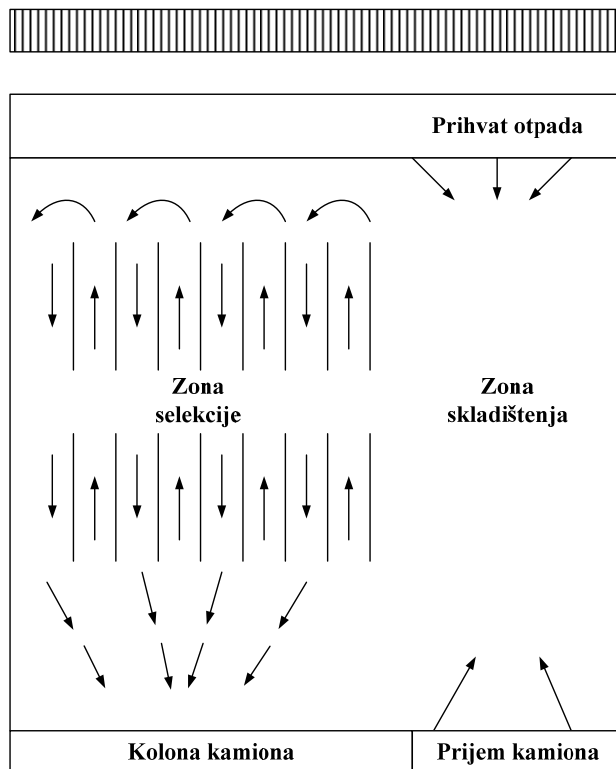
poželjno je slediti funkciju minimalnih transportnih troškova koja glasi: $\min T = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n C_{ij} \cdot X_{ij}$, pri

čemu je X količina otpada, dok C_{ij} predstavlja jediničnu cenu koštanja otpada i njegovog transporta za komunalno preduzeće.

Za optimizaciju skladišta treba uzeti u rezmatranje dva osnovna oblika:

- ♦ optimizacija (racionalizacija) postojećih tehničko-tehnoloških rešenja realizacije skladištenja;
- ♦ optimizacija novoprojektovanih tehničko-tehnoloških rešenja realizacije skladište-nja.

Primer izbora tipa skladišta za komunalna preduzeća koja tretiraju otpad dat je na slici 1.



Slika 1. Tip skladišta za komunalna preduzeća koja tretiraju otpad

Postupak optimizacije skladišta u uslovima novoprojektovanih rešenja karakterišu sledeća obeležja:

- moguće je formirati znatno veći skup varijantnih rešenja s obzirom na manje prisustvo limitirajućih faktora;
- investiciona ulaganja koja predstavljaju dominantnu karakteristiku skupa kriterijuma za optimizaciju.

Postupak vrednovanja varijantnih rešenja realizuje se na osnovu tehno-ekonomskih kriterijuma usvojenih za konkretnu situaciju.

2.3 Odeđivanje vremena sakupljanja i transporta biomasa i otpadnog drveta koje se sakupljaju na teritoriji Čačka

Da bi biomase imala široku upotrebu potrebno je proizvesti energiju što jeftinije, u dovoljnoj količini i propisanog kvaliteta. Biomasa koja mora da se sakuplja i prevozi do skladišta ili prerađivačkog kapaciteta što svoju cenu zbog sakupljanja, pripreme i transporta.

Za povećanje stepena iskorišćenja korisnosti otpadnih biomasa i otpadnog drveta na prvom mestu treba voditi računa o transportnim troškovima. Da bi bili minimalni transportni troškovi sakupljenih biomasa, lokaciju za sve prikupljene biomase bi trebalo izračunati prema izrazima:

$$X_B = \frac{\sum X_i \cdot Q_i}{\sum Q_i} \quad (3)$$

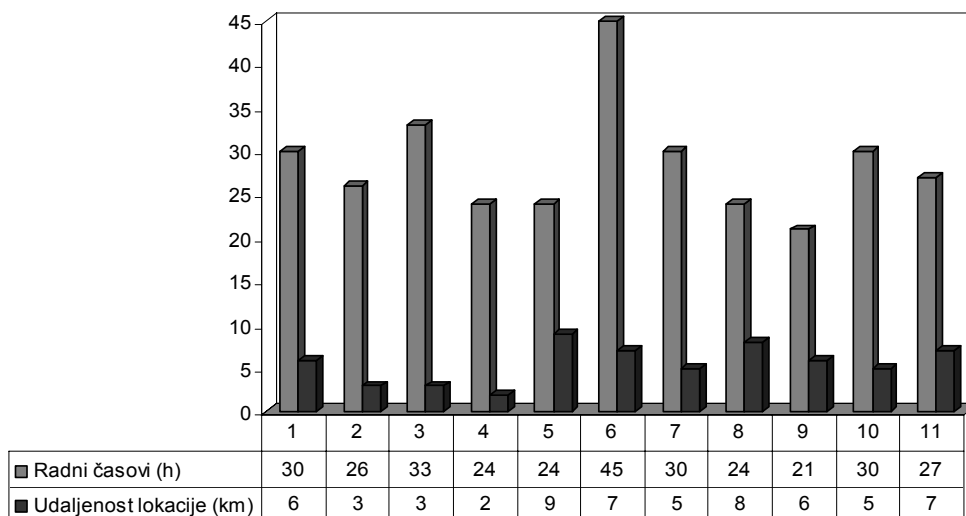
$$Y_B = \frac{\sum Y_i \cdot Q_i}{\sum Q_i} \quad (4)$$

gde su:

X_i, Y_i - koordinate i-tog izvora biomasa u km,
 Q_i - količine biomasa u i-tom izvoru.

Za analizu vremena i troškova za sakupljanje i transport biomasa i otpadnog drveta iz dela Čačka razmatrano je 11 lokacija na teritoriji urbanog dela opštine Čačak [7,8].

Zbog troškova transporta za biomasu su pogodna postrojenja manje snage, koja imaju niži stepen delovanja (npr. za termoelektrane na biomasu snage 5 MW $\eta = 15$ do 20%, za gasne turbine veći stepen delovanja $\eta = 45$ do 50%).



Slika 2. Količine razmatranih energenata i njihove udaljenosti od skladišta, sa potrebnim radnim časovima za sakupljanje i transport za 11 lokacija na teritoriji opštine Čačak [7,8]

3. LOGISTIČKA PODRŠKA ZA KORIŠĆENJE BIOMASE I OTPADNOG DRVETA

Logistički koncept za upravljanje zaštitom životne sredine (od pripreme proizvodnje do upravljanja otpadom) razvijaju organizacije koje su direktno ili indirektno uključene u proizvodnju ili za održavanje javnih površina. Osnovna ideja kod razvoja logističkog sistema za upravljanje zaštitom životne sredine jeste da biomasa i otpadno drvo ne naškode životnoj sredini kada se proizvod priprema i/ili koristi prema nameravanoj upotrebi. To podrazumeva da proizvodnja, obrada, distribucija, skladištenje i rukovanje biomasom i otpadnim drveto i njihovim sastojcima od primarne proizvodnje do potrošnje treba da bude u funkciji zaštite životne sredine.

Značajan potencijal energije od biomasa i otpadnog drveta komunalnih sistema treba pravilno koristiti. Izbor tehnologije za iskorišćenje biomasa i otpadnog drveta zavisi od mnogih faktora, a najvažniji su količina, vrsta i lokacija nastanka.

3.1 Identifikacija problema tretmana tipične biomase i otpadnog drveta

Projektom EE-243005A, u sadržaju istraživanja, kao ključna stavka predviđena je definicija koncepta programa za korišćenje nekih vrsta otpadnog drveta i biomasa, kao energenata u funkciji minimalnih troškova na nivou gradskih područja.

U predmetnom smislu, istražuju se karakteristike sirovog-netretiranog materijala (fizičke, hemijske, mehaničke, tehničko-tehnološke, energetske i ekološke) i analiziraju mogućnosti za pogodnim tretmanima u pogledu smanjenja vlage i gabarita materijala i stvaranja pogodnosti za njegovo skladištenje i manipulaciju, kao i unapredjenja njegovih energetskih karakteristika nakon presovanja (baliranja i/ili briketiranja).

Biomasa i drveni otpad kod komunalnih sistema spadaju u čvrsti otpad. Biomasa na nivou komunalnog otpada (trava nakon uredjenje travnjaka, parkova i igrališta, kao i opalo lišće, lišće i grane nakon obrade gradskog drveća, posečeno sitno rastinje, žbunje i sl.) takodje spada u čvrsti otpad, pa se za obe vrste otpada može primeniti procedura razrešenja za identifikovane probleme

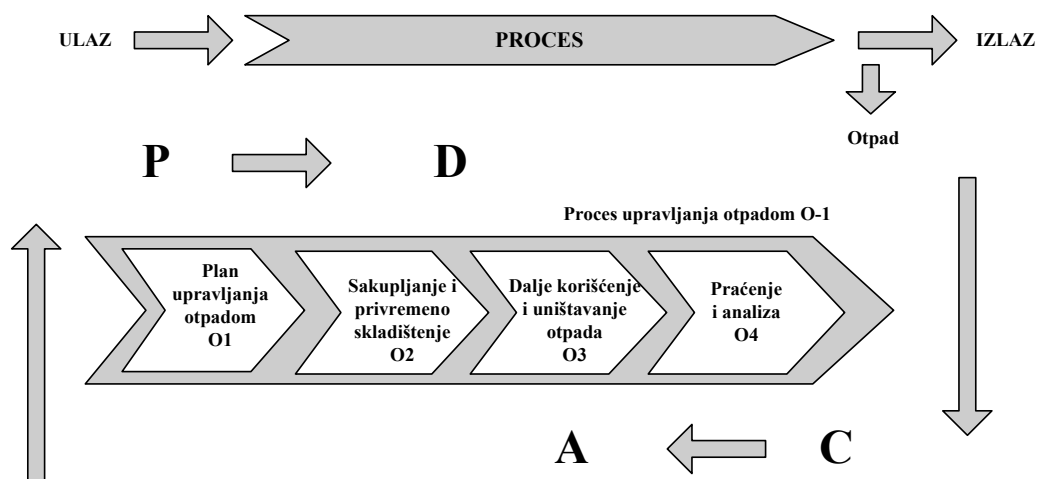
čvrstog otpada, kako je to i u slučaju procedure sa skupom uredjenih aktivnosti i dokumenata za čvrsti industrijski otpad.

Globalno gledano, na svim proceduralnim i manipulaciono-tehnološkim nivoima potrebna je odgovarajuća oprema, bilo da se radi o nadgradnji na postojeće mašine, vozila i opremu ili se radi o specijalizovanoj opremi za tretman otpada. Na primer, za proizvodnju, manipulaciju i transport otpada postoje odgovarajuća komunalna vozila, kao i vozila opšte namene sa potrebnom nadgradnjom (mehaničkom, elektro, hidrauličkom i pneumatskom), a za tretman prikupljenog sirovog otpada postoje odgovarajuće linije i procesna oprema koja podržava potrebne aktivnosti.

3.2 Tokovi biomase i otpadnog drveta u komunalnim sistemima

Kretanje biomasa i otpadnog drveta u komunalnim sistemima, od mesta nastanka do mesta konačnog zbrinjavanja, podrazumeva sledeće aktivnosti: postupak skupljanja, prevoza, iskorišćavanja, obrađivanja i konačnog odlaganja naziva se tokom otpada. Tokovi otpada zavise od njegovih svojstava, mesta nastanka, kao i obaveza i odgovornosti onih koji su dužni da zbrinjavaju otpad.

Pravna i fizička lica čijom aktivnošću nastaje otpad učestvuju u sistemu upravljanja otpadom na nivou države, jedinice regionalne i lokalne samouprave zavisno od načina i stepena organizovanosti, znanja, svesti i informisanosti.



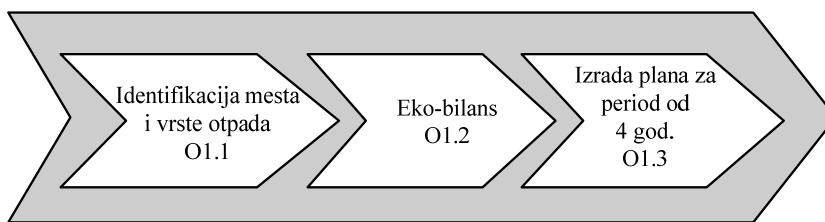
Slika 3. Proces upravljanja otpadom

Proces upravljanja biomasa i otpadnim drvetom može se podeliti na četiri osnovna podprocesa, kao što je prikazano na slici 4.

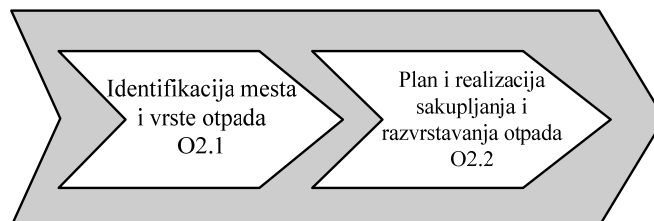
Plan upravljanja otpadom mora imati proizvođač otpada koji proizvodi godišnje određene količine bezopasnog i/ili opasnog otpada. Plan, koji se donosi za određeno vremensko razdoblje i dostavlja nadležnoj organizaciji, sadrži podatke o:

- vrsti, količini, mestu nastanka i trendu promene količine otpada,
- postojećem i predviđenom načinu upravljanja otpadom,
- sopstvenim građevinama i uređajima za upravljanje otpadom.

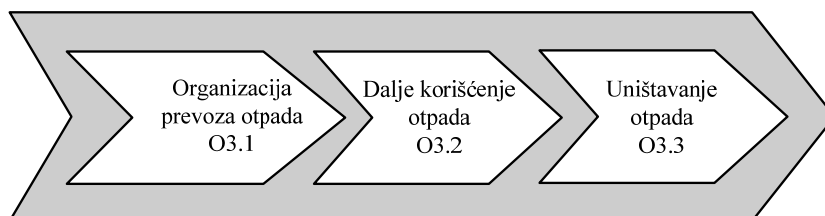
Potproces: Plan upravljanja otpadom O1



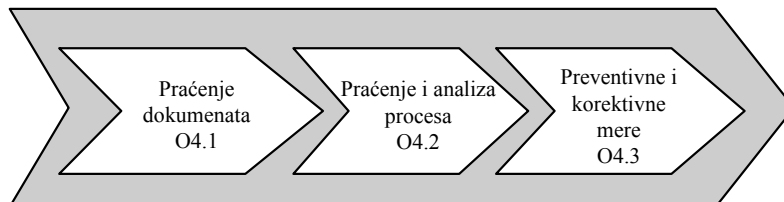
Potproces: Sakupljanje i privremeno skladištenje otpada O2



Potproces: Dalje korišćenje i uništavanje otpada O3



Potproces: Praćenje i analiza O4



Slika 4. Proces upravljanja otpadom u sistemu za proizvodnju energije

Sa aspekta logistike kao funkcije, njeni zadaci kod komunalnih sistema su:

- da pomoću logističkih metoda radi na rešavanju problema u oblasti transporta, skladištenja-odlaganja i upravljanja otpadom,
- da prati i analizira primenjivost logističkih metoda u poslovanju komunalnih sistema,
- da obezbedi povratni uticaj primene logističkih metoda na dalji razvoj logistike kao discipline i nauke.

Model zadataka logistike uopšte čine:

- minimizacija troškova proizvodnje,
- minimizacija vremena ciklusa proizvodnje,
- minimizacija zaliha,
- maksimizacija dobiti,
- maksimizacija iskorišćenosti kapaciteta i
- tačno određivanje rokova.

Logistički sistem se sastoji iz više elemenata koji su međusobno povezani i koji utiču na troškove transporta, skladištenja i rukovanja proizvodima. Logistički sistem komunalnog preduzeća ima sledeće osnovne elemente:

- transport,
- skladištenje,
- zalihe,
- distribuciju,
- održavanje,
- manipulaciju,
- ljudske resurse,
- informacijski sistem i
- integraciju.

Dakle, logistički sistem komunalnog preduzeća počinje da funkcioniše prikupljanjem otpada, zatim se prikupljeni otpad smešta-odlaže, a odatle se prebacuje do definisanih mesta zavisno od namene, odnosno usvojene metodologije upravljanja otpadom.

4. RAZVOJ SISTEMA ZA KOMPOSTIRANJE

Kompost se može koristiti u poljoprivredi samo pod uslovom da su ispoštovana sva sanitarna pravila i ukoliko je izvršena kontrola komposta u smislu postojanja patogenih mikroorganizama i štetnih hemikalija. Vrednost komposta ogleda se u postojanju mikroorganizama i materija koje mogu naneti štetu zdravlju čoveka pri njegovom kontaktu sa zemljištem, kroz biljne kulture koje služe za ishranu ljudi i stoke, kroz vodu, vazduh i insekte. Kompost iz otpada sadrži teške metale i retke elemente, što dovodi u pitanje upotrebljivost komposta kao stajskog đubriva na poljoprivrednim površinama. S druge strane, neki mikro elementi, koji se nalaze u kompostu, su fiziološki neophodni za razvoj biljaka (bakar, cink, mangan, hrom, bor). Teški metali, kao što su živa, kadmijum i olovo iz komposta mogu dospeti u zemljište.

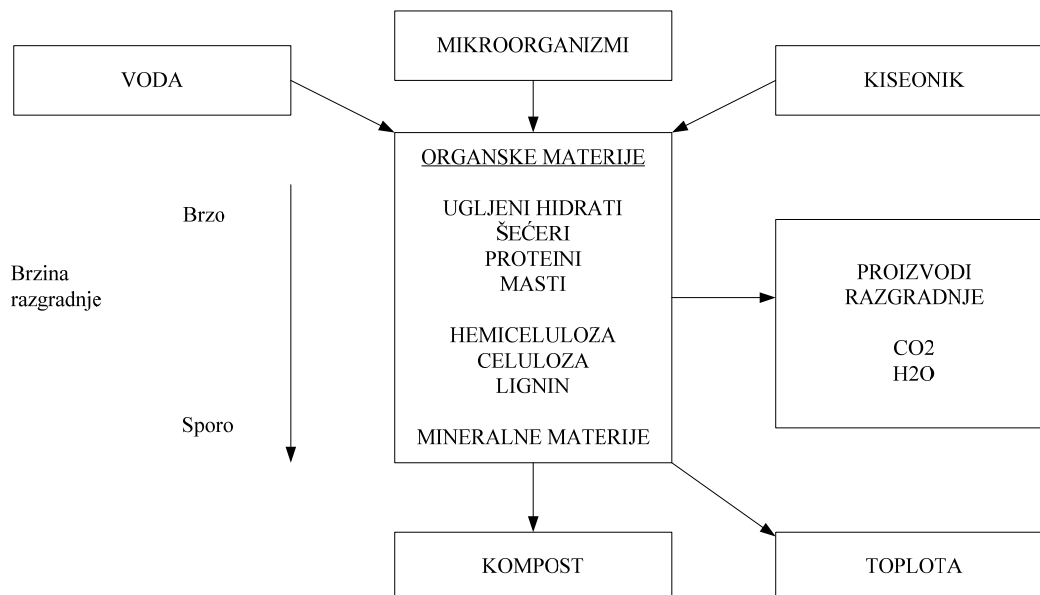
Kompostiranje, kao savremeni vid tretmana čvrstog komunalnog otpada je egzoterman proces biološke oksidacije, u toku kojeg se organski supstrat podvrgava aerobnoj biodegradaciji pod uticajem mešane populacije mikroorganizama u uslovima povećane temperature i vlažnosti. U procesu biodegradacije organski supstrat trpi fizičke, hemijske i biološke transformacije, uz stvaranje stabilnog humifikovanog krajnjeg proizvoda. Ovaj proizvod je dragocen za poljoprivredu – kao organsko đubrivo i kao sredstvo koje poboljšava strukturu zemljišta.

Kompostirati se mogu:

- biootpad bogat azotom (50%): ostaci voća i povrća, kore voća i povrća, talog kafe i čaja, pokošena trava, korov i ostaci biljaka iz bašti, uvelo cveće;
- biootpad bogat ugljenikom (50%): lišće, usitnjeno suvo granje, slama i seno, ostaci kod orezivanja voća i vinove loze, piljevina, iglice četinarara.

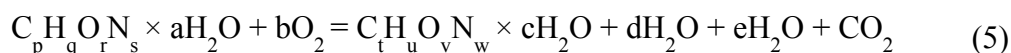
Na proces kompostiranja utiče puno činilaca, ali najznačajniji činioci razgradnje organskih sastojaka su kiseonik i voda. Temperatura je, takođe, vrlo značajan faktor, ali ona je rezultat mikrobiološke aktivnosti. Pored navedenog, stepen povećanja temperature je u direktnoj vezi i sa vrstom materijala koji se kompostira, jer je poznato da se transformacijom organskih materije sa većim sadržajem azotnih jedinjenja oslobađa veća količina toplote od onih koje sadrže više ugljenohidratnih komponenti. Ostali značajni činioci koji mogu limitirati proces kompostiranja su ugljenik i kiseonik (imaju značajnu ulogu jer su neophodni za mikrobiološku aktivnost i rast) i pH reakcija. Fosfor i sumpor su, takođe, značajni, ali je njihova uloga u procesu kompostiranja manje poznata. Mikroelementi kao Cu, Ni, Mo, Fe, Zn, zatim makroelement Mg i korisni Na, neophodni su za enzimsku aktivnost, ali se malo zna o njihovoj ulozi u procesu kompostiranja.

Navedene mineralne materije imaju ulogu u poboljšanju pufernosti komposta i brzine fermentacije, kao i na delimično vezivanje oslobođenog amonijaka koji u tom procesu nastaje (recimo neki fosfati, karbonati i sl.), a čiji bi gubitak izazvao “azotnu depresiju“ u kompostnoj masi.



Slika 5. Proces kompostiranja (E p s t e i n, 1997)

Prema Wiley and Pierce (1955) osnovni proces kompostiranja može se prikazati i sledećom hemijskom jednačinom:



Samozagrevanje organskih sastojaka tokom kompostiranja rezultat je mikrobiološkog disanja. Povećanje temperature utiče na mikrobiološku populaciju promenama mezofilnih i termofilnih organizama, što utiče na brzinu razgradnje organskih sastojaka. Zbog toga se mikrobiološko disanje može koristiti kao indikator dekompozicije i stabilnosti komposta. Proces samozagrevanja kompostne mase ima određenu dinamiku pa se kriva temperature može podeliti na mezofilnu (<45°C) i termofilnu zonu (>45°C) u okviru kojih se mogu razlikovati 4 faze:

1. inicijalna faza (mezofilna),
2. faza porasta temperature (termofilna faza),
3. faza maksimuma (termofilna faza),
4. rashlađivanje.

Kiseonik je neophodan za mikrobiološku aktivnost, jer je kompostiranje aerobni proces. Izlaganje svetlosti i obezbeđenje kompostne mase kiseonikom može se sprovesti preokretanjem mase, strujanjem vazduha i mehaničkim osvetljavanjem. Pasivno izlaganje svetlosti konvekcijom vrlo je zavisno od poroznosti kompostne mase. Nedostatak kiseonika rezultira procesima truljenja. Utrošak kiseonika tokom kompostiranja zavisi od vlažnosti koja bitno utiče na mikrobiološku aktivnost, a maksimalan utrošak je uz 65% vlažnosti.

5. ZAKLJUČAK

Korišćenje biomase za proizvodnju energije je alternativno, tehnički i ekonomski opravdano rešenje, jer postoje bitne količine biomase na mestima gde je neophodna toplotna energija koja je po kvalitetu ista kao energija proizvedena sagorevanjem klasičnih fosilnih goriva. Razvoj ekonomičnog gorivnog lanca od mesta formiranja otpadne biomase do mesta korišćenja prioritetni je zadatak da bi se biomasa pojavila kao značajno gorivo na tržištu. Perspektiva korišćenja energije

biomase zasniva se na kontrolisanoj i stimulisanoj upotrebi izvora na pojedinim lokacijama kako bi se izbeglo neracionalno korišćenje ovog značajnog prirodnog resursa.

Korišćenje biomasa koje sakupljaju komunalni sistemi, kao sirovine za dobijanje energije, ima sigurnu budućnost jer:

- doprinosi održivom razvoju,
- doprinosi smanjenju emisije gasova sa efektom staklene bašte,
- doprinosi otvaranju novih radnih mesta,
- smanjuje stopu migracije stanovništva iz ruralnih sredina,
- podiže opštu svest o potrebi očuvanja okoline i
- predstavlja važan faktor stabilnosti zajednice povećanjem nezavisnosti od uvoza energenata.

Rad je nastao kao rezultat istraživanja u okviru projekta «Razvoj i primena logističkih sistema za korišćenje biomasa i otpadnog drveta kao energenata u domaćinstvima i industriji» (Nosilac projekta: Tehnički fakultet Čačak; Rukovodilac projekta: dr Srećko Ćurčić, vanr.prof; Finansira Ministarstvo nauke i zaštite životne sredine Republike Srbije; Program istraživanja u oblasti energetske efikasnosti, 2006-2009.; Evidencioni broj ugovora: 451-01-03059/2005-01/EE-243005A).

LITERATURA

- [1] Srećko Švaić: „Proizvodnja toplinske energije iz drvene biomase“, Međunarodno savjetovanje i radionica „Izazovi strategije zaštite okoliša i održivog razvoja“, Fakultet strojarstva i brodogradnje Zagreb, Zagreb, 2005.
- [2] Bruno Motik: „Zelena energija“, Zagreb, 2005.
- [3] Demirbas, A.H., Demirbas, I., Importance of rural bioenergy for developing countries, Energy Conversion and Management, 48 (2007), pp. 2386-2398, 2007.
- [4] Ćurčić, S., Bjekić, M., Dragičević, S., Energetski potencijal biomase i otpadnog drveta iz urbanog dela Čačka, Naučno-stručni časopis “Energetske tehnologije”, Godina 4, Broj 1, str. 26-28, Januar 2007.
- [5] Cehlar, M., Management technology of wood waste for energetic purposes, METABK 43 (4), pp. 339-342, 2004.
- [6] STRATEGIJA RAZVOJA ENERGETIKE REPUBLIKE SRBIJE DO 2015. god., Beograd, 2002.
- [7] Interna dokumentacija "JKP Gradsko zelenilo" Čačak, 2007.
- [8] Interna dokumentacija "JKP Komunac" Čačak, 2007.
- [9] Basic information regarding decentralised CHP plants based on biomass combustion in selected IEA partner countries, Final report, BIOS ENERGIESYSTEME GmbH, Graz, Austria, 2004.
- [10] M. Mesarović, Sustainable energy from biomass, Thermal Science, Vol. 5 (2), pp 5-32, 2001.
- [11] Epstein, E. (1997): The science of composting. Technomic Publishing Company. Lancaster, Pennsylvania, USA.

MOGUĆNOSTI PRIMENE ENERGIJE TVRDOG KOMUNALNOG OTPADA U SISTEMU DALJINSKOG GREJANJA I HLAĐENJA

Prof.dr. Šefik M.Bajmak

Tehnički fakultet Univerziteta u Prištini sa sedištem u Kosovskoj Mitrovici

UDC: 662.61/.65 : 697.1

ABSTRAKT

Broj stanovnika na našoj planeti raste iz godine u godinu. Paralelno sa porastom broja stanovnika teku društvene promene koje dovode do porasta gradskog stanovništva, to jest do migracije iz sela u gradove. Sa koncentracijom ljudi koji žive i rade na relativnom ograničenom prostoru koji obuhvata jedno gradsko realno urbanističko naselje pojavljuju se mnogi novi problemi koji se sa više ili manje uspeha ipak rešavaju.

Uporedo sa povećanjem nacionalnog dohotka u našoj zemlji se povećava i lični standard svakog pojedinca. Na stvaranju većeg životnog standarda, veliku ulogu ima zadovoljavanje u potrebnoj energiji: električnoj, toplotnoj i rashladnoj. Za vreme sezone grejanja korisnicima toplotne energije potrebno je da im se dovede toplotna energija.

U toplijim klimatskim zonama osetno rashladno optrećenja leti imaju postrojenja za klimatizaciju. Iz ovoga se vidi da urbana sredina, u savremenim gradovima zahteva kontinuitet u snabdevanju energijom tj. leti i zimi.

Ključne reči: tvrdi komunalni otpad, sagorevanje otpada, daljinsko grejanje, daljinsko hlađenje

POSSIBILITIES OF ENERGY USE OF SOLID PUBLIC WASTE IN DISTRICT HEATING AND COOLING SYSTEM

ABSTRACT

From year to year the number of people living on our planet is growing. As we have population increase we also have society changes that lead to city population increases, migrations from villages to cities. With population concentration that live and work on relatively limited areas that embrace one city urban area new problems come up that are solved with more or less success.

As the national income in our country increases, the personal standard of each person increases as well. In order to make living standard bigger, big roll has satisfaction of needed energy: electrical, heating and cooling. For heating season the heating energy consumers need their heating energy.

In hotter climatic zones air cooling systems in the summer have bigger loads. From this we can see that urban areas, in modern cities need continued energy supply, in summer and winter.

Key words: hard house waste, incineration waste, district heating, district cooling;

1.URBANIZACIJA I NEKI NJENI PROBLEMI

Da bi se zadovoljili „**apetiti**“, za energijom koristi se energija dobijena iz različitih resursa. U svetu, energija dobijena od spaljivanja tvrdog komunalnog otpada se veoma intenzivno koristi kako za proizvodnju električne energije tako i za proizvodnju toplotne i rashladne energije. U radi su prikazane mogućnosti korišćenja tvrdog komunalnog otpada za celokupno snabdevanja energijom. Data je energetska analiza takvog jednog postrojenja.

Sa povećanjem standarda stanovništva, potrebno je obezbediti dovoljnu količinu zdrave i pitke vode i sve prehrambene proizvode. Ono što se predviđalo to i se ostvarilo, više od polovina stanovnika živi u gradovima većim od 100.000 stanovnika. Da bi se sagledala celokupna situacija u

tabeli T1 i T2 , dat je prikaz količine materije koje treba svakodnevno uneti i izneti iz naseljenih mesta .

Tabela T1.Količina materijala koju treba dopremiti svakog dana

Za grad od stanovnika	Životnih namernica sa ambalažom kg	Čista pitka voda ,litri	Razna goriva, ulja, nafte ,gasa u kg
100.000	200.000	25.000.000	500.000
500.000	1.000.000	125.000.000	2.500.000
1.000.000	2.000.000	250.000.000	5.000.000
5.000.000	10.000.000	1.250.000.000	25.000.000

Tabela T2.Količina materijala koju treba izbaciti kao otpad svakog dana

Za grad od stanovnika	Organski otpad u kg	Otpadne vode u litrim	Gasovitih sastojaka i prašine u kg
100.000	200.000	20.000.000	50.000
500.000	1.000.000	100.000.000	250.000
1.000.000	2.000.000	200.000.000	500.000
5.000.000	10.000.000	1.000.000.000	2.500.000

Za vreme sezone grejanja i hlađenja neophodno je potrošačima dostaviti određenu količinu rashladne energije.Prema tome savremeni gradove zahtevaju kontnutet u snabdevanju energijom tj. leti i zimi.

Da bi se zadovoljilji „**apetiti**“ za energijom koristet se različiti resursi , ugalj, tečna goriva , atomska energija, tj. svi oblici konvencionalnih izvora energije. U savremeno svetu i potrošačkom društvu traže se novi izvori energije tj. nekonvencionalni izvori, kao što su: solarna energija, geotermalna energija, energija biomase, energija plime i oseke i energija dobijena sagorevanjem tvrdog komunalnog otpada. U svetu , energija dobijena od sagorevanja TKO se veoma intezivno koristi kako za proizvodnju električne energije tako i za proizvodnju toplotne energije.

Prema tome , tvrdi komunalni otpad se može iskoristiti za proizvodnju toplotne, električne i rashladne energije. U zavisnoti od oblika proizvedene energije, ona može biti namenjena za :

- grejanje, ventilaciju i snabdevanje sanitarnom vodom stambenih rejona , bazena i sličnih objekata;
- tehnološke potrebe u industriji;
- za potrebe klimatizacije savremenih stambenih četvrti, naučno istraživačkih centara i administrativnih i drugih objekata, te u industriji za tehnološke potrebe;

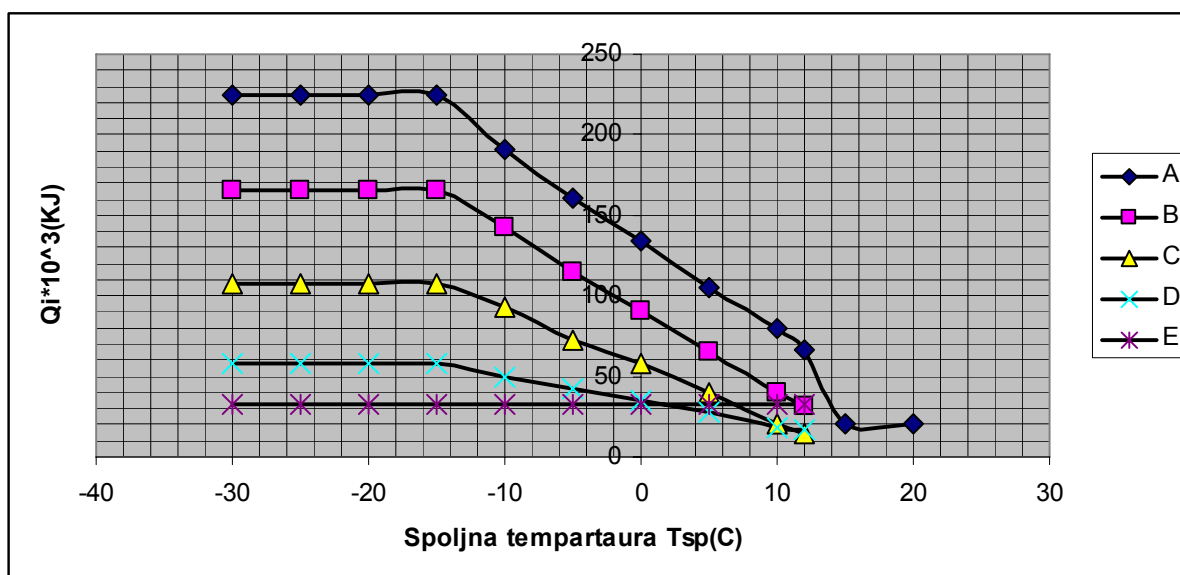
2.ODREĐIVANJE TOPLOTNOG I RASHLADNOG OPTREĆEENJA PO ZBIRNIM POKAZATELJIMA

Pri razradi sistema centralizovanog snabdevanje toplotom, u perspektivi , treba ustanoviti bez projektna dokumentacije količinu neophodne energije za zagrevanje objekata [1,2]. Sem toga , neophodna je izvesna tačnost u određivanju potrošnje toplote, pa je zato za predprojektne potrebe potreban specifičan pokazatelj potrošnje toplote za približnu ocenu. U sistemu grejanja često se koristi u toku mnogih godina, pokazatelj , specifični toplotni gubitak objekta $X_{gr} (W/m^3 K)$.

Na osnovu podataka iz litertue [1,2,3] u tabeli T3 dati su podaci o potrošnji energije po stanovniku za stambene i društvene objekte.Na slici 1. dat je dijagram dnevne potrošnje toplote po glavi stanovnika za naše uslove.

Tabela T3. Ukupni specifični pokazatelji godišnje potrošnje toplote sumirani za stambene i društvene objekte po stanovniku (grad sa 50 ÷ 250 hiljada stanovnika)

Potrošači toplote	Specifična godišnja potrošnja toplote GJ/s tan
	$t_{sp} = -15^{\circ}C$; $t_{spve} = -6^{\circ}C$; $t_{gr.sr} = +6,4^{\circ}C$; $n_{gr} = 190(dana)$
Zagrevanje stambenih objekata	6,78÷9,13
Zagrevanje društvenih objekata	3,33÷5,76
Ventilacija društvenih objekata	1,20÷2,70
Snabdevanje sanitarnom toplom vodom stambenih objekata	6,40÷6,70
Snabdevanje sanitarnom toplom vodom javnih objekata	1,92÷2,83
UKUPNO	19,63÷27,12
Napomena :Manje vrednosti svih pokazatelja se odnose na $F_{st} = 9(m^2/sta)$ a veće vrednosti na $F_{st} = 12(m^2/sta)$	



Slika 1. dijagram dnevne potrošnje toplote po stanovniku u zavisnosti od temperature spoljnog vazduha $t_{up} = 18^{\circ}C$; $t_{smax} = 12^{\circ}C$; $t_{sp} = -15^{\circ}C$; $F_{st} = 12(m^2/sta)$ (A-ukupna potrošnja toplote; B-potrošnja toplote na zagrevanju; C-zagrevanje stambenih objekata; D-zagrevanje javnih objekata; E-sanitarna priprema tople vode;)

Kod približnih proračuna rashladnog optrećenja, neophodno je raspolagati podatkom o količini toplote po $1m^3$ objekta u jedinici vremena pri razlici temperature $1^{\circ}C$, tj. specifičnom pokazatelju toplotnih dobitaka u objektu $Y_{hl}(W/m^3K)$ [8,9,10]. Za razliku od grejne karakteristike $X_{gr}(W/m^3K)$, pokazatelj $Y_{hl}(W/m^3K)$ treba da uzme u obzir uticaj sunčevog zračenja na veličinu toplotnih dobitaka objekta. Po ovome, očigledno je da izbor letnje temparturske razlike spoljnog i unutrašnjeg vazduha ne obezbeđuje pouzdan proračun, ako bilo kakva korelaciona veza između temperature spoljnog vazduha i inteziteta sunčevog zračenja ne postoji.

Za izračunavanje veličine toplotnih dobitaka može se iskoristiti formula :

$$Y_{hl} = \frac{\alpha_{um} \left[2 \cdot m_1 \cdot h_1 \left(1 - \mu_f + \frac{1 - \mu_b}{m_2} \right) + e \right]}{m_1 \cdot h_1 \cdot e \cdot (1 - \mu_{POK})} \quad (1)$$

Veličina toplotnih dobitaka stambenog , poslovnog ili bilo kog drugog objekta može se odrediti po izrazu:

$$Q_{ob}^{uk} = V_{ob} \left[Y_{hl} (\tau_{pr}^{sr} - t_{um}) + q_{ud} \right] \cdot n_{hl} \quad (2)$$

Na osnovu analiza i proračuna [1,8,9,10] u tabeli T4 su prikazane vrednosti za specifično rashladno optrećenje (q_{hl}) različitih objekata po nameni .

Tabela T4

Opis pozicije	Specifično rashladno optrećenje q_{hl} (W/m^2)
Stambeni objekti	60÷95
Administrativni centri	70÷165
Muzeji, biblioteke	95÷245
Bolnice	95÷150
Dečiji vrtići jaslice	70÷140
Trgovački centri	105÷313
Restorani	280÷490 (350÷440)*
Pozorišta i auditorijumi	230÷315 (175÷235)*
Sale za skupove	(230÷290)*
Bioskopi i pozorišta	245÷360 (220÷360)*
*Napomena : vrednosti u zgradama se odnose po osobi	

3.EFEKTIVNOST SUPSTITUCIJE KONVENCIONALNOG GORIVA SA TVRDIM KOMUNALNIM OTPADOM I KOMPARATIVNA ANALIZA

Korišćenje tvrdog komunalnog otpada kao kvalitetno gorivo za proizvodnju toplotne, električne i rashladne energije [1,2,3] ima veliki značaj za urbanu sredinu. Iz analize potrošnje toplote za potrebe grejanja, ventilacije i pripreme sanitrne tople vode za potrebe stambenih i društvenih objekata po glavi stanovnika , tabela T3, vidimo da iznosi oko 19 ÷ 27(GJ/s tan) .Analizom je ustanovljeno da se oko 10% od celogodišnje potrebe za toplotom može se pokriti na račun potpunog sagorevanja tvrdog komunalnog otpada.

Na slici 2. predstavljeni su dijagrami koji karekterišu deo toplote i električne energije koji se može dobiti na račun potpunog sagorevanja tvrdog komunalnog otpada prema opštim godišnjim potrebama stambenog i komunalnog sektora grada po glavi stanovnika [1,2,4,5,6]

Godišnja količina „uslovnog goriva“ neophodnog za snabdevanje u toploti po glavi stanovnika iznosi:

$$B_G^{UG} = Q_g^{st} / H_d^{ug} \cdot \eta_k = (19,63 \div 27,12) / (29300 \cdot 0,8) = 837 \div 1157 (\text{kg.ug/godisnje}) \quad (3)$$

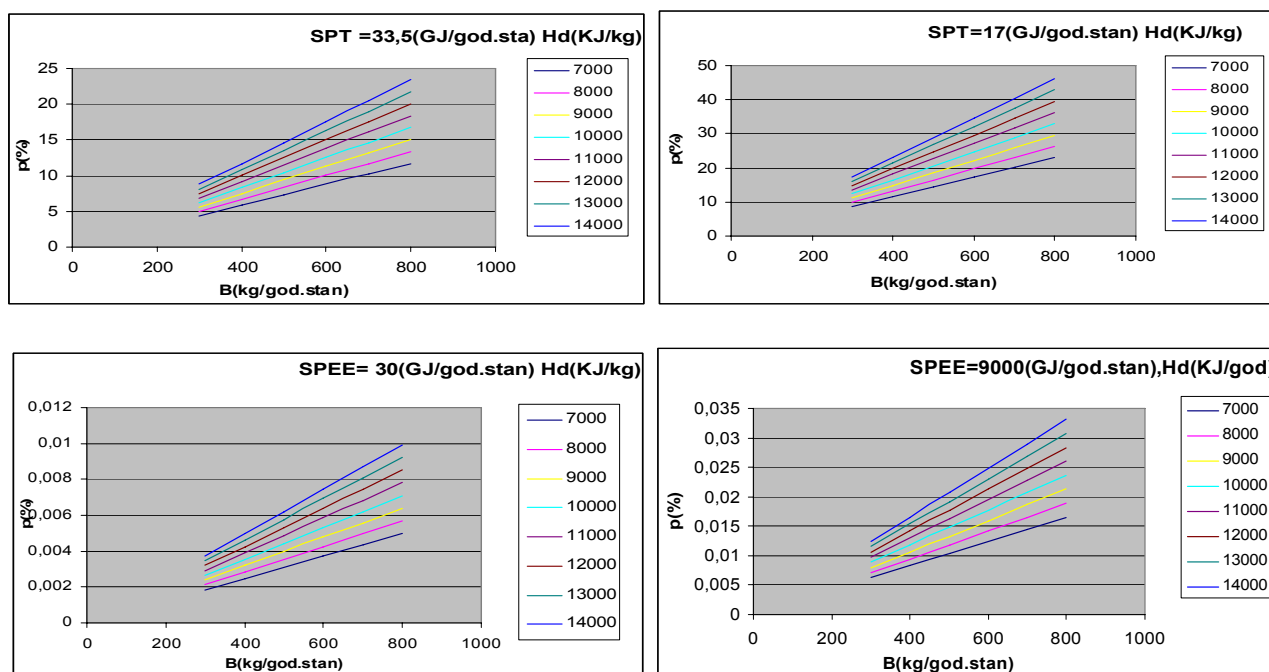
Količina toplote, koja se može dobiti od sagorevanja tvrdog komunalnog otpada po glavi stanovnika iznosi:

$$Q_{g.st}^{TKO} = b_1 \cdot H_d^{TKO} \cdot \eta_{ks} = 300 \cdot 7560 \cdot 0,70 = 1.587.600 (\text{KJ/god}) \quad (4)$$

Pri $t_{sp} = -15^{\circ}C$ možemo pokriti oko 6÷8 % godišnje potrebe svakog stanovnika na ime sagorevanja tvrdog komunalnog otpada. Pri korišćenju tvrdog komunalnog otpada kao kvalitetno gorivo, može se za godinu dana uštedeti po glavi stanovnika oko :

$$\Delta B_g^{ug} = Q_g^{st} / H_d^{ug} \cdot \eta_k = 1,5876 \cdot 10^6 / 29300 \cdot 0,8 = 68 (\text{kg.ug/god}) \quad (5)$$

Pri spaljivanju u ložištima kotla spalione otpada celokupnu količinu otpada za grad od 100.000 stanovnika može se uštedeti oko 6800(t.ug/god). Pri ceni konvencionlnog goriva u granicama od 100 ÷ 150(evra/toni) može se uštedeti oko $(0,7 \div 1) \cdot 10^6$ (evra/god). U ovu analizu nije ušla ušteda koja se dobija od sekundarnih sirovina i očuvanje životne sredine.



Slika 2. Dijagram za održavanje dela toplotne i električne energije dobijene spaljivanjem TKO

4. NAČINI POVEĆANJA EFEKTIVNOSTI PROIZVEDENE TOPLOTNE ENERGIJE U SPALIONAMA TVRDOG KOMUNALNOG OTPADA

4.1. Iskorišćavanje toplote proizvedene u spalioni otpada u sistemu TEC

Pri priključivanju spalione otpada na toplotnu mrežu rejonske kotlarnice toplotna energija, dobijena od sagorevanja konvencionlnog goriva, potpuno ili delimično se zamenuje sa toplotnom energijom dobijenom od postrojenja za spaljivanje otpada. Proizvedena toplotna energija u spalioni koristi se po pravilu, u toku cele godine. Dopunska investicija je samo polaganje trase od spalione otpda do rejonske kotlarnice ili do toplotne mreže ove kotlarnice

idući od TEC ka proizvodnim potrošačima. Para potrebnih parametara od spalione predaje se u parovodu i delimično potiskuje (deo pare dobijenu od TEC na ugalj) paru od TEC. Pritisak pare u parovodu reguliše se u TEC.

Ako je nemoguće neposredno iskorišćavati paru od spalione za proizvodnju električne energije ili za pokrivanje potrošača pare , može se primeniti šema sa iskorišćavanjem pare od spalione za zagrevanje mrežne vode za potrebe toplifikacije .

U toplotnoj šemi na slici 4. para od splione predaje se u TEC i koristi se za zagrevanje mrežne vode u specijalnim dopunskim zagrejačima , predviđeni posle osnovnih mrežnih zagrejača TEC . U toplom periodu godine para od spalione delimično potiskuje paru od toplifikacionog oduzimanja , a u hladnom periodu, kada optrećenje rejona prevazilazi snagu toplifikacionih oduzimanja , deo vršnog optrećenja pokriva se od ROU ili od vodogrejnog kotla kao što je prikazano na slici 4 i 5 . Kondenzat iz dopunskog zagrejača prirodnim tokom ili pumpom vraća se u spalionu , te u rezultatu imamo nezavisan režim rada TEC i spalione. U svojstvu dopunskog koristi se jedan od zagrejša TEC ili se predviđa specijalni.

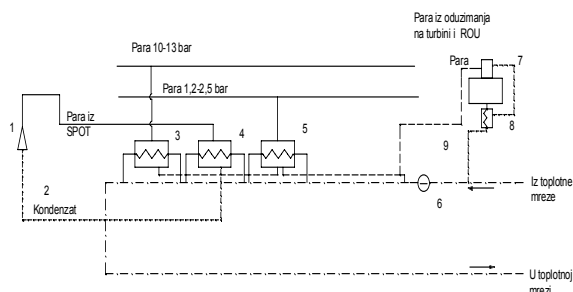
Na slici 5. spaliona je uključena paralelno (po vodi) na jednu magistralu od TEC , uređaj za zagrevanje ukompovan je sa spalionom otpada. Toplotni kapacitet reguliše se kvantitativnom cirkulacijom kroz zagrejač vode regulatorom temparture (moguće je zaobilazno regulisanje pumpom).

Prikazan šema na slci 6. može se primeniti pri hidrouličkoj stabilnoj toplotnoj mreži od TEC i pri odnosu opterećenja spalione i magistrale u mestu spjanja manje 0,1 tj. $Q_{SP}/Q_{MAG} < 0,1$.

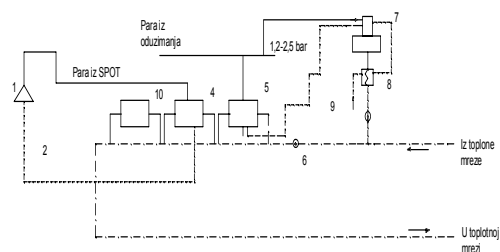
Na slici 7. zagrejač odnosno spaliona uključuje se redno po vodi sa osnovnim i vršnim zagrejačima TEC. Ovakva šema primenjuje se , kada je spaliona raspoređena u blizini tranzitnih magistrala TEC. Temparturni režim u magistrali održava se pri zagrevanju vode u zagrejaču spalione.

Spalione mogu neposrdeno (direktno) da pokriju toplotno optrećenje odvojenog rejona, u tom slučaju TEC se koristi kao rezrva u slučaju preoptrećenja spalione.

Izbor tehnološke šeme uključivanja spalione na toplotnu mrežu TEC, zasniva se na tehnno-ekonomskim proračunima.

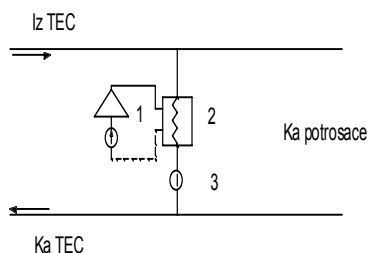


Slika 4. Principijelna šema uključivanja spalione otpada u toplifikacioni ciklus TEC (1-spliona otpada ; 2-pumpa za kondenzat; 3-vršni zagrejač; 4-dopunski zagrejač; 5-osnovni zagrejač; 6-mrežna pumpa; 7-dearator; 8-hladnjak napojne vode; 9-napojna pumpa

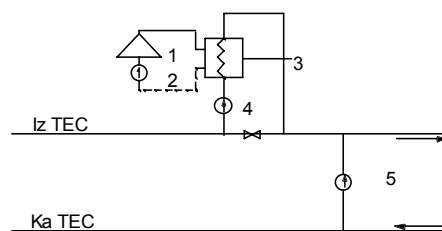


Sliak 5.Principijelna šema paralelnog uključivanjaspalione otpada na toplotnoj magistrali TEC (1-spaliona otpada; 2-zagrejač vode; 3-cirkulaciona pumpa)

energija



Slika 6. Principijelna šema uključivanja spalione otpada redno sa osnovnim i vršnim bojlerom (1-spalionica ; 2-napojna pumpa; 3-zagrejač vode; 4-napojna pumpa; 5-mešna pumpa)



Slika 7. Principijelna šema uključivanja spalione redno na povratnu liniju toplotne mreže (1-spalionica ; 2-zagrejač vode; 3-mrežna pumpa; 4-kondzna pumpa)

4.3. Iskorišćavanje toplote spalione otpada za kombinovanu proizvodnju toplotne i električne energije

Jedan od načina povećanja vremena iskorišćavanja toplote dobijene u spalionama je i kombinovana proizvodnja toplotne i električne energije. Pri izboru takvog rešenja, neophodno je odrediti dopunska investiciona i eksploataciona sredstva vezana za izgradnju i eksploataciju mašinske sale, električne mreže i razne druge opreme i uređaje itd. Uložena investicija na dogradnju ovih objekata iznosi 30 ÷ 40% od ukupnih, to orijentaciona možemo odrediti njihov udeo u investicione troškove spalione otpada.

U zavisnosti od veličine oduzimanja vodene pare određuje se i potrošnja vodene pare a i drugi parametri, na osnovu dobijenih podataka uključuju se dopunska investiciona i eksploataciona sredstva, a takođe dohodak od realizacije toplotne i električne mreže.

4.4. Iskorišćavanje toplote spalione otpada za snabdevanje rashladnih mašina i sistema klimatizacije vazduha

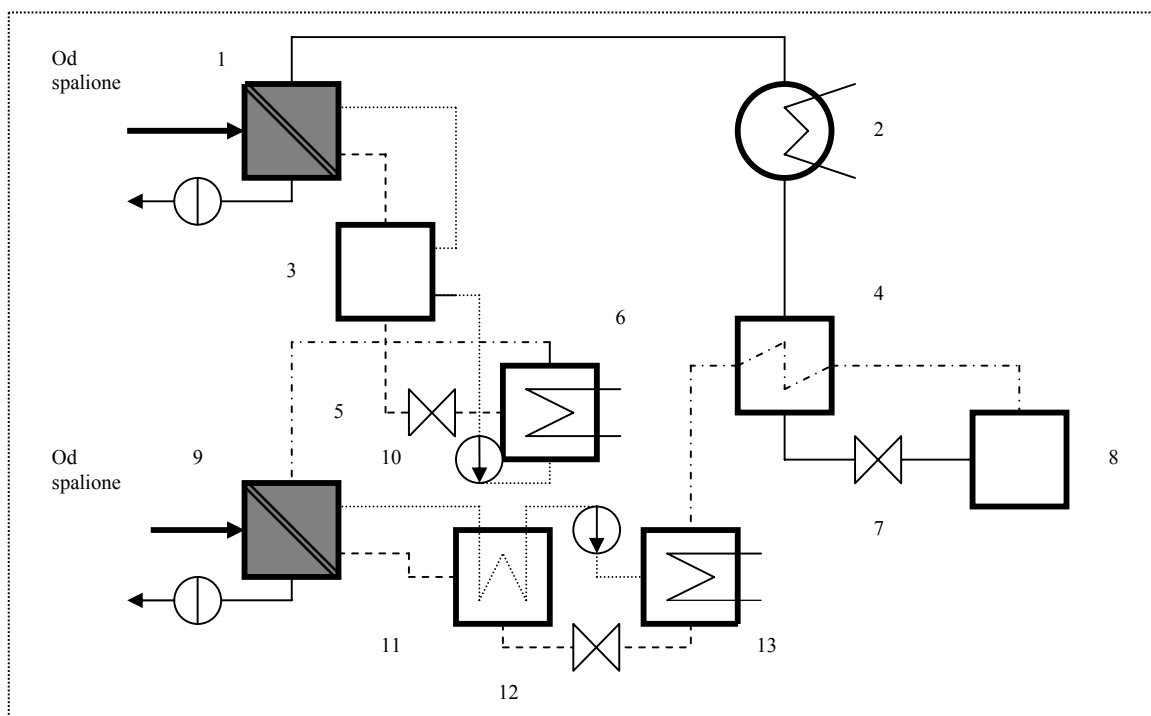
U svetskoj praksi energija dobijena iz spaliona otpada za rad sistema rashladnih postrojenja i sistema klimatizacije vazduha koristi se veoma retko, skoro nimalo.

U perspektivi moguće je primeniti energiju od spaljenog otpada u letnjim periodu ne samo za snabdevanje sanitarne tople vode, nego i za snabdevanje raznih konzumatora hladnom vodom. Na slici 8. data je šema dvostepene absorpcione rashladne mašine koja se snabdeva toplotnom energijom od spalione otpada.

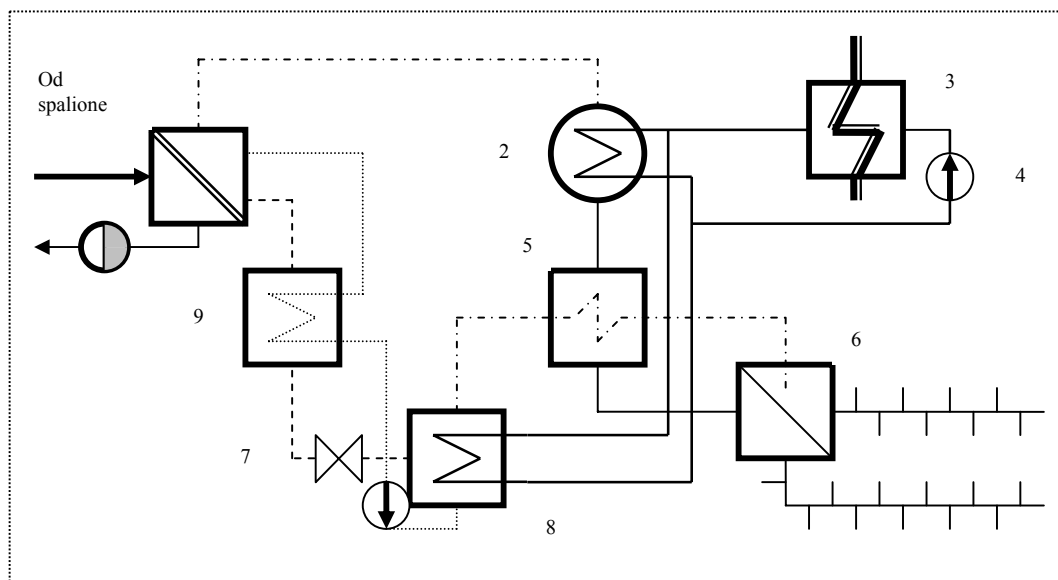
Energija dobijena sagorevanjem tvrdog komunalnog otpada koristi se takođe za sisteme klimatizacije vazduha, kao što je prikazano na slici 9. Za potrebe klimatizacionih sistema obično se voda hladi u absorpcione Litijum-Bromidne rashladne mašine u režimu $7/12^{\circ}C$. Kao i u rashladnoj tehnici, i za klimatizacione sisteme ekonomski je opravdano koristiti toplotu od spalione otpada pri niskim cenama toplotne energije.

5. ZAKLJUČAK

Jedan od bitnih razloga primene tvrdog komunalnog otpada (TKO) kao gorivo u današnje vreme je i velika ušteda konvencionalnog goriva. Pre nego što se odlučimo da li ćemo pristupiti uništavanju TKO spaljivanjem, mora se pristupiti teho-ekonomskoj analizi o izgradnji spalione otpada i izboru varijante korišćenja dobijene toplotne energije.



Slika 8. Šema dvostepene absorpcione rashladne mašine koja se snabdeva toplotom od spalione otpada (1-geneartor rashladne mašine II stepana ; 2-kondezator; 3-podgrejač rastvora II stepana ; 4-hladnjak; 5-regulacioni ventil –II stepena; 6-absorber –II stepena; 7-regulacioni ventil-I stepena; 8-isparivač; 9-geneartor rashladne mašine- I stepen; 10-pumpa za prepumpavanje rastvora –II stepen; 11-predgrejač rastvora I stepena; 12-regulacioni ventil; 13-absorber I stepana; 14-pumpa za prepumpavanje rastvora I stepen



Slika 9. Šema jednostepene absorpcione rashladne mašine pri proizvodnji hladne vode za sistem kondicioniranja vazduha sa za snabdevanje toplotom od spalione otpada (1-geneartor rashladne mašine; 2-kondezator; 3-hladnjak cirkulacione vode ; 4-pumpa za prepumpavanje rastvora; 5-hladnjak; 6-isparivač; 7-regulaciona klapna ; 8-absorber; 9-predgrejač rastvora;)

Izbor varijanti korišćenja dobijene toplotne energije spaljivanjem TKO je veoma bitan parametar prilikom projektovanja spalione otpada. Dalje zaoštavanje energetske situacije u svetu pa i kod nas temeljito se menja dosadašnje gledanje na tvrdi komunalni otpad kao gorivo, pošto on predstavlja obnovljivi enegteski izvor . Pri spaljivanju otpada u spalionama se oslabada energija koju možemo iskoristiti za proizvodnju vrele vode, pare ili električne energije odnosno za potrebe grejanja. Međutim mora biti jasna jedna činjenica da spaliona otpada mora da radi non-stop tokom cele godine, bez obzira na toplotno optrećenje konzumatora, te odatle sledi da spaliona otpada može služiti kao osnovni toplotni izvor u sistemu daljinskog grejanja i hlađenja.

6.OZNAKE

α_{un} -koeficijent prelaza toplote od unutrašnje površine pregrade ka unutrašnjem vazduhu,
 $W/m^2 K$

m_1 -broj spratova objekta,

m_2 -odnos dužine (a)ka širini (e) objekta

h_1 -visina objkta, (m)

μ_f, μ_b -koeficijenti zastakljenja fasadnih i bočnih zidova objekta, predstavljaju

odnos površine prozora prema ukupnoj površini vertikalne (fasadne ili bočne) površine , na kome se nalazi prozor,

μ_{POK} -udeo opštrg toplotnog dobitka kroz prozore objkta,

V_{ob} -zapremina objketa koji se zagreva, m^3

τ_{pr}^{sr} -srednja tempartura unutrašnjih površina spoljnih pregrada objekta za period hlađenja, $^{\circ}C$

t_{un} -unutrašnja tempartura prostorije koja se hladi (klimatizira)

q_{uda} -specifični unutrašnji toplotni dobici ($= 30W/m^2$)

7.LITERTURA

- [1] Š Bajmak, Doktorska disertacija, Mašinski fakultet Prištini (1994)
- [2] Pusschann, G., Drath, R.: Die Grundzuge technischen Warmelehre, VEB Fachbuchverlag, Leipzig, 1961
- [3] Reifert, L.: Betrachtungen uber die Auslegung von Mullverbrennungsanlagen, Informationsblatt, NO29, IV, 1967, J.A.M. Zurich.
- [4] Rietschel, L., Rai, W.: Heiz-und Lufttechnik Vierzehnte Auflage, str.606, Berlin, 1960
- [5] Ivanjc, M., Bajmak, Š.: Studija za izgradnju spalione otpadaka u Prizrenu, SMELT- Ljubljana, IMPM- Metalac- Prizren, 1984-1988 godine.
- [6] Š. Bajmak, Magistarski rad, Mašinski fakultet, Skpje, 1988
- [7] Mantell, C.L., Solid Wastes (origin, collection, processing and disposal), John
- [8] Melikjan, Z.A.: Centralizovannoe teplohladosnabženie graždenskih i promišljennjih sooruzennij, Strojizdt, str.200, Moakva, 1985
- [9] Melikijan, Z.A., Aršakan, D.T., Vardanjan, L.: Metodika oprdeelenija godovih nagruzok holodopotreblenija v žilih zdaniyah, Teploenergetika, br.10/1972
- [10] Rozenfeld, L.M., Geršković. F., Analiz effektivnosti teplofikacionih sistem, Vodosnabženije i sanitarnaja thnika, 1973, No.4. str 16-20

Hidrogeotermalna energija i njeni resursi u Srbiji

Uvod

Razvoj alternativne energetike važan je faktor održivog razvoja privrede. Svetska potrošnja električne energije dostiže 13 milijardi kWh i povećava se svake godine za preko 1,5% tako da je teško postići rastuće potrebe oslanjajući se samo na tradicionalne izvore (naftu, ugalj, zemni gas). U EU je 2004. godine donet akt o obnovljivim izvorima energije, kojim se stimuliše gradnja postrojenja za proizvodnju električne energije iz obnovljivih izvora energije, s ciljem da se udeo te energije u ukupnim oblicima energije do 2020. godine poveća za 20%. To je povećalo interesovanje za energetske alternative, a povećani privredni razvoj i najnovije oscilacije na tržištu energenata učinio ih je veoma atraktivnim. Geotermalna energija je alternativni oblik energije koji se pojavljuje u četiri oblika: kao petrogeotermalna energija, akumulirana u čvrstim stenama, kao magmogeotermalna energija, akumulirana u magmi, u vidu toplih gasova i kao hidrogeotermalna energija, akumulirana u toplim podzemnim vodama i pregrejanoj vodenoj pari. Hidrogeotermalna energija je najracionalniji izvor geotermalne energije. U odnosu na ostale oblike, ona ima višestruke prednosti: direktno se iskorišćava, tako da su troškovi eksploatacije mali, brzo se obnavlja, može da se koristi višenamenski, ne zagađuje životnu sredinu, itd. Povoljni uslovi za eksploataciju hidrogeotermalne energije postoje u pedesetak država u svetu, među kojima je i naša zemlja. Najbolji rezultati postignuti su u: Italiji, Japanu, Islandu, SAD, Rusiji, Novom Zelandu i Meksiku. Procenjuje se da su rezerve hidrogeotermalne energije do dubine

Rezime

Smanjenje rezervi fosilnih goriva nametnulo je potrebu za novim izvorima energije, među kojima poseban značaj dobijaju obnovljive energije. Hidrogeotermalna energija je najekonomičniji oblik geotermalne energije, kod kojeg se toplota iz Zemljine kore termalnim vodama i vodenom parom iznosi na Zemljinu površinu. Ona, kao oblik obnovljivih i ekološki čistih izvora energije sve više dobija na značaju u celom svetu. Najbolji rezultati postignuti su u: Italiji, Japanu, Islandu, SAD, Rusiji, Novom Zelandu i Meksiku. Procenjuje se da su svetske rezerve hidrogeotermalne energije do dubine od 3km, 2.000 puta veće nego rezerve uglja. Srbija spada u grupu od pedesetak zemalja u kojima postoje povoljni uslovi za njeno iskorišćavanje. U Srbiji se mogu izdvojiti tri hidrotermalne regije sa temperaturom vode i vodene pare do 200°C, koje pokrivaju 86% njene teritorije. Hidrotermalni potencijal je rasprostranjen ispod Mačve, Semberije i Srema, i procenjuje se do 500MW. Bez obzira na brojne prednosti hidrotermalne energije, u poređenju sa drugim izvorima energije, ona se danas vrlo malo koristi. Zahvaljujući nizu prednosti u eksploataciji i korišćenju, ona bi u budućnosti trebala biti jedan od najznačajnijih prirodnih resursa Srbije.

Ključne reči: hidrogeotermalna energija, potencijali, Srbija

Hydrogeothermal Energy and Its Resources in Serbia

Reduction of reserves of fossil fuels imposed the need for new energy sources, among which renewable energies have particular significance. Hydrogeothermal energy is one of them. Hydrogeothermal energy is the most economical form of the geothermal energy, in which the heat from the Earth's crust is taken out to the Earth's surface by thermal waters and water vapour. Hydrogeothermal energy, as a form of renewable and ecologically clean energy, gains increasing significance in the whole world. It is mostly used in: Italy, Japan, Iceland, the United States, Russia, New Zealand and Mexico. It is estimated that the world reserves of hydrogeothermal energy to the depth of 3 km, are 2.000 times bigger than coal reserves. Serbia is within the group of about fifty countries which have favourable conditions for its exploitation. Three hydrogeothermal regions with water and water vapour with temperatures up to 200°C, covering 86% of the territory of Serbia, can be distinguished. Hydrogeothermal system with the highest potential is situated below the regions of Macva, Semberija and Srem, its thermal power being estimated to 500MW. Regardless of a number of advantages of hydrogeothermal energy in comparison with other sources of energy, it is presently used at a rather low extent. Thanks to a number of advantages in exploitation and usage, hydrogeothermal energy should be one of the most significant natural resources in Serbia, in the future.

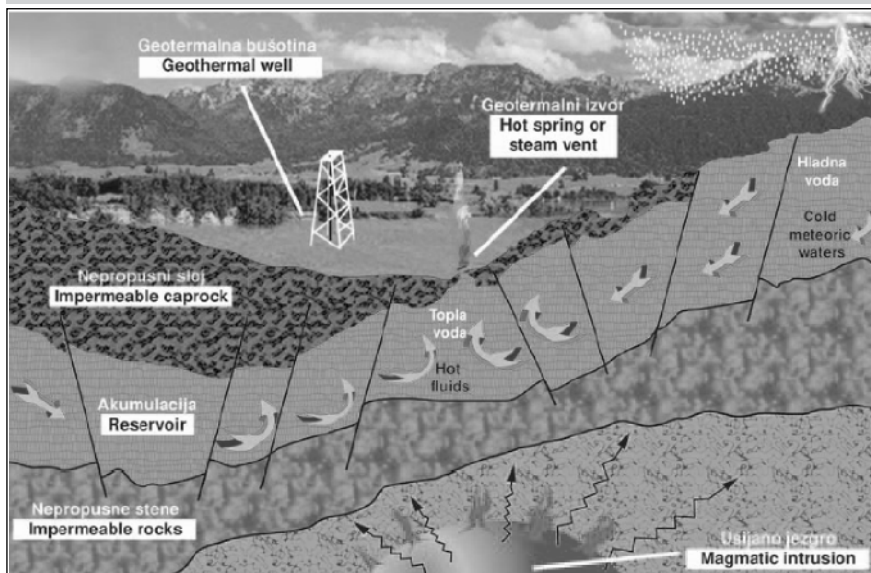
Key words: hydrogeothermal energy, potentiality, Serbia

od 3 km 2.000 puta veće nego rezerve uglja. Prosečan godišnji rast korišćenja geotermalnih voda u svetu iznosi 12%.

Geotermalna energija

Geotermalna energija je jedan od vidova alternativnih oblika energije

Slika 1 Poreklo geotermalnih pojava



koji se manifestuje u vidu toplote u unutrašnjosti Zemljine kore. Reč geotermalno ima poreklo u dve grčke reči *geo* (zemlja) i *therme* (toplota) i znači toplota Zemlje. Toplota u unutrašnjosti Zemlje rezultat je pre svega prirodnog raspadanje radioaktivnih elemenata (u prvom redu urana, torijuma i kalijuma), koji se nalaze u svim stenama i proizvode ogromnu termičku energiju. Ukupna toplota u unutrašnjosti zemlje iznosi oko 4.1030J ili oko 1020toe (tona ekvivalentne nafte). Osnovni medij koji prenosi toplotu iz unutrašnjosti na površinu Zemlje je voda ili para, koja se kroz kružni proces obnavlja i cirkuliše prema površini, gde se pojavljuje u obliku gejzira i vrućih izvora (slika 1).

Ispod zemljine kore nalazi se omotač koji je sastavljen od delimično rastopljenih stena čija temperatura je između 650 i 1.250°C. U samom jezgru Zemlje temperature bi po nekim procenama mogle biti između 4.000 i 7.000°C. Budući da se toplota uvek prenosi sa toplijih delova na hladnije, toplota iz unutrašnjosti Zemlje prenosi se prema površini i taj proces predstavlja glavni pokretač tektonskih ploča. Na mestima gde se spajaju tektonske ploče dolazi do propuštanja magme u gornje slojeve, koja se tada hladi i stvara novi sloj zemljine kore. Magma po izlasku na površinu može stvoriti vulkane, ali većinom ostaje ispod površine gde formira ogromne bazene i gde se počinje hladiti. Područja ispod kojih se nalaze bazeni magme imaju visok temperaturni gradijent, odnosno na tim mestima temperatura sa povećanjem dubine brzo raste i takva područja izuzetno su pogodna za iskorišćavanje geotermalne energije. Kao što je poznato, na 100m dubine

temperatura raste prosečno za oko 3°C, ili na 33 m za 1°C (tzv. geotermički gradijent). U prostorima gde je magma bliža Zemljinoj površini rast temperature je brži - u Alzasu gradijent iznosi oko 7m, u okolini Budimpešte oko 14 m, u okolini Bakua oko 20m. Ima i obrnutih pojava, gde je gradijent veći - u severnoj Poljskoj iznosi oko 90m, u JAR oko Kimberlia 112m. Potencijal geotermalne energije je ogroman, ima je 50.000 puta više od sve energije koja se može dobiti iz nafte i plina širom sveta. Geotermalni resursi nalaze se u širokom spektru dubina, od plitkih površinskih do više kilometara dubokih rezervoara vruće vode i pare koja se može dovesti na površinu i iskoristiti.

Energetski potencijal hidrogeotermalnih resursa Srbije

Dosadašnja istražena primarnih izvora energije u Srbiji sugeriše da je njen najveći energetski potencijal uglj (83,6%), a zatim dolaze nafta (3,8%), prirodni gas (1,5%), uljni škriljci (6,5%), uran (4,4%), hidroenergija (0,1%) i ostali izvori (0,1%). Iz prikazane strukture proizilazi da se domaći energetski potencijal bazira uglavnom na uglju, čije geološke rezerve za Srbiju iznose oko 20 milijardi tona. Iz ovoga se može zaključiti da je Srbija energetski deficitarna zemlja, sa

relativno nepovoljnom strukturom domaćih izvora i značajnom uvoznom zavisnošću, naročito u pogledu tečnih goriva. Ako se tome doda visoka energetska intenzivnost i ekološko-energetska degradacija, energetski problem se povećava. Stoga je potrebno sagledati njene alternativne energetske potencijale.

Srbija raspolaže značajnim ležištima termalnih voda, različitih temperatura i hemijskog sastava. To je posledica povoljnog geološkog sastava i povoljnih hidroloških i geotermalnih karakteristika terena. Jedan od najvažnijih pokazatelja geotermalnog potencijala neke teritorije je vrednost toplotnog toka, odnosno količina toplote koja iz gornjih slojeva omotača jezgra dospeva u litosferu. On predstavlja količinu geotermalne toplote koja svakog sekunda kroz površinu od 1m² dolazi iz Zemljine unutrašnjosti do njene površine. Njegova prosečna vrednost za Evropu iznosi oko 60mW/m², dok je u Srbiji između 80 i 100mW/m² [4]. U nekim hidrogeotermalnim sistemima, kao što je Mačva, toplotni tok ima vrednost od 120mW/m² (jedna od bušotina u Bogatiću), ali se procenjuje da je moguće očekivati i 200mW/m².

Hidrogeotermalne pojave manifestuju se u vidu prirodnih izvora i tople vode koja ističe iz bušotina. Najveći broj termalnih izvora javlja se u Dinaridima i Karpatobalkanidima, a najmanji u Panonskom basenu. Preko 90% izvora je na nadmorskim visinama do 600m, najčešće između 200 i 300m. Sa aspekta energetskog korišćenja termalnih voda

Slika 2 Karta temperaturnog polja na dubini do 1000m [8]

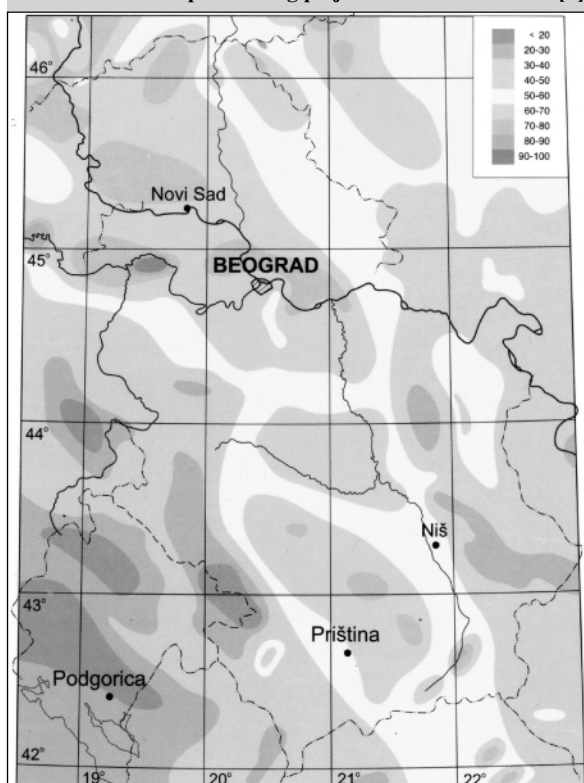
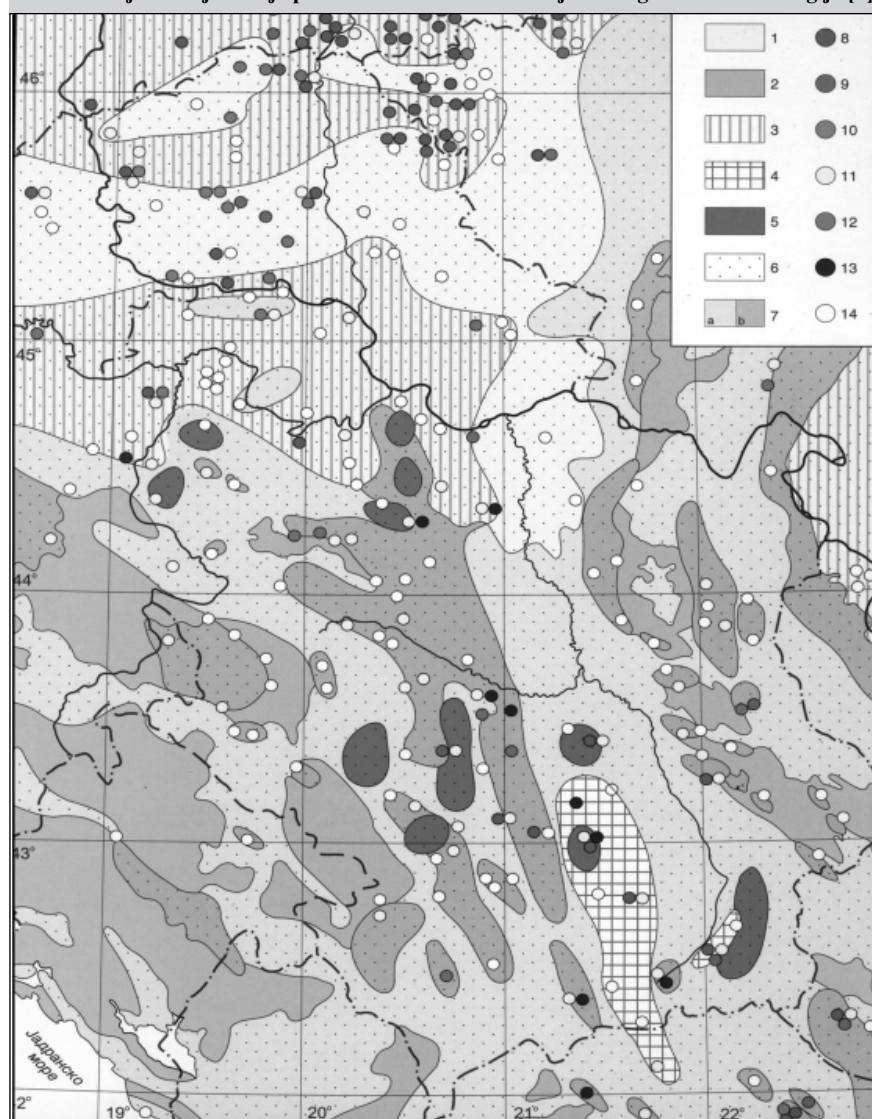


Tabela 1 Osnovne odlike nekih izvora i bušotina u Srbiji [5]

Mesto	Vrsta	Izlazna t° °C	Izdašnost l/s	Toplotna snaga MW
Pribojska Banja	izvor	36	70	7.0
Niška Banja	bušotina	37	50	5.2
Ovčar Banja	bušotima	38	50	5.5
Mataruška Banja	bušotina	43	34	4.4
Ribarska Banja	bušotina	44	37	4.9
Sokobanja	bušotipa	44	28	3.8
Kupinovo	bušotina	48	41.7	4.0
Lukovska banja	izvor	53	60	10.3
Imdija	bušotina	57	18.3	2.4
Bečej	bušotina	63	28.3	4.5
Bogatić	bušotina	78	61	16.8
Jošanička Banja	izvor	78	15	4.1
Vrbica	bušotipa	82	16.7	3.9
Vranjska Banja	izvor	85	44	13.5
Vranjska Banja	bušotina	111	27	11.2

Slika 3 Rejonizacija Srbije prema resursima i korišćenju hidrogeotermalne energije [8]



Hidrogeotermalni resursi: 1-hidrotermalna nalazišta u stenama kenozojske starosti; 2-hidrotermalna nalazišta u stenama mezozojske starosti; 3-hidrotermalna nalazišta u stenama mezozojske starosti ispod stena kenozojske starosti; 4-hidrotermalna nalazišta u stenama prepaleozojske starosti; 5-petrogeotermalna nalazišta u granitoidnim stenama tercijarne starosti; 6-hidrotermalna nalazišta do dubine 200m (toplotne pumpe); 7-bez značajnijih hidrogeotermalnih nalazišta (a- tereni od stena paleojojske i prepaleozojske starosti, b-krečnjaci). **Korišćenje hidrogeotermalnih resursa:** 8-za grejanje; 9-za proizvodnju hrane; 10-u industriji; 11-za balneoterapiju; 12-za sport i rekreaciju; 13-za proizvodnju i pakovanje vode; 14-hidrotermalne pojave koje se ne koriste.

prema oblicima korišćenja, izdvajaju se tri klase: visokopotencijalne - sa temperaturom preko 150°C, pogodne za proizvodnju električne energije; srednjepotencijalne - sa temperaturom od 100-150°C, pogodne za proizvodnju električne energije i zagrevanje prostorija; niskopotencijalne - sa temperaturom od 20-100°C, pogodne za zagrevanje prostorija, primenu u poljoprivredi i industriji [2].

Na teritoriji centralne Srbije ima preko 50 izvora sa temperaturom višom od 20°C. Međutim, samo 23 izvora imaju vodu topliju od 30°C, pet je sa temperaturom između 50 i 90°C, a jedino izvori u Vranjskoj Banji prelaze 90°C [6]. S obzirom na to, može se zaključiti da su naši prirodni izvori energetski niskopotencijalni, tako da najveću primenu imaju u balneorekreaciji, toplifikaciji i poljoprivredi [2]. Najtoplije banje u Srbiji su: Vranjska (96°C), Jošanička (78°C), Sijarinska (75°C), Kuršumlijska (68°C), Lukovska (61°C) i Novopazarska (54°C). U odnosu na prirodne izvore, temperatura podzemne vode u bušotinama je znatno viša. Na dubinama od 2-3 km ona je i iznad 150°C, dok je izlazna temperatura često viša od 100°C. Najveći broj bušotina nalazi se u Vojvodini, koje su napravljene za potrebe istraživanja i proizvodnje nafte i gasa.

Geotermalne vode najbolje su istražene na teritoriji Panonskog basena i po njegovom obodu, odnosno u Vojvodini, Mačvi, Podunavlju i u severnom Pomoravlju, gde je iskorišćeno oko 30% raspoloživih rezervi. Na prostoru centralne Srbije može se izdvojiti više reiona prema potencijalnosti geotermalne energije, od kojih su tri najznačajnija hidrogeotermalna reiona:

1. tereni izgrađeni od tercijarnih sedimentnih stena - zahvataju 23% ukupne površine Srbije, a temperatura termalnih voda je do 120°C;
2. tereni izgrađeni od paleozojskih i mezozojskih sedimentnih i metamorfnih stena - zahvataju 61% površine Srbije, temperatura termalnih voda i vodene pare je do 130°C;
3. tereni izgrađeni od prekambrijskih, paleozojskih i mezozojskih stena koje se nalaze po obodnim delovima masiva magmatskih stena tercijarne starosti - zahvataju 2% površine Srbije, temperatura termalnih voda i vodene pare je do 200°C [1].

Prema stanju poznavanja geotermalnih resursa, najperspektivnija hidrogeotermalna ležišta u Srbiji nalaze se u Mačvi, Posavini (od Obrenovca do Šapca), Tamnavi i u Vranjskoj, Jošaničkoj i Sijarinskoj Banji. Za istraživanje i korišćenje kao najznačajniji izdvaja se

energija

hidrogeotermalni sistem koji se prostire ispod Mačve i Srema, na oko 2.000km². Visoke vrednosti toplotnog toka u Mačvi otkrivene su 1982. godine. Rezervoar toplih voda nalazi se u trijaskim krečnjacima debelim 500-1.000m, a njihova temperatura na dubini od 400-600m iznosi 80°C. Iznad rezervoara su neogeni sedimenti moćnosti od 200m (u Dublju) do 620m (u Bogatiću). Sa ovog područja moguće je eksplatisati minimalno 300l/s, a maksimalno 1.500l/s vode sa temperaturom od 75°C, dok se njihova toplotna snaga procenjuje na 150MW, odnosno 500MW [3].

Korišćenje hidrogeotermalnih resursa u Srbiji

Prednosti koje hidrogeotermalna energija ima u odnosu na druge izvore energije pružaju mogućnosti njenog višenamenskog korišćenja. Najvažnije su:

- relativno se brzo obnavlja, a vek korišćenja je veoma dug;
- direktno se iskorišćava - ne zahteva preradu;
- lako se skladišti i transportuje - može se skladištiti u velikim količinama;
- ima visok stepen iskorišćenja;
- može se koristiti višenamenski (tzv. kaskadno korišćenje) - ista voda ima više primena, pri čemu se najpre koristi tamo gde je potrebna najviša temperatura, a potom temperatura prema zahtevima otpada;
- eksploatacija je nezavisna od uvoza energije i međunarodnih tržišnih kriza;
- ne zagađuje životnu sredinu;
- jeftinija je i do 90% (ako je temperatura veća od 80°C) od energije dobijene iz fosilnih goriva [1].

Korišćenje geotermalne energije i njenih resursa u Srbiji veoma je malo u odnosu na njen geotermalni potencijal. Razlozi

takvog stanja su nerazumljivi, pogotovo kada se uzme u obzir da su pojedini geotermalni lokaliteti među najboljim u Evropi i da je razvoj geotermalne tehnologije u Srbiji počeo u isto vreme kao i u zemljama u kojima je danas geotermalna tehnologija na najvišem stepenu razvoja. Hidrogeotermalna energija u Srbiji, neposredno ili uz pomoć toplotnih pumpi najveću primenu nalazi u balneorekreaciji, za zagrevanje prostorija, u poljoprivredi i industriji. Za proizvodnju električne energije za sada se ne koristi, jer to zahteva visokopotencijalne rezerve toplih voda i veća finansijska ulaganja.

Najrašireniji oblik korišćenja hidrogeotermalnih voda Srbije je u *balneoterapiji i rekreaciji*. Na njenoj teritoriji ima 60 lokaliteta gde se termalne vode koriste u balneorekreativne i turističke svrhe. U Vojvodini se iz 13 od 23 bušotine vode koriste se u banjskim i sportsko-rekreativnim i turističkim centrima. Upotreba geotermalnih voda za *zagrevanje prostorija* ograničena je gotovo isključivo na banjske komplekse. Tamo gde je temperatura vode viša, kao u Vranjskoj, Jošaničkoj, Sijarinskoj, Lukovskoj, Kuršumlijskoj, Ribarskoj, Mataruškoj Banji, Gamzigradskoj i Ovčar Banji, ona se direktno koristi, dok se kod voda nižih temperatura i sa manje dubine koriste toplotne pumpe, kakav je slučaj sa Niškom (ulazna temperatura 25°C) i Prolom Banjom (ulazna temperatura 30°C). U Vojvodini voda iz tri bušotine zagreva poslovne prostorije. U Mačvi postojeći uslovi omogućuju isplativo rešenje toplifikacije Bogatića, a po nekim procenama i Šapca, Loznice i Sremske Mitrovice. U *poljoprivredi* geotermalne vode nalaze primenu u staklenim baštama, na stočarskim i živinarskim farmama i u ribnjacima, ali

u mnogo manjoj meri nego u susednoj Bugarskoj ili Mađarskoj. U tom smislu potrebno je pomenuti njihovo korišćenje u Vranjskoj Banji, Bačkom Petrovcu, Srbobranu, Bačkom Petrovom Selu, Kikindi i Mokrinu. U *industriji* upotreba hidrogeotermalne energije je neznatna. U malom obimu koristi se u prehrambenoj industriji, fabrikama kože i tekstila u Bačkom Petrovcu, Kuli i Vranjskoj Banji.

Srbija ima veliku potrebu i sve preduslove, uprkos brojnim smetnjama, da ubrzano razvija geotermalnu tehnologiju. U strategiji razvoja energetike, hidrogeotermalna energija treba da dobije odgovarajući tretman ravnopravan sa ostalim energentima. Naročito su značajne ogromne mogućnosti eksploatacije geotermalnih resursa sa malih dubina pomoću geotermalnih pumpi. Toplotna pumpa je uređaj koji omogućava da se toplotna energija iz jednog prostora prenese u drugi prostor. Ona za proces prenošenja toplotne energije koristi električnu energiju. U zavisnosti od raznih uslova postiže se koeficijent korisnog dejstva od 2:1 do 5:1. To znači da se trošenjem, na primer, 1 kWh električne energije za pokretanje ventilatora i kompresora u toplotnoj pumpi može izvršiti prenos i do 5kWh toplotne energije. Najpovoljniji rezultati postižu se korišćenjem podzemnih voda pogotovo ako su one na temperaturi od 10 do 30°C kada nisu pogodne za direktno zagrevanje. Tako se korišćenjem kaskadnog metoda toplota geotermalnih voda koristi prvo tamo gde je potrebna viša temperatura, a posle se pomoću toplotnih pumpi iskoristi i ona toplota koja bi inače otišla sa neupotrebljivom vodom. U tom smislu, sa relativno malim investicionim ulaganjima, u odnosu na ulaganja u klasične ekološki nepovoljne uvozne i domaće energente (nafta, gas, ugalj), geotermalna energija može za u narednoj deceniji da pokrije 10% toplotne potrošnje Srbije.

Zaključak

Procenjena količina geotermalne energije koja bi se mogla iskoristiti znatno je veća nego sveukupna količina energetske izvora baziranih na nafti, uglju i gasu zajedno. Stoga bi geotermalnoj energiji trebalo pridati veću važnost, naročito ako se uzme u obzir da je reč o jeftinom, obnovljivom izvoru energije koji je ekološki prihvatljiv. Srbija raspolaže sa zavidnim hidrogeotermalnim potencijalom. Međutim, i pored toga hidrogeotermalna energija u Srbiji se simbolično koristi, samo sa 86MW. Bez obzira na to, njeni potencijali i u kvantitativnom i u kvalitativnom pogledu veoma su značajni. To je od izuzetnog značaja kada se zna da oko polovine utrošene

Tabela 2 Hipertermalni (>38°C) prirodni izvori i istražene bušotine mineralnih voda [7]

Mesto	temperatura°C	Mesto	temperatura °C
Vranjska Banja	100.0	Elemir	50,0
Rusaida	92.0	Šumice 2 - Kikinda	50.0
Bogatić	80.0	Junaković banja	49,0
Jošanička Banja	78.5	Pečka Banja	48.0
Sijarinska Banja	75.0	Dudova š. - Subotica	47,5
Kuršumlijska Banja	68.0	Bujanovačka banja	43,0
Bečej (Bč-2H)	75.8	Sokobanja	43,0
Kanjiža	63.0	Mataruška Banja	42,8
Lukovska banja	61.0	Jutovo	42,0
Selters	57.0	Gamzigradska banja	41.3
Palanački kiseljak	56.0	Brestovačka banja	41,0
Debrc (DBC-1)	56.0	Ribarska Banja	41,0
Bavanište	55.0	Malo Laole	40,5
Novopazarska Banja	54.0	Rajčičevića banja	40.3
Banjska	54,0	Klokot	40.0
Kupimovo (I/H)	51,0	Kisela Banja	39.5
Dublje	50.5	Niška Banja	39,1

energije potiče iz uvoza i da preko 50% te energije dolazi od nafte i gasa kojima je Srbija siromašna. Istraživanja su pokazala da Srbija ima značajne mogućnosti za korišćenje geotermalne energije i da u budućnosti treba planirati njeno veće učešće u energetsom bilansu. Postojeći rezultati pokazuju da bi se sa intenzivnim programom razvoja geotermalnih resursa do naredne decenije, ovim oblikom energije mogao da postigne nivo zamene od najmanje 500.000 tona tečnih goriva godišnje. Hidrogeotermalna energija treba da postane značajan energetska resurs, a na taj način i osnova privrednog razvoja naše zemlje.

Literatura

- [1] Gavrilović Lj. (2005): Hidrotermalna energija perspektivan obnovljiv resurs Srbije. Naučni simpozijum „Srbija i savremeni procesi u Evropi i svetu, Geografski fakultet i drugi, Beograd.
- [2] Komatina M. (2001): Medicinska geologija. «TePig» - Geoinženjering, Beograd.
- [3] Martinović M., Milivojević M. (1998): Hidrogeotermalni model Mačve. XIII kongres geologa Jugoslavije, knj. V, Herceg Novi.
- [4] Milivojević M., Martinović M. (1995): Potencijalnost geotermalnih resursa Jugoslavije i mogućnosti njihovog korišćenja. Geolog i vizionar prof. Jovan Perić (1923-1994) – izabrani radovi, Rudarsko-geološki fakultet, Institut za hidrogeologiju, Beograd.
- [5] Milanović P., Plavšić LJ., Parojčić S. (2001): Sistematizacija tehničko-tehnoloških karakteristika geotermalnih voda Srbije. Voda i sanitarna tehnika XXXI/3, Udruženje za tehnologiju vode i sanitarni inženjering, Beograd.
- [6] Perić J., Milojević M. (1979-80): Potencijalnost teritorije uže Srbije za iznalaženje ležišta geotermalne energije. Geološki anali Balkanskog poluostrava, knj. XLIII-XLIV, Geološki zavod, Beograd.
- [7] Filipović B. (2003): Mineralne, termalne, i termomineralne vode Srbije. Udruženje banjanskih i klimatskih mesta Srbije – Vrnjačka Banja i Institut za hidrologiju Rudarsko-geološkog fakulteta, Beograd.
- [8] Geološki Atlas Srbije 1:2.000.000. Ministarstvo za zaštitu prirodnih bogastava i životne sredine Republike Srbije, Beograd.

dr Predrag Milanović

IHTM Beograd

dr Vojislav Tomić

Rudarsko geološki fakultet Beograd

UDC: 553.78 : 696/.697

Analiza rada centralizovanog sistema grejanja u sprezi sa geotermalnim izorom

Rezime

U radu su prikazani rezultati koji su ostvareni u okviru realizacije projekta: “Korišćenje geotermalne energije u centralizovanim sistemima za snabdevanje toplotnom energijom” EE 243008, koji sufinansira Ministarstvo za nauku Republike Srbije. Cilj projekta je utvrđivanje metodologije i opreme za racionalno korišćenje lokalnih izvora energije, pre svega geotermalne energije u centralizovanim sistemima za snabdevanje toplotnom energijom.

Cilj je takođe, utvrđivanje ušteda koje se mogu postići korišćenjem geotermalnih grejnih sistema.

Glavne reči: Geotermalna energija, Daljinsko grejanje, Energetska efikasnost

Abstract

The paper presents the results implemented within the framework of realization of the project: “The Use of Geothermal Energy in the Centralized Systems for Heating” EE243008 financed by the Ministry of Science of Serbia. The aim of the project is to determine the methodology and equipment for the rational use of local energy sources, especially geothermal energy in the centralized heating systems. The aim is, also, to determine the savings that can be achieved by using geothermal heating system.

Key words: Geothermal energy, District heating, Energy efficiency

Uvod

Geotermalna energija se danas u svetu najviše koristi za potrebe grejanja. Od ukupno iskorišćene geotermalne energije oko 37% se koristi za grejanje od čega oko $\frac{3}{4}$ u sistemima za daljinsko grejanje objekata. Na ovaj način se obezbeđuje ušteda od oko 45000 TJ energije godišnje, a ako se u obzir uzme i upotreba toplotnih pumpi u grejnim sistemima onda proizilazi da se oko 50% geotermalnih rezervi u svetu koristi za potrebe grejanja [1].

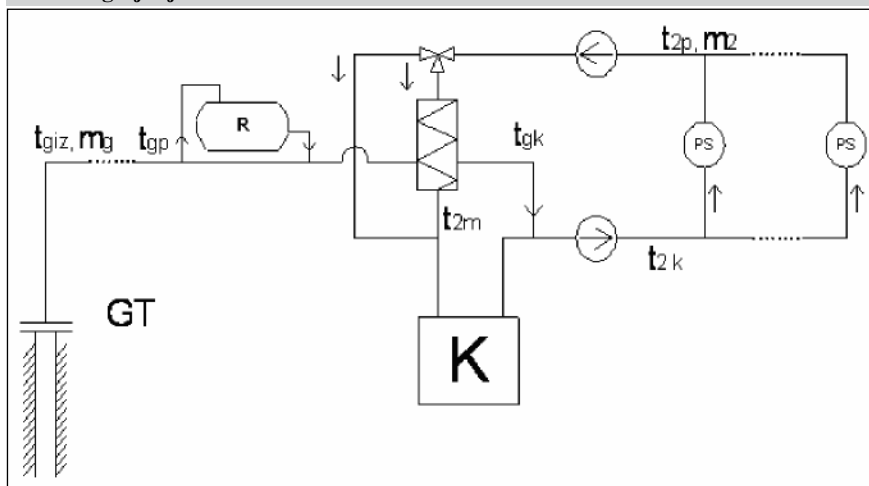
U okviru realizacije projekta: “Korišćenje geotermalne energije u centralizovanim sistemima za snabdevanje toplotnom energijom” EE 243008A koji sufinansira Ministarstvo za nauku Republike Srbije, u toku dosadašnjeg rada analiziran je rad dva grejna sistema i to: sa dopunskim grejanjem pomoću kotla na klasično

gorivo i sa toplotnom pumpom [2]. Na osnovu dosadašnjih analiza konstatovano je da sistem sa toplotnom pumpom nije isplativ u konkretnim uslovima rada grejnog sistem u Petrovcu, pa je zbog toga u ovom radu prikazana analiza rada sistema sa dopunskim grejanjem sa kotlom na klasično gorivo pri različitim radnim režimima. Za analizu je korišćen softver koji je razvijen u prethodnoj fazi rada na ovom projektu, a radni režimi su definisani na osnovu karakteristika konkretnog grejnog sistem u Petrovcu i izvora geotermalne vode ML1. Ostvareni rezultati će omogućiti završno projektovanje i izradu postrojenja.

Opis rada grejnog sistema

Sistem daljinskog grejanja sa geotermalno energijom i dopunskim izvorom toplote (CSGDI), prikazan

Slika 1 Sistem daljinskog grejanja sa geotermalnom energijom i dopunskim grejanjem sa kotlom



je na *Slici 1*. Osnovni elementi ovog sistema su: geotermalni izvor, toplovod za transport geotermalnog fluida od izvorišta do toplane, zatim razmenjivači toplote za grejanje povratne vode iz sistema daljinskog grejanja, dopunski izvor toplote - postojeći kotao u toplani i dopunski rezervoar. Dopunski rezervoar se koristi za skladištenje viška geotermalne vode sa kojom se vrši dogrevanje kada se za to ukaže potreba. Naime, u periodima kada nema potrebe za korišćenjem celokupne količine geotermalne vode za grejanje ona se skladišti u rezervoar, a kada se ukaže potreba ova voda iz rezervoara ubacuje u grejni sistem za dogrevanje. Na ovaj način je moguće

ostvariti dnevno uravnoteženje potreba za grejanjem, odnosno racionalnije korišćenje toplote geoizvora čime se ostvaruju dodatne uštede.

U opštem slučaju rada posmatranog geotermalnog grejnog sistema (CSGDI) mogu da nastanu tri karakteristična slučaja u zavisnosti od spoljne (atmosferske) temperature (t_s) [2,3].

U slučaju kada je spoljna temperatura dovoljno visoka geotermalni izvor može u potpunosti da zadovolji toplotne potrebe objekta koji se greje, a istovremeno postoji i višak toplote koja može da se skladišti u dodatni rezervoar ili da se iskoristi za grejanje drugih potrošača. U ovom slučaju voda

iz sekundarnog kruga se greje samo sa geotermalnom energijom pri prolasku kroz razmenjivač toplote od početne (t_{2p}) do krajnje temperature (t_{2k}), a kroz kotao sekundarna voda prolazi i ne greje se jer je on van pogona.

U slučaju kada je spoljna temperatura niža tako da sa geotermalnom energijom ne mogu da se zadovolje ukupne toplotne potrebe u pogon se uključuje kotao ili se koristi voda iz dopunskog rezervoara tople vode (R). U daljem tekstu je analiziran slučaj kada se za dogrevanje koristi kotao. U ovom slučaju se voda u sekundarnom krugu po dolasku u toplanu zagreva u razmenjivaču toplote od početne (t_{2p}) do temperature (t_{2m}), a u kotlu se dogreva do potrebne temperature (t_{2k}).

U slučaju kada je spoljna temperatura niska tako da sa geotermalnom energijom ne može da se zadovolji ni deo toplotnih potreba (slučaj kada je temperatura povratne vode u sekundarnoj mreži jednaka ili viša od temperature geotermalne vode na ulazu u razmenjivač sa geotermalnom vodom, tj. $t_{2p} \geq t_{gp}$) razmenjivač toplote sa geotermalnom vodom se isključuje iz pogona pomoću obilaznog voda i odgovarajuće automatike, a grejanje se vrši samo pomoću kotla (K).

Za analizu rada sistema sa geotermalnom vodom od značaja su dve karakteristične temperature spoljnog vazduha i to prelazna i isključna temperatura, koje mogu da se definišu na sledeći način:

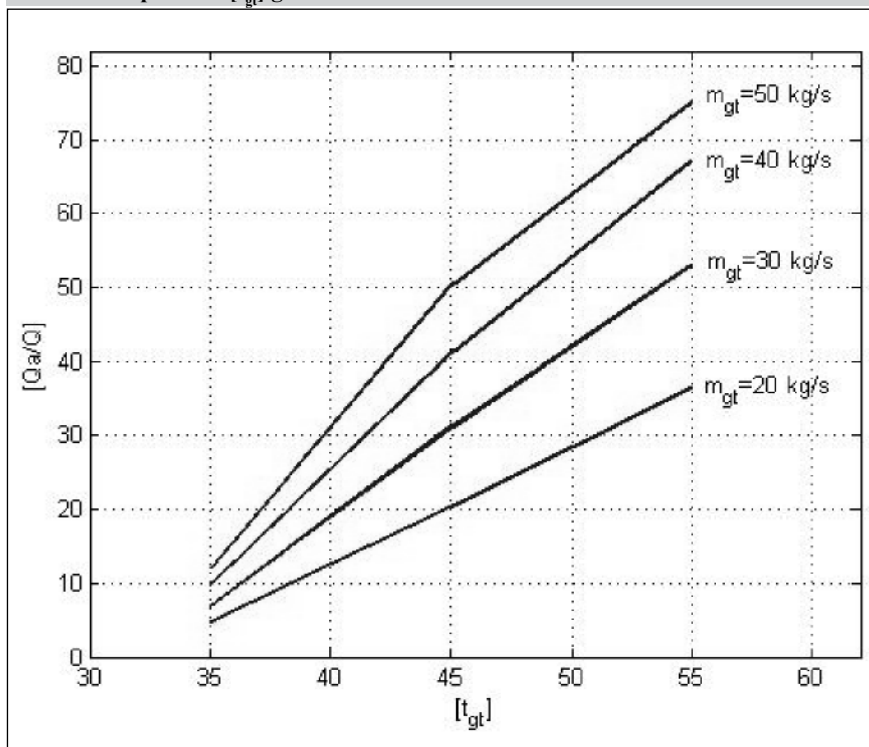
Spoljna prelazna temperatura ($t_{s,pr}$) predstavlja minimalnu temperaturu spoljnog vazduha do koje geotermalni izvor u potpunosti zadovoljava toplotne potrebe objekta koji se greje. Spoljna isključna temperatura ($t_{s,is}$) predstavlja temperaturu spoljnog vazduha pri kojoj je iskoristiva toplotna snaga geotermalnog izvora nula, odnosno temperaturu spoljnog vazduha pri kojoj se razmenjivač toplote sa geotermalnom vodom isključuje iz pogona.

Procena ostvarenih energetske ušteda i povećanja energetske efikasnosti

Za analizu rada prikazanog centralizovanog sistema grejanja sa geotermalnom energijom i dopunskim izvorom toplote (CSGDI) razvijen je odgovarajući program, odnosno softverski paket koji omogućava analizu rada ovog sistema pri različitim radnim uslovima. Detaljnija analiza rada sistema je prikazana u Izveštaju [2], a ovde su dati rezultati te analize.

Toplotna snaga svih potroša koji su

Slika 2 Efikasnost grejnog sistema [Q_a/Q] u zavisnosti od izdašnosti [m_{gt}] i temperature [t_{gt}] geoizvora



⇒ energija

priključeni na sistem daljinskog grejanja u Petrovcu (DG) iznosi oko 8,2 MW. Geotermalni izvor ima temperaturu vode oko 41°C i izdašnost oko 20 l/s. Rastojanje od izvorišta geotermalne vode do toplane u Petrovcu je oko 7,5 km tako da se voda pri transportu ohladi za 3,5°C i njena temperatura na ulazu u toplanu je 37,5°C.

Na osnovu dosadašnjih istraživanja i analize rada bušotine i režimskih osmatranja konstatovano je da postoje realne pretpostavke da izdašnost izvora može značajno da se poveća sa sadašnjih 20 l/s na 50 l/s sanacijom bušotine i ugradnjom bunarske pumpe. Ove pretpostavke treba proveriti sa odgovarajućim istraživanjima. Takođe, postoji mogućnost da se sanacijom bušotine poveća temperatura geoizvora. Na osnovu ovih pretpostavki izvršena je analiza rada sistema DG u sprezi sa geotermalnim izvorom kao i uštede koje se tom prilikom mogu ostvariti.

Analiziran je slučaj kada je izdašnost geoizvora (m_{gt}): 20, 30, 40 i 50 l/s, i temperatura geoizvora (t_{gp}): 40, 50 i 60°C.

Ovde je važno istaći da je pri proračunu usvojeno da spoljna projektna temperatura iznosi -12°C po preporuci prof. B. Todorovića. Naime, za sada se još uvek kod nas koristi podatak da spoljna projektna temperatura iznosi -18°C, mada istraživanja pokazuju da zbog klimatskih promena za spoljnu projektnu temperaturu treba usvojiti višu vrednost. Usled usvajanja niže spoljne projektna temperature od -18°C grejna instalacija je predimenzionisana zbog čega su povećani investicioni i eksploatacione troškove. Analize pokazuju da se usvajanjem spoljne projektna temperature od -12°C može uštedeti oko 5% energije godišnje.

Na slici 2 je dat grafički prikaz rezultata analize na osnovu koje se može konstatovati da se pomoću geotermalne energije može zadovoljiti od 20% do 75% ukupnih potreba za grejanjem grada Petrovca tokom grejne sezone u zavisnosti od temperature i izdašnosti geoizvora. Za postizanje maksimalne uštede od 75% potrebno je da geoizvor ima izdašnost od 50 l/s, što se može postići ugradnjom bunarske pumpe. Ugradnja ove pumpe zahteva dodatne investicione i eksploatacione troškove, pa je zbog toga potrebno uraditi pažljivu tehno ekonomsku analizu kako bi se sagledala ukupna efikasnost celokupnog sistema daljinskog grejanja. Pri ovoj analizi treba uzeti u obzir i ostale relevantne parametre rada sistema.

Zaključak

Na osnovu analize rada grejnog sistema u Petrovcu proizilazi da bi korišćenjem geotermalne energije iz izvora ML1 mogla da se ostvari godišnja ušteda u potrošnji energije od 20% do 75% u toku grejne sezone u zavisnosti od izdašnosti i temperature geoizvora. S obzirom da grejni sistem u Petrovcu troši oko 800 t mazuta godišnje, sledi da bi mogla da se ostvari godišnja ušteda od 160 t do 600 t mazuta. Sa smanjenom potrošnjom mazuta smanjila bi se srazmerno i emisija štetnih materija u atmosferu koja sada iznosi: 5000 t CO₂, 50t SO₂, i 10t NOx., a to bi nesumnjivo predstavljalo značajn doprinos održivom razvoju ovog kraja.

Analiza takođe pokazuje da se pravi efekti uštede u potrošnji toplotne energije mogu ostvariti samo sprovođenjem sveobuhvatnih mera povećanja energetske efikasnosti kako celokupnog sistema daljinskog grejanja tako i objekata koji se greju.

Literatura

- [1] Lund, J.W., Freeston, D.H., 2001. World-wide direct uses of geothermal energy 2000., Geothermics 30, 29–68.
- [2] P. Milanović i dr.: „Iskorišćenje geotermalne energije za razvoj centralizovanih sistema za snabdevanje toplotnom energijom“ Godišnji izveštaj o projektu EE 243008 za 2007 i 2008 godinu.
- [3] P. Milanović, Materijali i oprema za korišćenje geotermalne energije, Monografija, IHTM, Beograd 2002.
- [4] ASHRAE Fundamentals Handbook, ASHRAE, New York, 1997.

Osnovna pitanja, prilaz, početni podaci pri projektovanju spalione tvrdog komunalnog otpada i pregled različitih sistema za sagorevanje istog

1. Osnovna pitanja, prilaz i početni podaci pri projektovanju spaliona otpada spaliona otpada

Osnovni zadatak postrojenja za sagorevanje tvrdog komunalnog otpada je spaljivanje ovog otpada u zadnoj količini pri kome se oslobađa toplota koja se koriste za dalje potrebe. U početnoj fazi projektovanja takvih postrojenja neophodno je planirati sa približnim stepenom tačnosti, koja količina otpada biće sakupljena za poslednjih 5 godina, kakav je tempo priraštaja sakupljanja svake godine. Ove podatke, po pravilu daju organizacije koje se bave sakupljanjem i odvoženjem tvrdog komunalnog otpada na deponiji. Na osnovu opšte količine tvrdog komunalnog otpada, sakupljenog u jednoj godini koji predstavlja početak projektanskog rada, prelazi se na određivanju količine otpada po glavi stanovnika na dan. Dobijene rezultate treba ih uporediti sa rezultatima iz literature. Zatim se prelazi na određivanju morfološkog sastava, granulometrijskog sastava i termotehničkih karakteristika otpada (C^R , CW^R , A^R) i donju toplotnu moć otpada H_{Do} [1,3]

Ovi podaci nam služe za analizu tehnno-ekonomskog obrazloženja izgradnje spalione otpada sa korišćenjem toplotne energije i perspektivne godišne količine otpada i sastav.

Osim toga početni podaci služe nam kao polazni na bazi kojih prognoziram perspektivne (10 do 15 godina) količine i kvalitetne karakteristike tvrdog komunalnog otpada.

Svaka projektna organizacija koja se bavi projektovanjem i izgradnjom spaliona otpada treba da se upozna sa sledećem:

Rezime

Osnovni zadatak postrojenja za sagorevanje tvrdog komunalnog otpada (TKO) je spaljivanje u zadanoj količini, pri čemu se oslobađa toplota koja treba da se iskoristi za dalje potrebe.

U početnoj fazi projektovanja takvih postrojenja neophodno je objasniti sa približnim stepenom tačnosti, koja količina otpada biće sakupljena za 5 godina u datom mestu, dinamika njegovog sakupljanja po godinama, priraštaja sakupljanja ovog otpada. Ove podatke, po pravilu daju organizacije koje se bave sakupljanjem i odvoženjem TKO na deponiji, predviđenoj za neki grad ili širi rejon. Sem toga neophodno je definisati u fazi projektovanja sledeće veličine: količinu TKO po glavi stanovnika na dan, morfološki sastav, granulometrijski sastav, termotehničke karakteristike, toplotnu moć sagorevanja TKO.

Izbor sistema za sagorevanje TKO je težak i odgovoran posao projektanta spalione otpada. Njegov zadatak je da sagleda sve moguće sisteme, iste analizira i odabere najoptimalniji sistem spaljivanja TKO. Definisani su opšti početni podaci i uslovi koji dozvoljavaju projektnoj organizaciji pristup ka razradi tehnno-ekonomskog obrazloženje. U radu su prikazani različiti sistemi. Dat je tehnološki opis i tehničke karakteristike postrojenja.

Ključne reči: spaliona otpada, sistemi spaljivanja.

Basic Questions Approach, Beginning Data when Projecting Incineration of Solid Public Waste and Review of Different Systems for Combusting

The basic duty in formation of combusting the solid public waste is incinerating in given quantity where we have heat release that needs to be used for further needs. In beginning stage when projecting this kinds of formations it is necessary to explain with approximate degree of liquid, which quantity of waste will be gathered for 5 years in a given place, dynamics of its gathering by years, the gathering increase of this waste. This data, are suppose to give organisations that pick up and throw solid public waste that is assigned for some city of wider area. But, in stage of projecting it is necessary to define the next variables: the quantity of solid public waste on each person per day; morphologic structure; granular composition; thermotechnical characteristics; heating power of combusting solid public waste;

Choosing the system for combusting the solid public waste is hard responsible job for projector of incinerating waste. His duty is to look at all possible systems, to analyse them and choose the most optimal system for incinerating the solid public waste.

The basic starting data is defined and conditions that permit the organisation that is projecting to work on technoeconomic exposition.

Diferent systems are shown in this work. Technological explanation and technical characteristics of the formation are given

Key words: Incineration refuse, system incinerations

energija

1. projektna količina tvrdog komunalnog otpada, koja je namenjena spaljivanju, za 5 do 10 godina računata od početka projektovanja u (kg/s , t/dan , t/god) sa prikazanim odvojenim količinama koje su podležne spaljivanju tvrdog komunalnog otpada, u zimskom i letnjem periodu;
2. sastav tvrdog komunalnog otpada u toku 5 godina i prognoza njihovog sastava za dalju perspektivu (najmanje 10 godina). Treba da se obrati posebna pažnja na sadržaj u tvrdom komunalnom otpadu metala, stakla i plastike. Posebno treba prognozirati maseni sadržaj plastične mase koje pri sagorevanju obrazuju HCl , HF ;
3. proračunati perspektivne termotehničke karakteristike tvrdog komunalnog otpada sa ukazanim granicama kolebanja sadržaja (C^R , W^R , A^R), a takođe sa minimalnom, maksimalnom i srednjom projektom vrednošću donje toplotne moći H_{DO} (KJ/kg);
4. minimalna i maksimalna vrednost gustine tvrdog komunalnog otpada ρ_{TKO} (kg/m^3);
5. procentalno učešće gabaritnog otpada (dimenzije više od 250 . 250 . 250 (mm) u opštoj masi koja podleže spaljivanju;
6. vid i karakteristike konvencionalnog goriva, koje može biti iskorišćeno u kvalitetno gorivo za potrebe potpaljivanja i za stabilizaciju sagorevanja tvrdog komunalnog otpada, pri iznenadnom smanjenju njene toplotne moći H_{DO} (KJ/kg) ispod dozvoljene granice.

Navedeni opšti podaci omogućuju projektnoj organizaciji pristup ka razradi tehnokonoskog obrazloženja, ocenu dimenzije i gabarite energetskog postrojenja a samim tim površinu lokacije eneretskog postrojenja sa svim pratećim objektima.

Prema tome, projektnoj oraganizaciji zajedno sa naručiocem spalione otpada od početka razrade tehnokonoskog obrazloženja treba da budu ispunjeni sledeći uslovi:

1. moguće mesto lokacije energetskog postrojenja za spaljivanje tvrdog komunalnog otpada, koje po pravilu se odabira na rastojanju od 500m od stambenih objekata, što odgovara normama;
2. mogućnost upotrebe toplote u blizini lociranog postrojenja i njihova šema snabdevanja toplote po generalnom planu grada ili po specijalnoj razrađenoj šemi snabdevanja toplotom, raspored potrošača u odnosu na moguću površinu postrojenja, potrebni parametri

- nosioa toplote (para ili topla voda), potrošnja i režim potrošnja toplote za komunalno stambeno i proizvodnje potreba u toku godine i dana;
3. karakteristika bitnih potrošača snabdevanja energijom, raspoređenih u blizini namenjene površine za izgradnju postrojenja za spaljivanje otpada, karakteristike postrojenja koja su u pogonu na konvencionalno gorivo sa ciljem, odavanja šeme toplote potrošača od spalione otpada i odavanja šeme toplote od izvora na konvencionalno gorivo;
4. prisutnost starih i već projektovanih izvora energije raspoređenih blizu namenjene površine za izgradnju postrojenja, sa ciljem mogućnosti kooperacije sa njima po pitanju pomoćne opreme i unutrašnje tehničke mreže;
5. uslovi snabdevanja spalione otpada vodom, električnom energijom i spajanje na postojećoj mreži kanalizacije celokupnog energetskog postrojenja;
6. analiza vode iz izvora snabdevanja vodom sa ciljem određivanja sposobnosti pripreme napojne vode za kotlove utilizatore spalione otpada;
7. usaglašavanje sa GUP-om grada transportnu šemu dostavljanja tvrdog komunalnog otpada i konvencionalnog goriva do energetskog postrojenja pri svim mogućim varijantama njene lokacije na predhodnoj izabranoj površini;
8. podaci o stepenu zagrevanja atmosfere na nivou naseljenosti stanovništva u rejonu moguće lokacije postrojenja, koji trebaju da se dobiju od sanitarne službe grada;
9. podaci o graničnoj dozvoljenoj visini dimnjaka u rejonu moguće lokacije postrojenja, obično se dobijaju u službi avijacije i kontrole leta;
10. predhodni topogeološki podaci na predviđenoj površini izgradnje, koristimo ih pri izboru konačne varijante lokacije energetskog postrojenja-spalione otpada;
11. podaci o perspektivnom bilansu električne energije rejona, naophodni za izbor opreme utilizacionog postrojenja, i određivanje sversishodnosti proizvodnje električne energije na bazi spaljivanja tvrdog komunalnog otpada;
12. rastojanje od centra sakupljanja tvrdog komunalnog otpada do bitnih i perspektivinih mesta njihovog uništavanja, koje treba da ih koristimo u slučaju otkaza neke od opreme energrtskog postrojenja;
13. cena pređenog puta specijalne auto cisterne prenošeći tvrdi komunalni

otpad na mesto degradacije (uništavanja, spaljivanja)

14. godišnji eksploatacioni troškovi deponije tvrdog komunalnog otpada i podizanje infrastrukture do njih;
15. površina teritorija, zauzetoj pod deponijom tvrdog komunalnog otpada i potreba za njihovo proširenje u perspektivi, u slučaju otkaza opreme postrojenja za spaljivanj otpada;
16. podaci o sakupljenom metalu izdvojenom iz šljake;
17. načini iskorišćavanje šljake iz spaljenog tvrdog komunalnog otpada;

Na osnovu navedenih uslova, pri razradi tehnokonoskog obrazloženja, prirodno je da se skupe i drugi podaci koji se odnose za projektovanje običnih kotlovskih jedinica ili termocentrala, koji koriste konvencionalno tvrdo gorivo, tj, ugajl.

Pri izboru površine za izgradnju postrojenja za spaljivanje tvrdog komunalnog otpada sa iskorišćavanjem toplote potrebno je težiti ka tome, da se ova površina nalazi po mogućnosti blizu centra sakupljanja otpada, time bi se smanili troškovi transporta tvrdog komunalnog otpada u prijemni bunker postrojenja.

Poželjno je da takvu površinu rasporediti u blizini velikog toplotnog izvora snabdevanja toplotnom energijom sa razvijenom vodenom ili parnom mrežom.

U vezi sa ovim, za vreme sakupljanja početnih podataka, potrebno je skicirati bar orijentacionu tehnološku šemu utilizacionog postrojenja, a naknadni izbor njene varijante izvršice se na bazi tehnokonoskog obrazloženja.

Kako smo već rekli, razmotrićemo samo postrojenje u kome tvrdi komunalni otpad se koristi kao kvalitetno gorivo, tj. kao izvor snabdevanja energijom. Pitanje o izboru šeme takvog izvora svodi se ne ka tome, sversishodno li je iskoristiti toplotu dobijenu od sagorelog otpada, već ka tome da li će se proizvoditi električna energija i toplota ili samo toplota. Pitanje je, da li će sistem raditi po toplifikacionom ili kondezacionom režimu.

U velikim gradovima, postrojenja za spaljivanje tvrdog komunalnog otpada, po pravilu raspoređuje se u industrijskim zonama ili u takvim zonama gde uvek ima potrebe za tehnološkom parom, toplom vodom, za potrebe zagrevanja, ventilacije i klimatizacije vazduha i snabdevanje toplom sanitarnom vodom stanovnika.

U ovim zonama obično se razmeštaju krupni izvori centralizovanog

energija

snabdevanja toplotom, kako preduzeća, tako i stambenih četvrti i društveno administrativnih centara grada.

Po pravilu, u proizvodnim zonama, celogodišnja potrošnja toplote je u vidu pare za tehnološke potrebe, pritiska do $p = 1.2(Mpa)$ temperature do $250(°C)$, a takođe i u vidu vrele vode sa projektnom razlikom temperature u mreži do $150 ÷$

$170(°C)$. Vodu takvih temperatura, dobijenu od toplotnih izvora koje rade na konvencionalno gorivo, koristimo u sistemu centralizovanog snabdevanja toplotom stambenih celina i industriskih zona.

Zbog potrebe za vodenom parom niskog pritiska, potrebno je predložiti izgradnju utilizacionih parnih kotlova koji koriste energiju dobijenu sagorevanjem tvrdog komunalnog otpada.

U takvim utilizacionim parnim kotlovima proizvodi se para niskog pritiska do do $p = 1.5(Mpa)$ i temperature do $t = 250(°C)$. Takvi kotlovi sa tačke gledišta

sigurnosti njihovog rada (manja sposobnost korozije cevi, manji pritiska i temperatura, niska temperaturna naprezanja metala itd.) imaju veću primenu kod postrojenja za spaljivanje tvrdog komunalnog otpada, nego kotlovi sa visokim parametrima vodene pare. Uložena sredstva u opremanju utilizacionih parnih kotlova znatno su manja, nego ulaganje u utilizacionu termoelektrocentralu.

Utilizacioni parni kotlovi mogu da rade takođe sa odavanjem pare u parni kolektor koji se nalazi u blizini parnog kotla koji koristi konvencionalno gorivo. Toplotni izvori koji koriste konvencionalno gorivo u tom slučaju imaju ulogu vršnog kotla u sistemu centralizovanog snabdevanja toplotnom energijom.

Utilizacioni parni kotlovi koji koriste toplotnu energiju dobijenu spaljivanjem tvrdog komunalnog otpada, po pravilu se proračunavaju na taj način, da bi pri minimalnim vrednostima donje toplotne

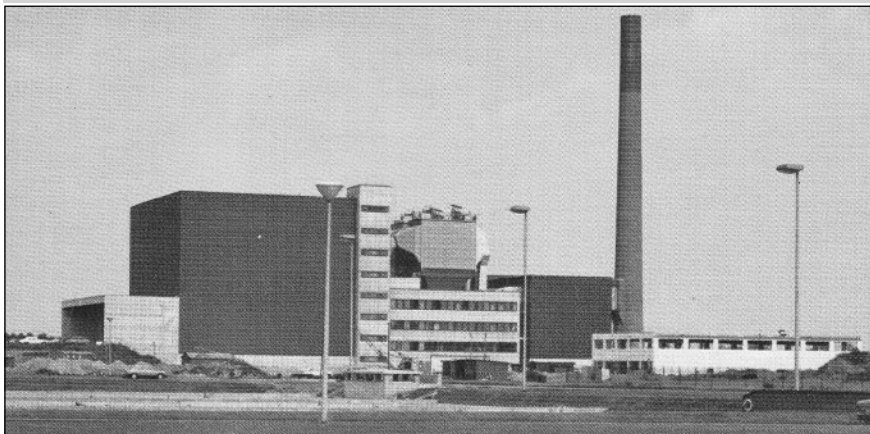
moći tvrdog komunalnog otpada i sagorevanje istog u zadanoj količini može da pokrije tehnološke potrebe za vodenom parom. Dobijena toplotna energija na bazi sagorevanja tvrdog komunalnog otpada, osim nepohodne količine za tehnološke potrebe, usmerava se u sistem snabdevanja toplotom za potrebe grejanja, ventilacije i snabdevanja sanitarnom toplom vodom.

Čisto grejne utilizacione parne kotlarnice ili utilizacioni parni vršni kotlovi na konvencionalno gorivo treba ih proračunati iz uslova pokrivanja celogodišnjeg toplotnog optrećenja za potrebe snabdevanja toplom vodom pri minimalnoj toplotnoj moći sagorevanja tvrdog komunalnog otpada pri zadatoj količini.

Utilizacioni parni kotlovi u TEC, po pravilu proizvode vodenu paru srednjeg pritiska $p = 3.9(Mpa)$ ili visokog pritiska $p = 9.8(Mpa)$. Takve utilizacione termoelektrocentrale su projektovane sa turbinom koja radi po toplifikacionom režimu, sa oduzimanjem pare za tehnološke i grejne potrebe, ili po kondenzacionom režimu.

Prikaz nekih takvih postrojenja je dat na slici 1 i 2 [3,4,5]

Slika 1 Prikaz spalione otpada Stadt Krefeld Durchsatzleistung 2x12(t/h)



2. Pregled različitih sistema za sagorevanje tvrdog komunalnog otpada

Postoje više sistema za sagorevanje tvrdog komunalnog otpada koji su danas u eksploataciji. Njihov prikaz je dat u tabeli T1.

Opis svih prikazanih sistema zahteva dosta prostora. Detaljan opis svih sistema je dat u literaturi [1,2,3,5]. U ovom radu su opisani pojedini sistemi.

2.1. Sistem Babco-Karnap

(Wanderroste). Otpad dolazi iz bunkera za doziranje do vibracionog sita u kome se odvajaju fina zrna. Kod veće količine finog zrna može se u transportnu traku ugraditi titrajuće sito i tako izdvojen materijal dovodi se do sterilizacije na kraju druge rešetke, na užarenu šljaku. Sagorevanje otpada se izvodi na više rešetki. Po pravilu, prva rešetka treba da je dovoljna za nanošenje otpada za sagorevanje. Ovo se odvija sa dovođenjem toplog vazduha i dimnih gasova. Zagrevanje vazduha se obavlja preko zagrejača vazduh-dimni gasovi. Ovaj zagrejač se naizmenično uključuje u toku rada te radi po principu regenerativnosti. Druga rešetka služi za paljenje i uvođenje sagorevanja. Treća rešetka služi za dogorevanje i sinterovanje. Pomoću odvojenog regulišućeg pogona za rešetke može doći do nestabilnih brzina sagorevanja uslovljenog sa jako promenljivim kvalitetom otpada. Pored brzine

Slika 2 Prikaz kondzacione TEC na otpad (BSH-Rauchgas und Brucken-Elektro-Entstauber im VKW-Braunkohlen-Kraftwerk Megalopolis /Griechenland

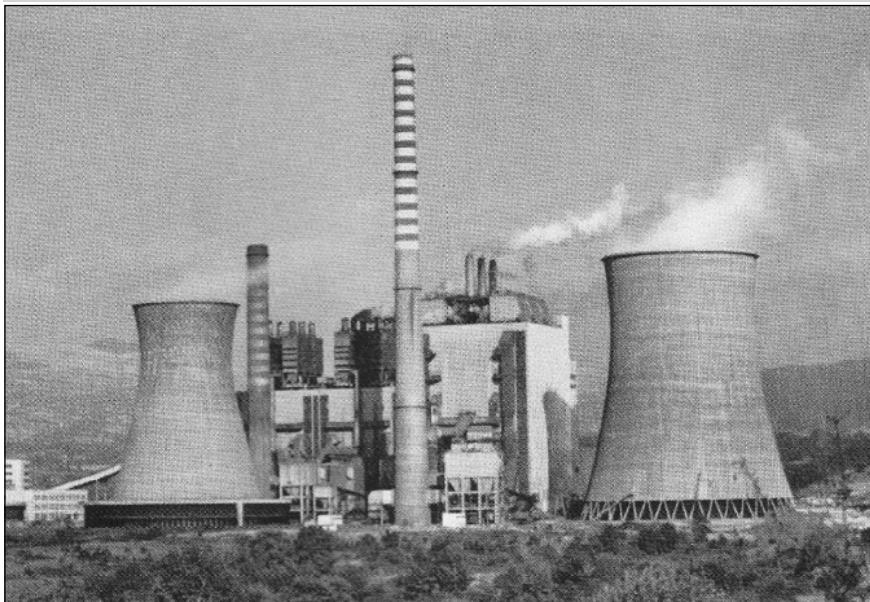


Tabela T1

Redni broj	SISTEM	Redni broj	SISTEM
1	Sistem Babcoc-Karnap (Wanderroste)	18	Sistem MS-Kohos gorenja (Brennkegel)
2	Sistem Babcock-Keller	19	Sistem Nicols
3	Sistem Boussange	20	Sistem Pic
4	Sistem Buttner	21	Sistem Riepl-Scherer – Riedl
5	Sistem Claudius Peters	22	Sistem Von Roll
6	Sistem Decarie	23	Sistem Sauvageot
7	Dürr –VKW – rešetke sa valjcima sistema Düsseldorf	24	Sistem Skorstensbolgget
8	Sistem Eßlinen	25	Sistem Steinmüller
9	Sistem Fellner i Zigler	26	Sistem Streit
10	Sistem Heenan-Froude ; Heenan-Didier	27	Sistem E.C.Stocker
11	Sistem Herbertz	28	Sistem Stouff
12	Sistem Inferno	29	Sistem Venien
13	Sistem kaskadnih rešetki	30	Sistem V? lund
14	Sistem Kerotherm-Zürich	31	Sistem Wedermann
15	Sistem Lurgi	32	Sistem Woodall-Duckhom
16	Rešetke za povratno pomeranje-Sistem Martin	33	Sistem Wotschke
17	Sistem Monohearth	34	Čeliska rešetka

transportovanja sagorevanje se može upravljati sa promenom visine sloja. Svaka rešetka poseduje odvojen dovod vazduha, tako da se može usaglasiti višak vazduha na tok sagorevanja zbog promenljivog kvaliteta otpada. Potreban vazduh za sagorevanje u svakom slučaju uduvava se na povratnim mestima, a takođe i kroz rešetke u materijal za spaljivanje. Slobodan presek rešetke iznosi $12 \div$

$15(\%)$. Nadpritisak iznosi $100(Pa)$, podpritisak iznad rešetke $30 \div 50(Pa)$. Ložište je dugo i uzano, time se garantuje dovoljno vreme za sagorevanje i sinterovanje. Posl dovršetka dogorevanja šljaka se iznosi i pomoću gumene trake transportuje se do bunkera za pepeo.

2.2. Sistem Babcock-Keller. Ovaj sistem se razlikuje od **Babcoc-Karnap** po rešetkama. Delovi koji se nalaze ispred rešetke oba sistema međusobno su slični. Mogu se razlikovati sledeće vrste rešetke:

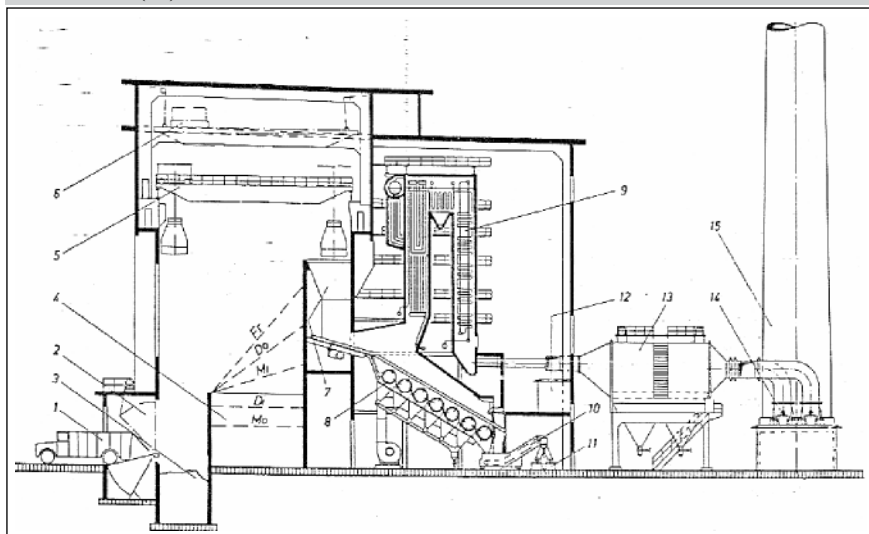
1. potpuno mehaničko pomeranje kaskadne rešetke za materije finih zrnaca i sa ograničenom toplotnom vrednošću otpada;
2. potpuno mehaničke rotirajuće rešetke, predstavlja dalji razvoj kaskadne rešetke koja služi za uništavanje kućnog i industrijskog otpada;
3. potpuno mehaničke peći sa rotirajućim bubnjem, služi za uništavanje industrijskog otpada. Rotirajući bubanj napravljen je kao komora i kao takav može dospeti u različite uglove. Da bi došli do

potpunog sagorevanja dimnih gasova i uništenjem mirisa ugrađuje se gorionik na tečno ili gasovito gorivo, u šahti dimnog gasa iza izlaza bubnja;

4. ručno opremanje peći sa rešetkama; peći sa rešetkama služe za uništenje otpada čije sagorevanje ne predstavlja nikakv problem. Postrojenje radi prema potrebi.
5. sinter peći, služe za sagorevanje anatomskih i patoloških otpada. Opremaju se sa keramičkim rešetkama. Rešetka se zagreva i time se sve bakterije neposredno po ubacivanju otpada uništavaju;

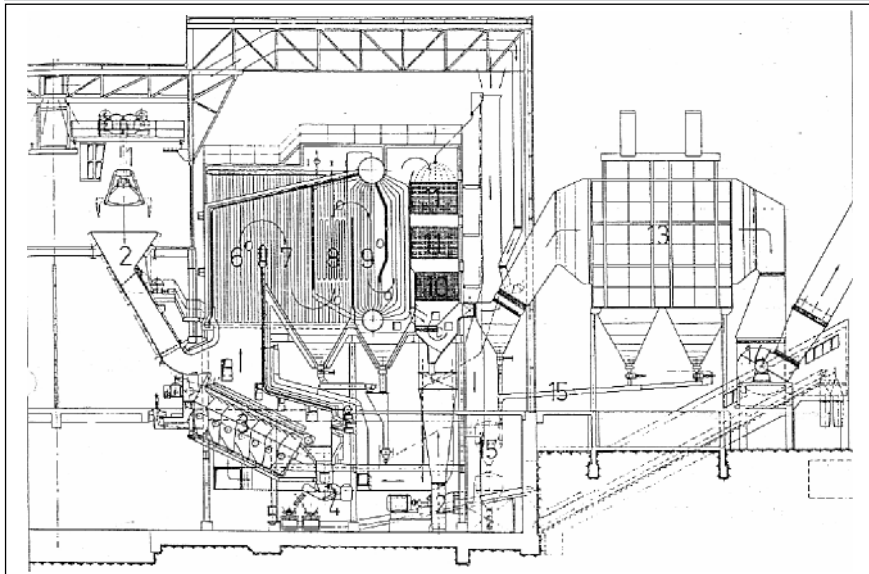
2.3. Dürr –VKW – rešetke sa valjcima sistema Düsseldorf. Karakteristika rešetke sa valjcima je sledeća: valjak se sastoji iz osovine koja naleže na dva lagera sa korpom za nošenje sa laganim okretanjem gde su savijene segmentne šipke. Između valjaka rešetki nalaze se tzv. zidovi „zidovi provođenja“. Visina sloja materijala za sagorevanje određuje se u zavisnosti od visine zalihe u „depovima“, rešetke i visina zaliha zavisna od broja valjaka rešetke. Da bi se ubrzao postupak sagorevanja uduvava se između šipki rešetki valjaka nastalih proreza prema potrebi topao i hladan vazduh u otpadu. Na kraju rešetke sa valjcima je jedno korito napunjeno sa vodom u koji pada užarena šljaka i iz kojeg se šljaka transportuje preko pločaste trake do sakupljača šljake. Brzina transportovanja prvog valjka rešetke mora da bude veća nego što je uređaj za predaju, time se reducira visina sloja otpada već na početku rešetke na željenoj masi. Rešetka za naknadno sagorevanje ne garntuju potpuno rešenje problema sagorevanja. Ispitivanja stvorene šljake i pepela pokazal su da se

Slika 3 spaliona otpada kapaciteta $4 \times 10(t/h)$, pritiska $p = 89(\text{bari})$, temperature $t = 500(^{\circ}C)$ sistem Dürr



(1-vaganje otpada; 2-klanje otpada; 3-bunker; 4-skladišni bunker; 5-kran; 6-rezervni kran; 7-levak za punjenje; 8-rešetka; 9-parni kotao; 10-odvajajući šljake; 11-odvođenje šljake; 12-posmatranje ložišta; 13-elektrofilter; 14-usisni vod; 15-dimnjak)

Slika 4 Spalionica ROTERDAM 4 jedinice po 12(t/h) otpada i 27,5(t/h) vodene pare pritiska $p = 30(\text{bara})$ i temperature $t = 360^{\circ}\text{C}$ sistem Martin



(1-kranj za ubacivanje; 2-levak; 3-Martin rešetka; 4-Marinov odvajač šljake; 5-transportovanje šljake; 6, 7, 8, 9-grejne površine i parni kotao; 10- zagrejač napojne vode; 11-zagrejač vazduha; 12-pneumatski transport; 13-elektrofilter; 14-uisisni vod dimnih gasova; 15-transportovanje;)

može očekivati nesgoreli ostatak u visini od $8 \div 10(\%)$ od sagorljive materije, slika 3.

2.4. Rešetke za povratno pomeranje-Sistem Martin. Sa delovanjem povratnog pomeranja sagoreli materijal može se staviti na početak rešetke. Sa rešetkom za povratno pomeranje održava se sloj otpada stalno u pokretu i pretresuje se da bi imali garantovano provetranje otpada , a samim tim i sušenje. Cela rešetka sastoji se iz više malih uzanih nezavisnih jedne od drugih pokretnih rešetki . Najveći kapacitet Martin rešetke postignut je po jedinici $1200(t/24h)=50(t/h)$. Usisavanjem vazduha se obavlja sa jednim ventilatorom. Dovođenje

vazduha u svaku pojedinačnu rešetku se obavlja preko jednog sistema koji ima 5 do 7 zona za vazduh. Sa delovanjem povratnog pomeranja Martin rešetke, stvaraju se uslovi za dodatno sagorevanje još malog vrednog otpada. Prema podacima proizvođača na ovom sistemu može da sagoreva i mulj, sirovi mrki ugalj, sa visokim sadržajem zrna prečnika manjim od 1mm vlažnosti do 65(%). Da bi se ovo olakšalo , rešetka se može opremiti sistemom za automatsko loženje i regulisanje, slika 2 .

2.5. Sistem VÖlund . Danska firma VÖlund radi u principu uvek zajedno sa zemljom izvođača. U Nemačkoj ova saradnja izvršena je sa firmom WISTRA, tako da se u Nemačkoj govori o sistemu VÖlund – izrade

WISTRA. Kod ovog sistema dospeva sirovi otpad u jednoj šahti za punjenje , gde se odvodi na dve koso ležeće rešetke za sušenje i jednu rešetku za paljenje , koja se pokreće hidroulički ili mehanički sa regulišćim brzinama. Vlažan otpad suši se pomoću vrelih gasova nastalih u procesu sagorevanja. Izdvojeni gasovi koji sadrže vodenu paru odvoje se preko jednog kanala u komoru za mešanje i naknadno sagorevaju. Prema jednoj starijoj konstrukciji , odvodi se deo gasa preko jednog kanala i tek ispred parnog kotla spaja sa povratnim gasovima. Sa rešetke za sušenje otpada , otpad pada na rešetku za sagorevanje , čija se brzina transporta reguliše nezavisno od brzine transporta rešetke za sušenje. Ako je ipak vlažnost otpada tako visoka da propisano sušenje nije dovoljno , automatski se uključuje gorionik za tečno gorivo. Da bi se sprečila zapečenost šljake na rešetki za paljenje bočni zidovi rešetke izradjuju se od čeličnih cevi napunjeni vodom, slika 5.

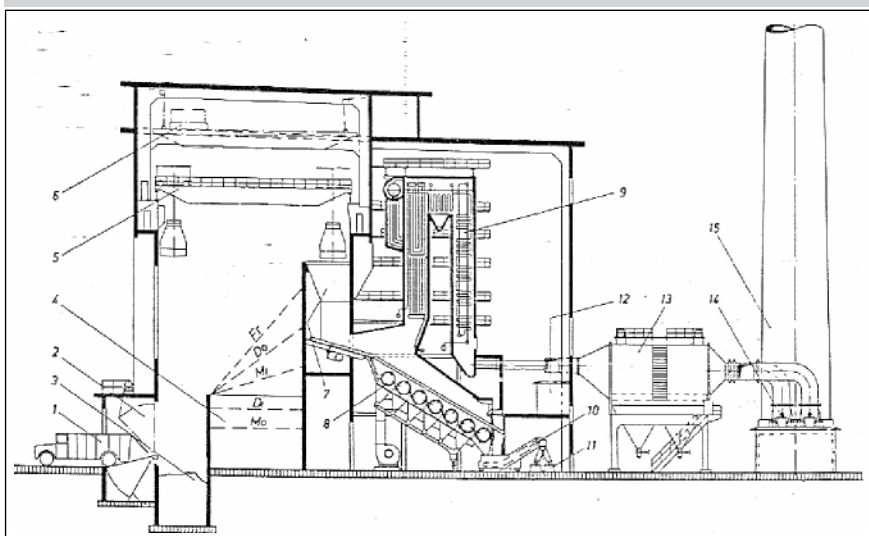
Potreban vazduh za sagorevanje komprimira se pod odgovarajućim pritiskom oko $2500(Pa)$ ispod rešetke i struji vertikalno kroz ceo sloj otpada. Dodavanjem sledi na taj način što se u prvoj trećini udvava zagrejan vazduh na oko 300°C , u drugoj trećini hladan vazduh od oko 20°C , u poslednoj trećini mešavina dimnog gasa –vodene pare-vazduh za hlađenje šipki rešetke. Sa rešetke za sagorevanje gorive komponente otpada kontinualno padaju u obrtni bubanj koji se pokreće elektromotorom. Iz bubnja ostaci sagorevanja padaju na u jedan žljeb za ispiranje napunjen vodom u kome teški komadi zbog velikih razlika temperatura prskaju. Ovim sistemom nudi se mogućnost da se brzina rešetke sušenja, sagorevanja i obrtanja bubnja reguliše nezavisno jedna od druge. Ovaj sistem nudi kapacitet i do $100(t/h)$ po peći . Pored ovih velikih postrojenja mala postrojenja izrađuju se sa kapacitetom otpada od $20 \div 50(kg/h)$ to jest $75 \div 400(kg/h)$.

3. Zaključak

Donošenje propisa i standarda u ovoj oblasti bi obezbedili da se otpočne sa sistematskim sakupljanjem i izvoženjem otpada uz praćene dnevnih, nedeljnih, mesećnih , sezonskih i godišnjih kolićina i sastava i dugih statističkih podataka koji igraju veoma važnu ulogu u sagledavanju najboljeg načina za uništavanje otpda.

Izbor sistema za sagorevanje otpada zasniava se tehnoekonomskoj analizi. Iz ove analize se vidi da je neophodno uraditi energetska strukturu za iskorišćavanje energije dobijene od sagorevanja tvrdog komunalnog otpada.

Slika 5 Šema sistema VÖlund



(1.kran za ubacivanje otpad; 2-rešetka I; 3-rešetka II; 4-dogorevanje; 5-bubanj; 6-odvajač šljake; 7-usmeravanje dimnih gasova; 8-vodene pare u izlaznim gasovima; 9-ubacivanje vazduha; 10-gorionik; 12-zagrejač vode; 13-elektrofilter; 14-mehanički filter; 15-potisni vod; 16-dimnjak.)

4. Literatura

- [1] Š. Bajmak, Doktorska disertacija, Mašinski fakultet Prištini (1994)
- [2] Puschmann, G., Drath, R.: Die Grundzüge technischen Wärmelehre, VEB Fachbuchverlag, Leipzig, 1961
- [3] Š. Bajmak, Magistarski rad, Mašinski fakultet, Skopje, 1988
- [4] Reifert, L.: Betrachtungen über die Auslegung von Müllverbrennungsanlagen, Informationsblatt, NO29, IV, 1967, J.A.M. Zurich.
- [5] Rietschel, L., Raiß, W.: Heiz- und Luftuntechnik Vierzehnte Auflage, str. 606, Berlin, 1960
- [6] Ivanjc, M., Bajmak, Š.: Studija za izgradnju spalione otpadaka u Prizrenu, SMELT- Ljubljana, IMPM- Metalac- Prizren, 1984-1988 godine.
- [7] Mantell, C.L., Solid Wastes (origin, collection, processing and disposal), John

V. Ivanović

Mašinski fakultet, Podgorica, Crna Gora

D. Ivanović

B. Dragović

OTEF Univerziteta Crne Gore, Podgorica

UDC: 621.43.068.004

Kaptacija i korišćenje deponijskog gasa

Rezime

Stupanjem na snagu Kjoto protokola emisija gasova u atmosferu postaje globalna briga. Jedan od većih zagađivača je i deponijski gas koji se, kod nas uobičajeno, bez ikakve kontrole oslobađao i direktno emitovao u atmosferu.

Izgradnjom sanitarne deponije „Livade“ u Podgorici stvorili su se uslovi za izgradnju sistema za kaptaciju deponijskog gasa koji je prva faza u kontroli emisije sa deponije i njegovom efikasnom korišćenju.

U radu je dat način izgradnje sistema za kaptaciju deponijskog gasa koji se zasniva na mreži vertikalnih bunara koji se u toku popunjavanja deponije prave po principu uzdizanja.

Cljučne reči: deponijski gas, komunalni otpad, kaptacija.

Abstract

By taking effect of Kjoto protocole, gas emission into atmosphere becomes global concern. One of major polluters is landfill gas which, usually in our country, has liberated and emitted directly into atmosphere without any control.

By building sanitary landfill "Livade" in Podgorica, the conditions were made for building system for landfill gas capturing, which is the first phase in control of emission from landfill and its efficient usage.

The way of building the system for capture of landfill gas, which is based on network of vertical wells which are, during the filling of landfill, made by principle of elevation as presented in the paper.

Key words: landfill gas, municipale solid waste, capturing.

Uvod

Deponija čvrstog komunalnog otpada nalazi se jugoistočno od Podgorice na udaljenosti 5 km od centra grada, na lokaciji «Livade» neposredno uz put Podgorica – Dinoša, a u blizini rijeke Cijevna koja teče prema jugu.

Na prostoru deponije se više od 50 godina neselektivno i bez kontrole odlagao otpad, na klasičan način i bez primene odgovarajućih mera zaštite životne sredine. Na deponiji se prvenstveno skladišti otpad iz opština Podgorica i Danilovgrad, a od početka 2008. godine odlaže si i otpad iz primorskih opština.

Glavnim projektom sanacije i uredjenja gradske deponije predviđeno je da se smeće odlaže na organizovan i uređen način i u skladu sa propisima koji važe

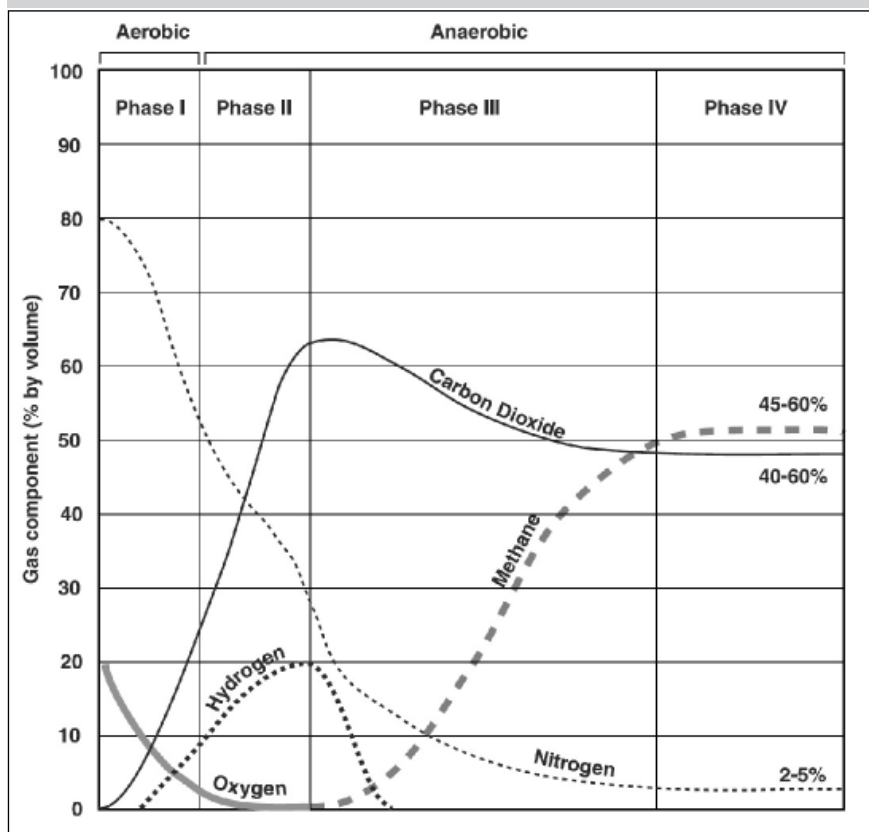
u zemljama Evropske Unije, gde se kao prioritet stavlja zaštita životne sredine.

Iz toga razloga, kao deo rešavanja problema odlaganja i skladištenja smeća, a imajući u vidu da oslobađanje deponijskog gasa predstavlja fizički (eksplozija), hemijski (škodljive supstance u ambijentnom vazduhu) i fiziološki (neprijatan miris) rizik za ljude koji žive i rade u blizini deponije predviđen je sistem za kaptaciju deponijskog gasa, njegovo odvođenje na kontrolisan način i u prvoj fazi njegovo sagorevanje (tretman) /1/.

Način nastajanja deponijskog gasa

Razgradnja čvrstog otpada na kontrolisanoj deponiji često poprma različite i kompleksne aspekte. Reč

Slika 1 Faze nastajanja deponijskog gasa tokom vremena



I-aerobna faza; II-anaerobna kisela faza; III-nestabilna anaerobna metanogena faza; IV-stabilna anaerobna metanogena faza /4/

je prvenstveno o fizičkim, hemijskim i biološkim procesima koji se istovremeno odvijaju sve vreme dok se otpad ne razgradi. U ovom projektu se bavimo prevashodno biološkom razgradnjom, odnosno transformacijom materije pod dejstvom mikroorganizama, kao što su bakterije, jer njome nastaje većina deponijskog gasa. Biološka degradacija se odvija u više faza, kao što je pokazano na slici 1, a osnovne su /2-4/:

- aerobna faza
- fakultativna anaerobna kisela faza
- anaerobna metanogena faza (nestabilna i stabilna)

Aerobna razgradnja otpočinje odmah nakon odlaganja otpada, usled prisustva aerobnih bakterija koje trošeći kiseonik razbijaju dugačke molekularne lance kompleksnih hidrokarbonata, proteina i masti koje čine organski deo otpada do nižih organskih molekula. U pomenutom procesu takođe se iskorištava kiseonik rastvoren u atmosferskim vodama koje se infiltriraju kroz gornji sloj kojim se zatvara

deponija. Proces aerobne razgradnje po pravilu relativno kratko traje.

Sa smanjenjem količine kiseonika, još dok se u gornjim slojevima odigravaju aerobni procesi, započinje anaerobna razgradnja. Prisutni mikroorganizmi, nazvani fakultativni, posebno su skloni slobodnom kiseoniku, ali ako njega nema, mogu koristiti i vezani kiseonik. U ovoj fazi je karakteristično stvaranje ugljendioksida, otpočinjanje stvaranja vodonika, manja količina stvorene toplotne energije u odnosu na aerobni proces, i znatno stvaranje organske supstance koja je djelimično razgrađena, a čiji najveći deo čine niže organske kiseline i alkoholi (metanol i etanol). Pomenute kiseline, sa nevezanim ugljendioksidom, nalaze se i u ocednim vodama kojima daju određeni nivo kiselosti, PH vrednost 5–6.

Metanogena anaerobna faza predstavlja završni stadijum razgradnje čvrstog komunalnog otpada. U ovoj fazi dolazi do razvoja novih vrsta anaerobnih mikroorganizama, takozvanih metanskih bakterija, sposobnih da

pretvaraju prosta organska jedinjenja u metan i ugljendioksid. Metan nastaje i hemijskom sintezom ugljendioksida i vodonika. Tokom nestabilne metanogene faze troši se sav raspoloživi vodonik, a koncentracija ugljendioksida i azota se smanjuje. Karakteristično je povećanje koncentracije metana dok se njegovo nastajanje ne stabilizuje. Karakteristike ove faze jesu proizvodnja toplotne energije kao i povećanje PH vrednosti koje su bliske neutralnim. Ova faza se uspostavlja nakon perioda, koji veoma varira sa svakim čvrstim otpadom, od 3 do 9 meseci od deponovanja otpada što zavisi i od više faktora (sastav, sabijenost, vlažnost, temperatura, vreme prekrivanja, itd.). Kada stabilna metanogena faza jednom otpočne, proizvodnja deponijskog gasa se, uglavnom, manifestuje u višegodišnjem periodu (i do 50 godina /2/), prema kretanju po kome se uočava maksimalna proizvodnja u prvim godinama, i postepeno asimptotsko opadanje sve do potpune razgradnje organskih supstanci, ili dok postoje uslovi date sredine koji odgovaraju datom procesu.

Sastav deponijskog gasa

Deponijski gas je sastavljen kao mešavina stotina različitih gasova. Po zapremini, može se reći da je sastavljen prevashodno od dva gasa: 45-60% metana (CH₄) i 40-60% ugljendioksida (CO₂). U kombinaciji sa tim gasovima često su prisutni i kiseonik (O₂) i azot (N₂), jer su kao vazduh prisutni u slobodnim međuprostorima u otpadu, u trenutku deponovanja, ili privučeni iz atmosfere dinamičkim djelovanjem aspiracije. U manjim količinama ima i amonijaka, sulfida, vodonika, ugljenmonoksida i nemetanskih organskih komponenti (NMOCS).

Proizvodnja deponijskog gasa

Procene koje se odnose na proizvodnju deponijskog gasa na jednoj kontrolisanoj deponiji, zahtijevaju poznavanje brojnih parametara koji se odnose na dinamiku punjenja deponije, hemijsko-fizičke karakteristike otpada, na način deponovanja i prekrivanja otpada, na lokalne klimatske i hidrogeološke uslove (tabela 1).

U stručnoj literaturi /2 – 18/ dostupni su različiti modeli, čak i oni veoma jednostavni, koji imaju za cilj da zadovolje sledeće zahteve:

- proceniti, za otpad poznatih karakteristika, teorijski maksimalnu količinu biogasa (u neograničenom periodu) koja se može ekstrahovati sa kontrolisane deponije,

Tabela 1 Faktori koji utiču na stvaranje deponijskog gasa

Karakteristike sredine	Karakteristike otpada	Načini gazdovanja
čadavine	Sastav i sadržaj vlage	Dubina kontrolisanja deponije
temperatura vazduha	Granulometrija prilikom deponovanja	Način deponovanja otpada
čsunčanost	Gustoća	Materijali za privremeno prekrivanje
četrovitost	Pred-tretmani	

energija

- proceniti kinetiku procesa proizvodnje biogasa, i predvideti evoluciju proizvodnje tokom vremena

Modeli koji odgovaraju gore pomenutim zahtevima mogu se klasifikovati prema sledecim osnovnim tipovima: empirijski, stehiometrijski, biohemijski i ekološki modeli. Rezultati dobijeni primenom opisanih modela se nažalost veoma razlikuju, posto su izvedeni iz situacija koje gotovo medjusobno nisu uvek uporedive. Teorijska proizvodnja deponijskog gasa po jednoj toni nepromenjenog otpada se po tim modelima kreće u širokim granicama od 60 do 420 m³.

Za proračun ukupne količine deponijskog gasa iskorišćen je US EPA program Landfill Gas Emissions Model (LandGEM) Version 3.02 /20/, koji se zasniva na empirijskoj jednačini prvog reda kojom se određuje brzina truljenja

$$Q_{CH_4} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=0.1}^1 kL_o \left[\frac{M_i}{10} \right] e^{-kt_{ij}}$$

Gde je

- Q_{CH_4} [m³ / god] - ukupna godišnja količina metana
- $i = 1$ - godina vremenskog priraštaja
- n - godina proračuna, početna godina prihvatanja otpada
- $j = 0.1$ - godišnji vremenski priraštaj
- k [1 / god] - godišnja brzina nastajanja metana
- L_o [m³ / Mg] - mogući prinos metana po 1 toni otpada
- M_i [Mg] - masa otpada prihvaćenog u i-toj godini
- t_{ij} - starost j-tog dela otpada mase M_i prihvaćenog u i-toj godini

Slika 2 Deponija "Livade" – parcele broj 1 i 2



Dinamika punjenja deponije

Sanitarna deponija (u konačnom obliku) treba da se sastoji od 6 kada za otpad dimenzije 100 x 200 m, koje su locirane u središnjem dijelu kompleksa. Svaka kada ima ugrađen sistem za sakupljanje i dispoziciju ocednih voda, sistem za kaptaciju i dispoziciju biogasa, i sistem za sakupljanje i dispoziciju čistih atmosferskih voda.

U prvom periodu predviđa se izgradnja ukupno 1.500.000 m³ deponije, sa tri kade od po 500.000 m³, a planira se da izgradnja svake kade bude realizovana u godini koja prethodi upotrebi iste (slika 1).

Slojevi otpada se nabijaju sa 6 – 7 prelaza kompaktora težine 29 t, čime se postiže zbijenost od 750-850 kg/m³. Za proračun je uzeta prosečna gustina od 800 kg/m³ što čini ukupnu masu otpada jedne kade od 400000 t.

Tri kade ce biti napravljene tokom 0. godine, 4. godine i 12. godine; odnosno punjenje druge kade otpočeće 2009. godine, a treće kade 2017. godine. Četvrta kada bi trebala da bude otvorena 2030. godine. Takva vremenska neujednacenost uslovljena je činjenicom da je popunjavanje prve kade ubrzano prilivom otpada od saniranja stare

deponije i prilivom otpada iz primorskih opština.

U prvom kadu je smešteno tokom deset meseci 2005. godine 305.000 m³ starog otpada kao posledica saniranja stare deponije, sa pretpostavljenih 50% organskih materija koja je otpočela sa razgradnjom. Masa starog otpada procenjena je na osnovu prevezene količine otpada na 160.000 tona. Dinamika punjenja prve kade utvrđena

je merenjem deponovanog otpada u količini od 50.000 tona godišnje do 2008.

Uobičajena dnevna količina otpada koja stiže na deponiju iznosi 150 m³, a sa otpadom koje stiže sa primorja 250 m³. Za letnju sezonu se predviđa količina od 300 m³ rastresitog otpada. Ugovor za deponovanje otpada sa primorja potpisan je na dve godine. Time je količina otpada u 2009 godini povećana na čak 70.000 tona.

Od 2009. godine treba da otpočne uvođenje programa selekcije otpada, čime će se količina deponovanog otpada postepeno smanjivati uz povećanje procenta organskih materija u deponovanom otpadu čime se povećava i količina proizvedenog deponijskog gasa. Pretpostavka je da će se edukacijom stanovništva i selekcijom otpada kompenzovati i povećanje očekivanog porasta broja stanovnika u opštini Podgorica, pa će se deponovana količina otpada smanjiti na 35000 tona godišnje od 2014 godine. Ta količina otpada se zadržava u proračunima do kraja.

Analiza otpada na deponiji

Struktura čvrstog komunalnog otpada koju se odlaže u rastresitom stanju na postojeću deponiju je organskog i neorganskog porekla, a godišnja količina iznosi oko 50.000 t. Prema ispitivanjima uzoraka čvrstog komunalnog otpada koji je deponovan, struktura je data u tabeli 2. Rubrika ostalo u morfološkoj analizi se odnosi na akumulatore, trafoe, bolnički otpad i sličan materijal.

Proračun proizvodnje deponijskog gasa

Kada su određene količine otpada koje će se godišnje donositi na deponiju, i kada se proceni proizvodnja po jednoj toni otpada, moguće je pristupiti određivanju ukupne količine deponijskog gasa koji će se stvoriti

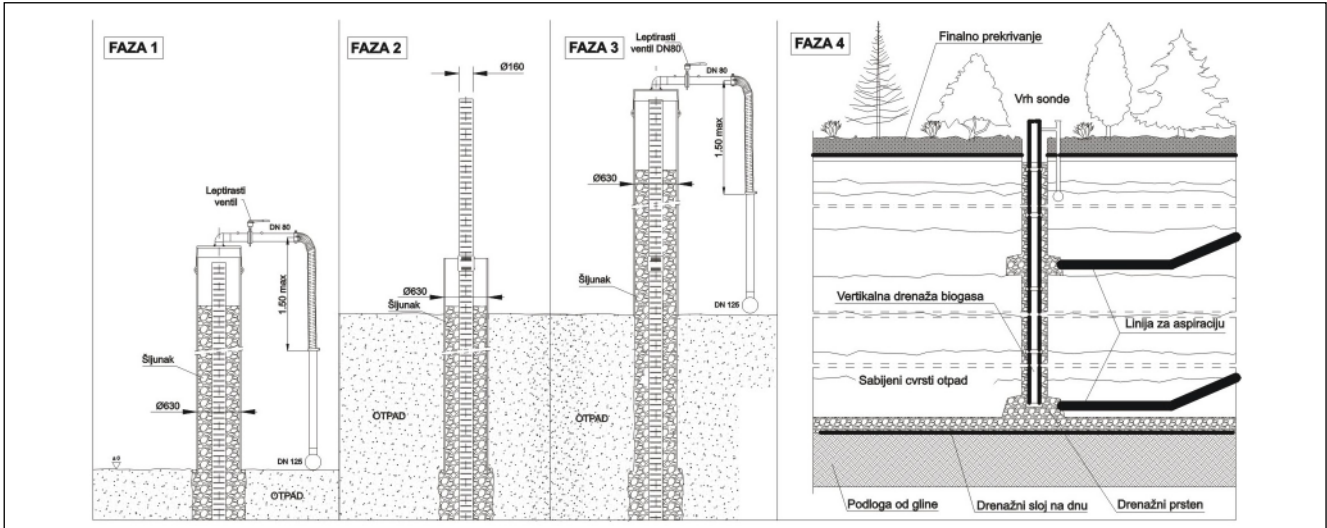
Tabela 2 Analiza otpada sa uzorka uzrtog na deponiji /1/

Morfološka analiza		Organska frakcija		Merceološka analiza frakcije	
papir	17%	vlažnost na 10 °C	54,0%	organske supstance	37,0%
plastika	9%	isparljive materije 600 °C	83,0%	celulozne materije	18,9%
tekstil	5%	pepeo na 600 °C	36,9%	plastične materije	8,8%
staklo	5%	ugljenik (C)	17,1%	metal	3,1%
metal	4%	azot (N)	0,54%	inertne materije	7,9%
organski	50%	Fosfor ukupni (P)	624 mg/kg	propad < 20 mm	16,3%
ostalo	10%	organski ugljenik	37,0%	ostalo	8,0%
Ukupno	100%	podložan truljenju		Ukupno	100%

Tabela 3

Godina	Ukupna količina otpada na deponiji [t]	Proizvodnja deponijskog gasa u m ³ /h				
		Kada 1 – stari otpad	Kada 1 – novi otpad	Kada 2	Kada 3	Deponija ukupno
2010	445000	66.8	197.8	52.5	-	317.1
2015	670000	60.5	162.0	283.4	-	505.9
2019	810000	55.8	138.0	383.7	19.0	596.5
2025	1020000	49.5	108.6	301.9	367.0	827.0
2030	1195000	44.8	88.9	247.1	587.1	976.9

Slika 3 Faze podizanja ekstrakcionog bunara



na čitavoj deponiji, računajući i preklapanje efekata.

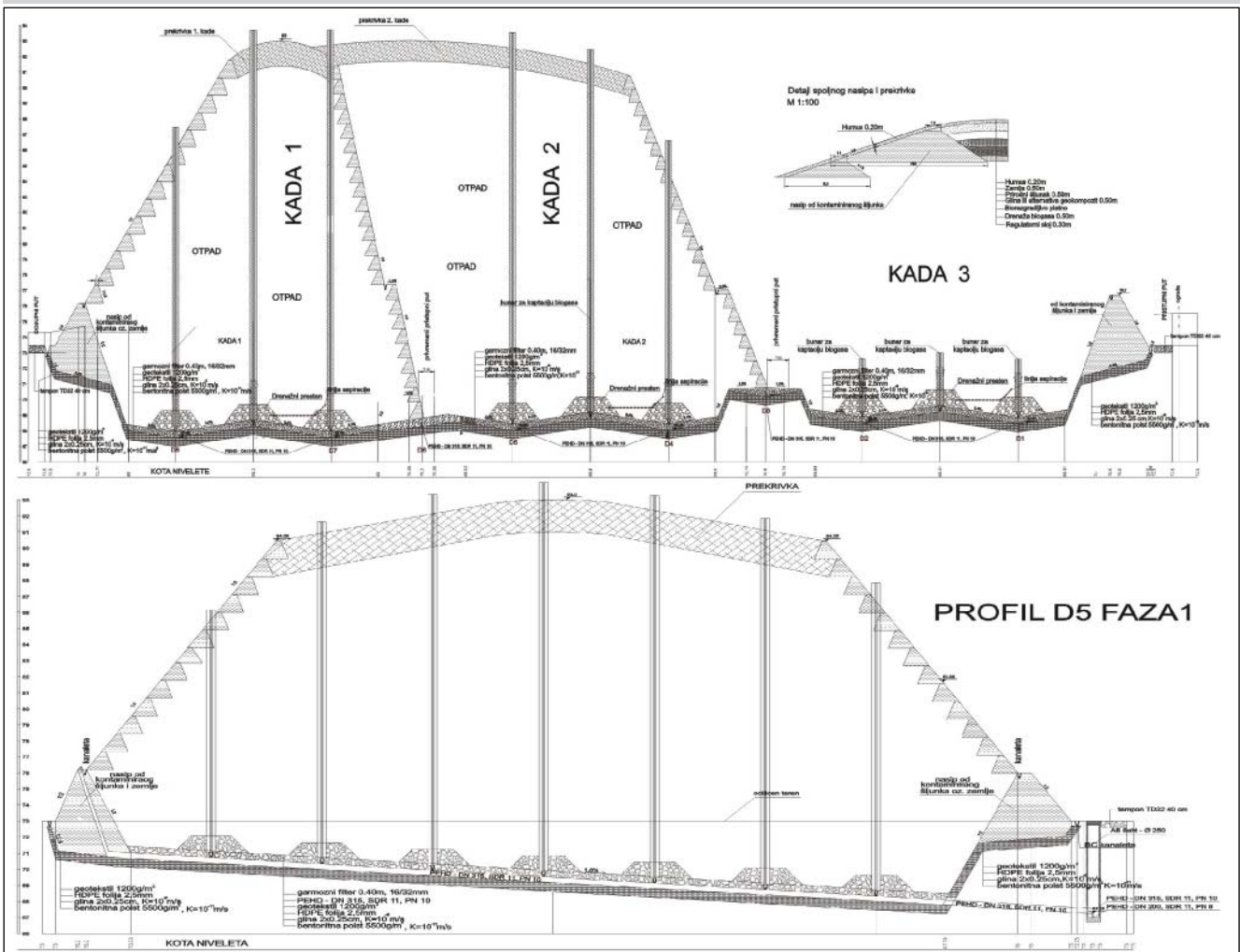
Proracun je urađen posebno za svaku kadu. Treba napomenuti da je proracun za prvu kadu podjeljen u dva dela: stari otpad i novoprimitljeni otpad, obzirom na znatno drugačije karakteristike otpada ka stvaranja deponijskog gasa. Izvod iz proračuna je dat u tabeli 3.

Dimenzionisanje objekata za kaptaciju

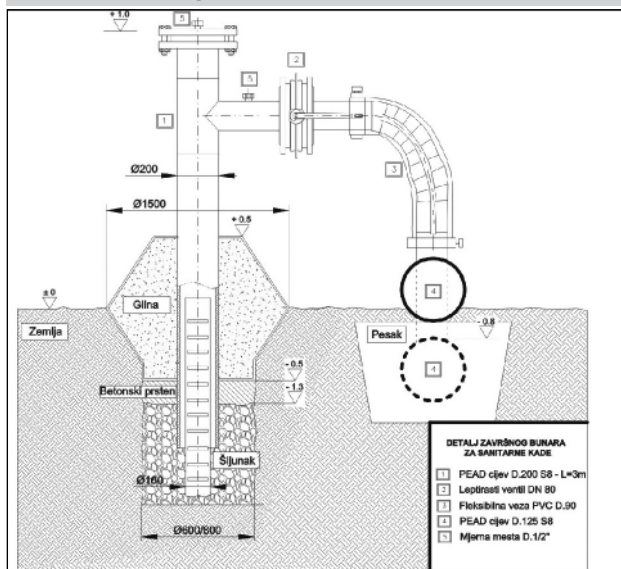
Sistem za kaptaciju biogasa predviđen projektom zasniva se prvenstveno na mreži sačinjenoj od vertikalnih ekstrakcionih bunara koji se u toku popunjavanja deponije prave po principu uzdizanja.

Sistem omogućava da se izvrši kaptacija deponijskog gasa i na deponijama u fazi popunjavanja. Hermetički zatvorena okna onemogućavaju isparavanje gasa, smanjujući neprijatne mirise. Pored toga vršeći kaptaciju sa podpritiskom, ne rizikuje se aspiracija vazduha u linijama. Robustnost okna smanjuje

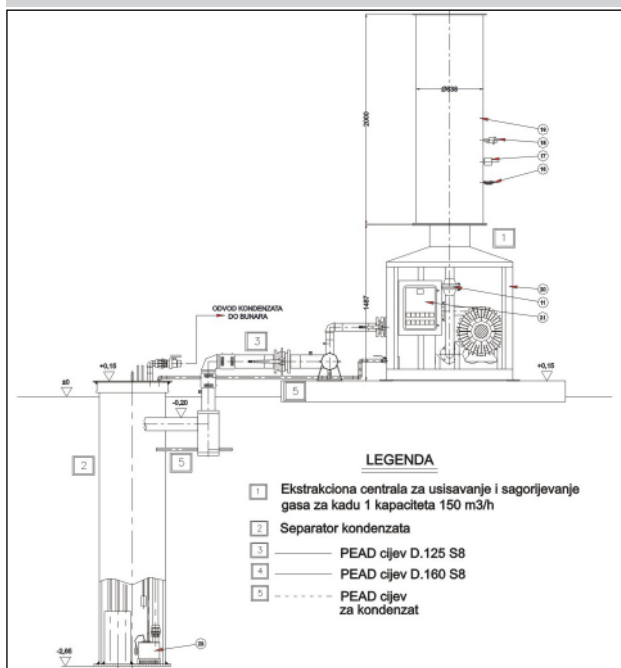
Slika 4. Poprečni presek kroz sanitarne kade



Slika 5 Završna glava bunara



Slika 6 Ekstrakciona centrala



nezaobilazna oštećenja izazvana tokom operacije deponovanja otpada. Odlaganje otpada se vrši u slojevima uz visoko kompaktiranje, kako bi se garantovala stabilnost deponije i omogućila konačna rekonstrukcija zone. Nakon sabijanja svaki sloj otpada ima visinu od oko 3 metra i realizuje se tek nakon završetka donjeg sloja. Svaki sloj otpada se prekriva slojem poroznog materijala – šljunka debljine 25 – 35 cm koji omogućava transport gasa do ekstrakcionog bunara.

Određujući faktor prilikom dimenzionisanja kaptacione mreže koja je organizovana na vertikalnim elementima je „radijus uticaja“. Radijus uticaja je rastojanje u kome bunar, pomoću primenjenog podpritiska, zadržava sposobnost da efikasno razvija

sopstveno delovanje. Projekat kaptacione mreže predviđa kompletno pokrivanje površine deponije sa radijusima uticaja od oko 25 metara.

Za svaku parcelu postoji po 21 ekstrakcioni bunar raspoređen u tri trase (slika 4). Pored toga, u cilju obuhvatanja kompletne deponije, nakon spajanja parcela najverovatnije će se duž trase koja razdvaja parcele 1 i 2, i parcele 2 i 3, izvršiti dodavanje još jedne linije ekstrakcionih bunara.

Transportna mreža

Mreža za transport deponijskog gasa, počinje sa glave bunara i omogućava usmeravanje gasa koji je ekstrahovan iz kaptacionih elemenata – 21 bunar, prema ekstrakcionoj centrali (EC).

Mreža za transport biogasa je podijeljena na primarnu liniju, sekundarnu liniju i pomoćne linije za odvod kondenzata. Čitava transportna mreža za biogas napravljena je od PEAD materijala u skladu sa važećim

evropskim normativima.

U konačnoj konfiguraciji 21 kaptacioni bunar u kadu 1, podeljen je u tri grupe sa po sedam bunara, koje su numerički skoro jednake, i povezane su preko sekundarnih i primarnih linija i odgovarajućih spojnih elemenata i elemenata za zatvaranje gasa, koji ujedno služe za regulaciju protoka gasa, na kolektorsko-serijski cevovod koji transportuje gas do ekstrakcione centrale i dalje do uređaja za tretman gasa. Prilikom dimenzionisanja objekta uzet je u obzir maksimalni protok koji se može kaptirati i koji se može očekivati u budućnosti. Protok je zatim uvećan sigurnosnim faktorom od 1,5.

Ogranci transportne mreže deponijskog gasa spajaju se u kolektoru ispred ulaza u ekstrakcionu centralu (EC-COMECE

150), koja je postavljena u neposrednoj blizini vještačkog obodnog nasipa koji okružuje sanitarne kade.

Obzirom na malu količinu deponijskog gasa, koja se kaptira sa sanitarne kade 1, u I fazi je predviđeno da se vrši samo sagorevanje gasa na visokotemperaturskoj baklji sa slobodnim plamenom temperature do 950 °C. Deponijski gas koji treba da sagori stiže do baklje iz ekstrakcione centrale preko provodnika sa nizom mlaznica. Primarni vazduh za sagorevanje usisava se preko difuzora koji ima automatski sistem za regulisanje količine usisanog vazduha.

Zaključak

Deponija “Livade” u Podgorici je jedina operativna sanitarna deponija u Crnoj Gori. Izgradnja deponije je započeta 2006 godine iskopavanjem prve parcele. Na deponiji je predviđen i sistem za kaptaciju deponijskog gasa.

Glavna komponenta deponijskog gasa je metan (40-60%) koji se po direktivi IPPC smatra zagađivačem koji globalnom zagreivanju doprinosi 21 puta više od ugljendioksida. Zbog toga je važno smanjiti emisiju metana sa deponija komunalnog otpada. Ovo može biti urađeno ili direktnim spaljivanjem na baklji kao što je ovde slučaj ili se čak deponijski gas može iskoristiti kao pogonsko gorivo u gasnim motorima sa unutrašnjim sagorevanjem ili kotlovima radi proizvodnje električne i/ili toplotne energije.

Tretman deponijskog gasa u svakom slučaju doprinosi održivom razvoju na sledeći način:

- značajni ekološki doprinosi vezani sa smanjenjem emisije metana u atmosferu a time i efekta staklene bašte;
- smanjenje mogućih zdravstvenih rizika uništavanjem većine nemetanskih organskih komponenti i štetnih zagađivača vazduha koji doprinose pojavi smoga u lokalnoj zoni;
- poboljšanje ekoloških uslova na deponiji (ograničavanje neprijatnog mirisa sa deponije);
- smanjenje opasnosti od eksplozije uzrokovanih akumulacijom deponijskog gasa;
- promovisanje obnovljivih izvora energije i uvođenje čistih i efikasnih tehnologija.

Literatura

- [1] Dragović B: “Projekat Sistema za Kaptaciju Deponijskog Gasa na Gradskoj Deponiji Livade

- u Podgorici”, *Green House Podgorica, Jun 2008.*
- [2] Martin Bogner: “Termotehničar”, *Tom 2, Građevinska Knjiga, Beograd 2005.*
- [3] UK Environment Agency: “Guidance on the Management of Landfill Gas”, *September 2004.*
- [4] Robert C. Williams: “Landfill Gas Primer”, *Agency for Toxic Substances and Disease Registry, November 2001.*
- [5] Nadim K. Copty at all: “Stochastic Model for Landfill Gas Transport and Energy Recovery”, *Journal of Environmental Engineering, ASCE, Septembar 2004, pp 1042-1049.*
- [6] Bestamin Ozkaya at all: “Investigation of Leachate Recirculation Effects in Istanbul Odayeri Sanitary Landfill”, *Journal of Environmental Science and Helth, Vol. A39, No 4, 2004, pp 873-883.*
- [7] Deniz Dolgen at all: “Energy Potential of Municipal Solid Wastes”, *Energy Sources, Taylor and Francis, 2005, pp 1483-1492.*
- [8] Rasool B. Mahar at all: “Landfilling of Pretreated Municipal Solid Waste by Natural Convection of Air and its Effects”, *Journal of Environmental Science and Helth, Vol. A42, 2007, pp 351-359.*
- [9] Melissa Weitz at all: “Estimating National Landfill Methane Emissions: An Application of the 2006 Intergovernmental Panel on Climate Change Waste Model in Panama”, *Journal of the Air & Waste Management Association, Vol. 58, May 2008, pp 636-640.*
- [10] Chiemchaisri C., Visvanathan C.: “Greenhouse Gas Emission Potential of the Municipal Solid Waste Disposal Sites in Thailand”, *Journal of the Air & Waste Management Association, Vol. 58, May 2008, pp 629-635.*
- [11] Christopher Eden: “Combined Landfill Gas and Leachate Extraction Systems”, *Technical guidance note CPE07/94, UKPS Ltd, University of Warwick Science Park, Coventry.*
- [12] Townsend G.T. at all: “One-Dimensional Gas Flow Model for Horizontal Gas Collection Systems at Municipal Solid Waste Landfills”, *Journal of Environmental Engineering, ASCE, December 2005, pp 1716-1723.*
- [13] Shelley M.L. at all: “Dynamic Simulation of Landfill Waste Stabilization”, *Journal of Environmental Engineering, ASCE, December 2001, pp 1100-1110.*
- [14] Borglin E. Sharon at all: “Comparasion of Aerobic and Anaerobic Biotreatment of Minicipal Solid Waste”, *Journal of the Air & Waste Management Association, Vol. 54, July 2004, pp 815-822.*
- [15] Perera M.D.N at all: “A Mathematical Modeling Approach to Improve the Point Estimation of Landfill Gas Surface Emissions Using the Flux Chamber Technique”, *Journal of Environmental Engineering Science, Vol. 1, 2002 NRC Canada, pp 451-463.*
- [16] Seneveriatha D.G.M. at all: “A Laboratory Evaulation of Errors Associated with the Determination of Landfill Gas Emissions”, *Journal of CivilEngineering, Vol. 33, 2006 NRC Canada, pp 240-244.*
- [17] Lars Mikkell Johannessen: “Guidance Note on Recuperation of Landfill Gas from Municipal Solid Waste Landfills”, *The International Bank for Reconstruction and Development, 1999.*
- [18] UK Environment Agency: “Guidance on Landfill Gas Flaring”, *November 2002.*
- [19] US EPA: “Turning a Liability into an Asset: A Landfill Gas-to-Energy Project Development Handbook”, *September 1996.*
- [20] US EPA: “Landfill Gas Emissions Model (LandGEM) Version 3.02 User’s Guide”, *May 2005.*

Održivost i efikasnost proizvodnog sistema MH ERS

Opšti podaci

Mješoviti Holding Elektroprivreda Republike Srpske u svom sastavu ima pet proizvodnih i dva distributivna preduzeća koja se bave proizvodnjom električne energije. U proizvodnom sistemu MH ERS participiraju dvije termoelektre, dvije protočne hidroelektre, jedna akumulaciona hidroelektrana i pet malih hidroelektre koje su priključene na distributivnu mrežu.

Proizvodni objekti, sa svojim sjedištima, su raspoređeni na teritoriji RS, dok se jedan agregat sistema hidroelektre na Trebišnjici nalazi van granica, tj. u susjednoj Republici Hrvatskoj.

Prioritetna obaveza elektroenergetskog sistema RS je da obezbijedi stabilno snabdijevanje domaćeg konzuma električnom energijom, što u nekim uslovima nije nimalo jednostavno, jer na to utiče mnogo faktora.

U ovom radu ćemo se baviti sadašnjim stanjem tj. posmatraćemo samo jedan agregat HE Dubrovnik u sastavu proizvodnog sistema MH ERS.

Instalisana snaga proizvodnog sistema ERS-a na pragu elektrana je 1325,9 MW, od kojih je 600 MW instalisana snaga na generatoru termoelektre, 704 MW instalisana snaga hidroelektre, a 21,9 MW distributivnih hidroelektre.

Planiranje proizvodnje električne energije i upravljanje elektroenergetskim sistemom RS je vrlo kompleksan zadatak. Potrebno je realno sagledati mogućnosti i potrebe proizvodnih objekata pojedinačno, objediniti ih u proizvodnu cjelinu, a onda na adekvatan način ispuniti obavezu snabdijevanja konzuma i balansiranja EE sistema.

Rezime

U cilju sigurnog snabdijevanja potrošača električnom energijom, kao i plasmana viškova na tržište, neophodno je ostvariti efikasan i stabilan proizvodni sistem.

Stabilan proizvodni sistem MH ERS je jedan od osnovnih faktora stabilnog ekonomskog i privrednog razvoja Republike Srpske.

Planiranje proizvodnje električne energije i upravljanje elektroenergetskim sistemom Republike Srpske je vrlo kompleksno, jer sadrži niz prirodnih, tehničkih i ekonomskih faktora. Samo međusobna usklađenost svih faktora obezbijediće održiv proizvodni sistem, a praćenje parametara tehničke efikasnosti ukazaće na pravce djelovanja u cilju unapređenja sistema.

Ključne riječi: održivost, efikasnost, proizvodni sistem, pouzdanost, stabilnost, elektroenergetski objekti.

Sustainability and Efficiency of MH ERS Power Generation System

Towards safe electricity supplying of consumers, as well as electricity surplus placement in the market, it is necessary to have realized efficient and stable power generation system. Stable power generation system of MH ERS is one of main factors for stable business and economic development in the Republic of Srpska. Electricity generation planning and power system control in the Republic of Srpska are very complex due to existence of range of natural, technical and economic factors. Only mutual compliance of all factors provides sustainable power generation system, while monitoring of technical efficiency parameters points out to direction of activities in relation to the system improvement.

Key words: sustainability, efficiency, power generation system, reliability, stability, power facilities.

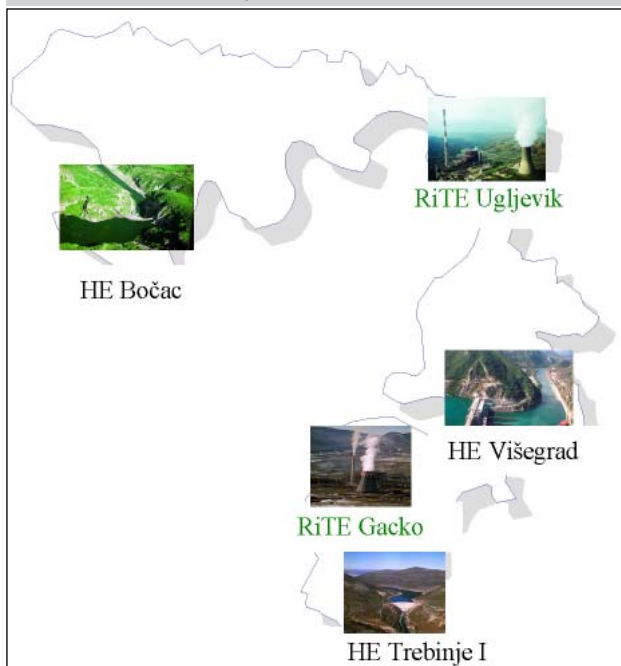
Kada se planira rad pojedinačnih proizvodnih objekata tehnički faktori (potrebe za remontima i održavanjima, snage na pragu koje je moguće ostvariti,...) se moraju uskladiti sa prirodnim faktorima (klima, hidrologija, ugalj, ...).

Da bi se obezbijedila funkcionalnost termoblokova neophodno je uraditi svake godine redovan godišnji remont, koji traje najmanje 40 dana, a svake pete godine je neophodno planirati kapitalni remont koji traje oko 90 dana. Zbog visoke nadmorske visine i kontinentalne klime, a imajući u vidu činjenicu da su

termoelektre sa po jednim agregatom, potrebno je obezbijediti prihvatljive uslove za termin izvođenja redovnog godišnjeg remonta.

Hidro-energetski objekti su na slivovima rijeka Trebišnjice, sa prosječnim dotokom na nivou godine 65 m³/s, Drine, sa prosječnim dotokom 233,44 m³/s, i Vrbasa, sa prosječnim dotokom 69,75 m³/s. Dotoci su sa najvećim vrijednostima u jesenjim i proljećnim periodima, dok ekstremno male vrijednosti imaju u ljetnom periodu. Ukupan broj agregata u hidroelektranama veće snage je 9

Slika 1 Proizvodni objekti MH ERS



(priključeni na prenosnu mrežu), a u hidroelektranama manje snage je 5 (priključeni na distributivnu mrežu). Svi agregati moraju u toku godine biti remontovani u skladu sa tehničkim uputstvima postrojenja. Pošto su dotoci na rijekama značajno mali u ljetnom periodu, potrebno je uraditi remonte hidro agregata u tom periodu, kako bi oni sa dobrom pogonskom spremnošću dočekali velike dotoke u jesenjim i proljetnim periodima. To istovremeno znači da je potrebna dobra pogonska spremnost termoelektrana u tom periodu, kako bi se dobila električna

energija neophodna za domaći konzum. Iz ovog se zaključuje da je potrebno obezbijediti s jedne strane uslove za izvođenje remontnih aktivnosti za sve agregate, zavisno od njihovih uslova za eksploataciju, a sa druge strane kontinuirano snabdijevanje domaćeg konzuma električnom energijom. Prilikom planiranja proizvodnje električne enrgije treba uzeti u obzir sve uticajne prirodne faktore, zatim realne tehničke mogućnosti svakog pojedinačno agregata, kao i potrebe usklađivanja rada sistema hidroelektrana na Trebišnjici sa elektroenergetskim sistemom Hrvatske i hidroelektrane Višegrad sa elektroenergetskim sistemom Srbije. Kao uticajni prirodni faktori uzimaju se prosječni očekivani dotoci na slivovima rijeka, koji se dobijaju iz hidroloških nizova urađenih za svaku rijeku za period od 40 godina. Ovi hidrološki nizovi se inoviraju svake pete godine kako bi očekivani dotoci bili realni. Kvalitet uglja je drugi prirodni faktor koji direktno utiče na rad elektroenergetskog sistema.

Tehničkih faktor koji utiče na stabilnost je realno ostvariva snaga na pragu elektrana za sve periode godine. Ovaj faktor je značajan za termoelektrane, a da bi se postigla realnost uzima se ostvarena prosječna maksimalna snaga na pragu u prethodnom periodu, uz pretpostavku da su svi pogonski uslovi zadovoljeni po tehničkom i tehnološkom propisu.

Kada se formira dijagram mogućnosti ostvarenja snage, odnosno proizvodnje električne energije po agregatima za sve periode godine, onda se on upoređuje sa već isplaniranim potrebnim količinama električne energije za potrošnju na domaćem tržištu.

Poređenjem ova dva dijagrama mogu nastupiti tri slučaja i to:

1. Planirana proizvodnja električne energije odgovara dijagramu potrošnje za sve periode godine, čak i u periodu kada je veliki broj agregata u remontnom stanju. Domaći konzum je zadovoljen zahvaljujući pogonski spremnim agregatima, a planirani obim proizvodnje je veći od planirane potrošnje.
2. U periodima kad su zadovoljeni uslovi za izvođenje remonata na postrojenjima hidroelektrana i kada se očekuju mali dotoci, planirana proizvodnja električne energije ne odgovara dijagramu potrošnje.
3. Planirana proizvodnja električne energije zadovoljava dijagram planirane potrošnje u svim periodima godine, ali su planirana proizvodnja i planirana potrošnja iste. Ovaj slučaj se još nije potvrdio u praksi, ali je moguć ukoliko se razvoj i

Tabela 1 Hidroenergetski objekti MH ERS

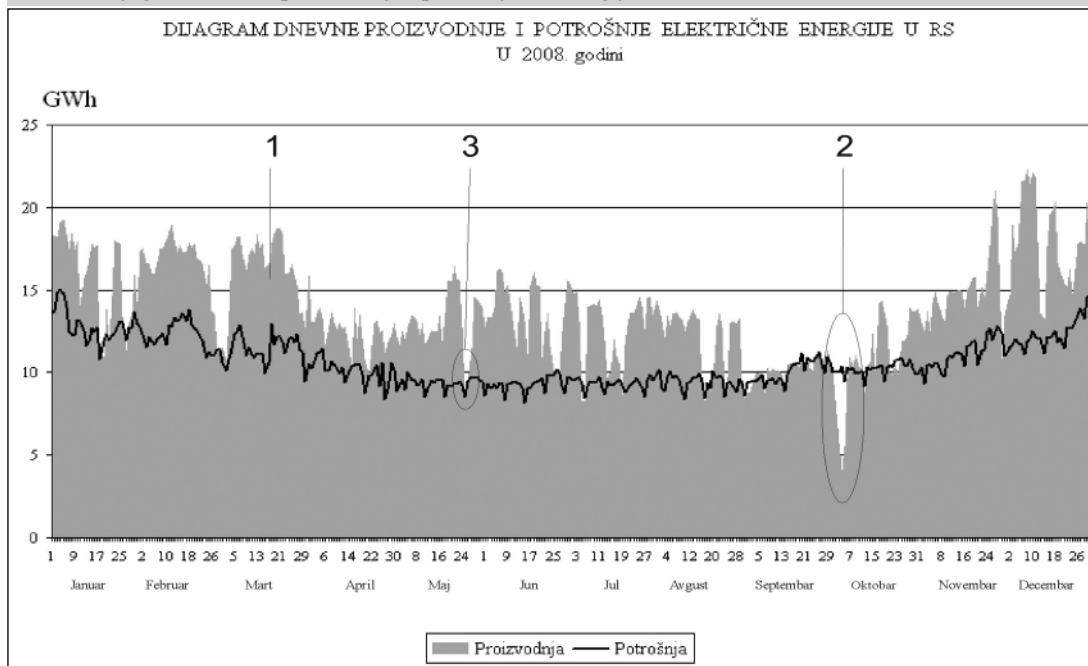
Naziv elektrane	Puštena u pogon	Tip turbine	Korisna zapremina akumulacije	Mah bruto pad	Srednji višegodišnji protok	Srednja godišnja proizvodnja	Faktor snage	Instalisana snaga
			mil. m ³	m	m ³ /s	GWh		MW
HE Trebinje I	1968	Fransis	1100	105	61,53	390	0,9	2x54+63
HE Trebinje II	1981	Kaplan	9,3	22	74,60	5	0,8	8
HE Dubrovnik*	1965	Fransis	9,3	295	74,60	1250	0,9	2x108
HE Višegrad	1989	Fransis	101	48,16	316,7	910	0,9	3x105
HE Bočac	1981	Kaplan	43	54,13	78,4	275	0,88	2x55

* Pošto je HE Dubrovnik novembra 1994. godine jednostrano narušila tehničko-tehnološko jedinstvo sistema HET-a, priključenjem jednog agregata u elektroenergetski sistem Republike Hrvatske, to je narušen utvrđeni odnos raspodjele proizvedene električne energije 78% : 22% I faze HET-a (2 agregata HE Trebinje I + 2 agregata HE Dubrovnik). Sada se proizvedena električna energija HE Dubrovnik dijeli 50%:50%, što ne uslovljava i ni u čemu ne prejudicira buduće rješenje ovog spora.

Tabela 2 Termoeenergetski objekti MH ERS

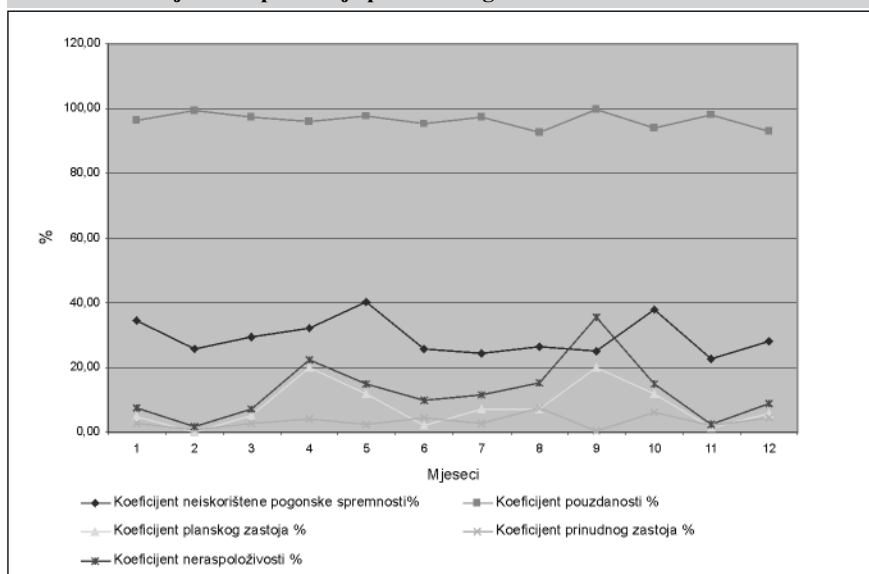
Naziv elektrane	Puštena u pogon	Broj agregata	Vrsta uglja	Specifična potrošnja toplote	Instalisana snaga na generatoru	Tehnički minimum	Raspoloživa snaga na pragu	Prosječna godišnja proizvodnja
				kJ/kWh	MW	MW	MW	GWh
TE Gacko	1983	1	lignit	11400	300	180	252	1500
TE Ugljevik	1985	1	mrki	11400	300	180	244	1450

Slika 2 Dijagram dnevne proizvodnje i potrošnje el. energije u RS u 2008.



Ostvarivanje planova proizvodnje električne energije se prati kroz svakodnevno ažuriranje podataka iz procesa proizvodnje. Obradom podataka, u skladu sa međunarodnim standardima za praćenje efikasnosti elektroenergetskih sistema, dobijaju se koeficijenti koji karakterišu stanje sistema za posmatrani period. Rezultati parametara tehničke efikasnosti proizvodnog sistema MH ERS

Slika 3 Koeficijenti eksploatacije proizvodnog sistema MH ERS



pokretanje privrede desi, a kapaciteti za proizvodnju električne energije ostanu isti.

Na dijagramu Slika 2 su označeni svi navedeni slučajevi.

Prvi slučaj nije problematičan i on je najčešća pojava u stvarnosti.

Drugi slučaj je problem kompleksne prirode i on proizvodi nestabilnost proizvodnog sistema MH ERS. Ovaj slučaj se javlja u godinama kapitalnih remonata termoblokova koji traju više od planiranog vremena. Ovaj problem treba prevazići u praksi, a to se može postići zahvaljujući strukturi proizvodnog sistema MH ERS.

Da bi se izbjegao ovaj slučaj pri planiranju proizvodnje električne energije neophodno je ispoštovati slijedeće principe:

- Remonte termoblokova planirati u različitim terminima,
- Termine za izvođenje remonata na termoblokovima međusobno ne povezivati,
- Termine za remonte termo blokova planirati tako da se dešavaju u periodima kad se očekuju najveći dotoci, pri tome vodeći računa da su temperature okoline takve da dozvoljavaju izvođenje remontnih radova,
- Kapitalne remonte za dvije termoelektre planirati u različitim godinama,
- Termin za beznaponsko stanje na sistemu hidroelektrana na Trebišnjici ne treba planirati u vrijeme remonata termoblokova i u vrijeme beznaponskog stanja HE Višegrad i HE Bočac.

za 2008. godinu, prezentovani su u Tabeli 3 i dijagramu Slike 3.

- ❖ Iz dijagrama se može zapaziti da je pouzdanost proizvodnog sistema bila vrlo visoka u toku čitave godine.
- ❖ Koeficijent pogonske spremnosti ima ekstreme koji su posljedica remonta termoblokova (u oba ekstrema izvodio se redovni godišnji remont).
- ❖ Koeficijent neiskorištene pogonske spremnosti je posljedica loše hidrologije, koja je bila u pojedinim periodima godine znatno ispod planirane.
- ❖ Koeficijent planskih zastoja je posljedica upravljanja proizvodnim sistemom, tj. planiranja zastoja zbog održavanja, jer se na ovaj način sprečavala pojava neplanskih zastoja. Ovaj koeficijent se uglavnom odnosi na termoblokovne, jer su oni pojedinačno velike snage u odnosu na čitav sistem, tako da se njihovim neplanskim zastojima znatno remeti stabilnost sistema.
- ❖ Koeficijent neplanskih zastoja je posljedica kvarova na proizvodnim objektima, od čega je 80% uticaj kvarova na termoelektre. Termoelektre su relativno starije tehnologije i specifične kotlovske konstrukcije, te se najveći broj kvarova, 72,28% od ukupnog broja kvarova, dešava na cijevnom sistemu kotla.

Zaključci

1. Iz prikazane strukture EE sistema se može zaključiti da je sistem samoodrživ i autonoman sa aspekta kvalitetnog snabdjevanja potrošača električnom energijom.
2. Optimalnim upravljanjem sistemom za proizvodnju električne energije, i

Tabela 3 Tehnička efikasnost proizvodnog sistema MH ERS za 2008. godinu

	Stanje raspoloživosti											Stanje neraspoločivosti			
	Bilansirana snaga na pragu (MW)	Provedeno vrijeme na mreži (h)	Ostvarena proizvodnja (MWh)	Ekvivalentno vrijeme rada na mreži (h)	Ostarena neto snaga (MW)	Koeficijent eksploatacije %	Koeficijent snage %	Koeficijent proizvodnje %	Koeficijent hladne rezerve %	Koeficijent neiskorištene pogonske spremnosti %	Koeficijent pogonske spremnosti %	Koeficijent pouzdanosti %	Koeficijent planskog zastoja %	Koeficijent prinudnog zastoja %	Koeficijent neraspoločivosti %
januar	1200	488,53	490.729,00	409,08	1004,50	65,66	54,98	83,74	34,34	34,34	92,44	96,24	4,68	2,77	7,56
februar	1200	517,83	423.154,69	352,75	817,18	74,40	50,68	68,12	25,60	25,60	98,27	99,26	0,00	0,74	1,73
mart	1200	525,31	498.804,39	415,81	949,54	70,61	55,89	79,15	29,39	29,39	92,77	93,27	5,01	2,23	7,23
april	964	489,71	365.764,42	304,91	746,90	68,01	42,35	62,26	31,99	31,99	77,56	95,97	20,00	4,03	22,44
maj	1200	445,82	398.311,22	332,04	893,44	59,92	44,63	74,48	40,08	40,08	85,25	97,53	11,69	2,47	14,76
jun	1200	536,02	342.768,53	285,74	639,47	74,45	39,69	53,31	25,55	25,55	90,21	95,49	2,00	4,51	9,79
jul	1200	561,77	395.027,00	329,30	703,19	75,51	44,26	58,62	24,49	24,49	88,64	97,29	7,26	2,65	11,36
avgust	1200	548,36	370.029,00	308,46	674,79	73,70	41,46	56,25	26,30	26,30	84,83	92,56	7,18	7,44	15,17
septembar	948	540,28	304.194,44	321,02	563,03	75,04	44,59	59,42	24,96	24,96	64,60	99,76	20,00	0,24	35,40
oktobar	1200	463,24	333.742,58	278,21	720,45	62,26	37,39	60,06	37,74	37,74	85,00	93,85	11,85	6,15	15,00
novembar	1200	556,80	444.090,71	370,20	797,57	77,33	51,42	66,49	22,67	22,67	97,60	98,07	1,28	1,93	2,40
decembar	1200	536,37	551.118,00	459,42	1027,50	72,09	61,75	85,65	27,91	27,91	95,39	92,97	5,83	4,26	8,74

racionalnim korišćenjem raspoloživih resursa, pored obezbeđivanja energije za domaći konzum, može se ostvariti višak električne energije koji se prodaje na tržištu električne energije.

3. Sistem za proizvodnju električne energije je osnova elektroenergetskog sistema RS, gdje svojom stabilnošću daje stabilnost elektroprivrede, samim tim jedan je od osnovnih faktora za stabilan energetska i privredni razvoj RS.
4. Stabilnost EE sistema se obezbeđuje stabilnim radom proizvodnih objekata. U slučaju izdvajanja bilo kog objekta iz sistema, neophodno je njegovu bilansiranu energiju nadoknaditi novim instalisanim objektom.
5. Planske zastoje pojedinih objekata neophodno je uskladiti sa klimatskim uslovima, tehničkim mogućnostima i najoptimalnijom varijantom sa aspekta upravljanja sistemom, u odnosu na vremenske prilike i domaći konzum.
6. Pri planiranju proizvodnje električne energije u proizvodnom sistemu ERS moraju se uzeti u obzir faktori koji karakterišu taj proces kao što su: prirodni, tehnički, ekonomski i politički.
7. Kapaciteti termoblokova za proizvodnju električne energije moraju biti toliki da u periodu očekivane loše hidrologije obezbede stabilnost elektroenergetskog sistema i kvalitetno snabijevanje planiranih potrošača.
8. Na efikasnost sistema direktno utiču prenosni kapaciteti, distributivni gubici i realno planiranje količina električne energije potrebnih za domaći konzum.
9. Izgradnjom objekata za proizvodnju električne energije iz obnovljivih izvora, promjenila bi se struktura proizvodnih objekata u proizvodnom sistemu, a samim tim učvrstila stabilnost i održivost elektroenergetskog sistema RS.

Literatura

- [1] Tehnička dokumentacija ERS-a
- [2] Periodični izvještaji ERS-a
- [3] ANSI/IEEE Standard 762 USE IN REPORTING ELECTRIC POWER GENERATING UNIT REALY ABILITY, Aviability and Productivity – New York, December 1980.

Pavle A. Hadžić, Miroslav R. Radosavljević

Institut Goša, Beograd, Srbija

Dragoslava D. Stojilković, Vladimir V. Jovanović, Nebojša G. Manić

Mašinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd, Srbija

UDC: 662.756.3.001

Pilot postrojenje za konverziju otpadnog biljnog ulja u biodizel

Abstract

The construction of pilot plant (200 dm³) for conversion of waste vegetable oil (WVO) into biodiesel is described. The proposed reactor design is simple and provide for straightforward manipulation and control of conversion process.

Plant (processor and equipment) is designed to cover the different methods for biodiesel production that are already affirmed in practice. Plant concept can be adapted to various capacities. Designed plant is suitable for transesterification of wvo at room or elevated temperature, for precise glycerin separation, for recuperation of excess methanol as well as for effective washing of crude biodiesel and good gravitational water separation.

Designed plant is intended for small scale producers of biodiesel and for research purposes.

Key words: Biodiesel, waste vegetable oil, transesterification, biodiesel reactor.

Ključne reči: Biodizel, otpadno biljno ulje, transesterifikacija, biodizel reaktor.

1. Uvod

Najveći deo svetskih energetskih potreba se danas zadovoljava iz fosilnih goriva (nafte, uglja i prirodnog gasa), a manji deo iz hidroenergetskih postrojenja i nuklearnih elektrana. Rezerve fosilnih goriva će neminovno biti iscrpene, iako se, zahvaljujući razvoju novih tehnologija, krajnji rok korišćenja fosilnih goriva stalno produžava.

S obzirom da su potrebe savremenog saobraćaja za prevoz putnika i robe zasnovane na dizel gorivu, čija raspoloživost se smanjuje sa iscrpljivanjem rezervi nafte, sve više dolazi do izražaja potreba za razvojem novih vrsta goriva za dizel motore.

Ta nova vrsta goriva bi morala da bude po ceni prihvatljiva i konkurentna cenama dizel goriva, da bude manje štetna po životnu sredinu i da bude lako dostupna, odnosno da tehnologija za proizvodnju goriva bude relativno jednostavna.

Jedna od perspektiva za pozitivno rešenje ovih zahteva je korišćenje biljnih ulja, ili proizvoda jednostavne hemijske transformacije sirovih biljnih ulja, koje bi u motorima sa unutrašnjim sagorevanjem moglo da zameni dizel gorivo.

Goriva dobijena preradom biljnih ulja (procesom transesterifikacije) su tzv. metilestri masnih kiselina za koje je opšte prihvaćen naziv biodizel.

Istorijski gledano, korišćenje biljnih ulja za pogon dizel motora nije novo. Prvi model dizel motora koji je kao gorivo koristio biljno ulje je prikazan još na Svetskoj izložbi u Parizu 1900 godine. Govoreći o mogućnosti korišćenja biljnih ulja kao goriva, Rudolf Dizel je 1912 godine izneo neverovatno tačno pretskazanje: „Činjenica da masna ulja biljnog porekla mogu da posluže kao

Ovaj rad je podržan od strane Ministarstva nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije ugovorom br. TP – 18009

energija

dobra motorna goriva možda se ne čini od važnosti, ali se tokom godina može pokazati da su od jednake važnosti kao mineralna ulja danas“ [1].

Predmet ovog rada je konstrukcija pilot postrojenja koje se sastoji od šaržnog reaktora malog kapaciteta (200 dm³) za preradu biljnog ulja u biodizel, kao i pripadajuće opreme za prečišćavanje sirovog biodizela u biodizel odgovarajućeg kvaliteta za korišćenje u motorima sa unutrašnjim sagorevanjem.

2. Biodizel, tehnološke osnove dobijanja

Sirova biljna ulja nisu pogodna za direktnu upotrebu u motorima SUS.

Problemi pri korišćenju sirovih biljnih ulja kao goriva se ogledaju uglavnom u stvaranju smolastih naslaga na brizgaljkama pri ubrizgavanju goriva u cilindre, nepotpunom isparavanju u cilindru, stvaranju taloga ugljenika zbog nepotpunog sagorevanja, slepljivanju klipnih prstenova i drugo.

Biodizel je gorivo dobijeno iz biljnih ulja, koje po hemijskoj strukturi predstavlja smesu alkil estara viših masnih kiselina sa monohidroksilnim alkoholima i namenjeno je za korišćenje u dizel motorima bez prepravki samog motora.

Proces dobijanja biodizela iz biljnih ulja (po sastavu trigliceridi viših masnih kiselina) obuhvata transesterifikaciju alkoholima kratkog niza (uglavnom metanol, etanol ili izopropanol), pri čemu se kao krajnji proizvod dobijaju metil estri masnih kiselina koji su po karakteristikama veoma slični konvencionalnom dizel gorivu.

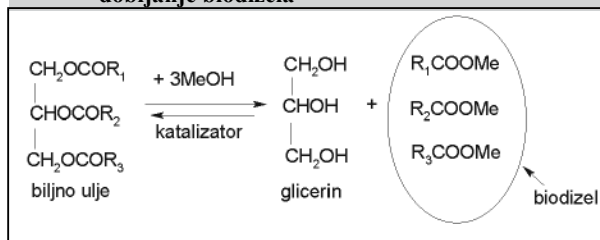
Proces transesterifikacije triglicerida alkoholima je reverzibilan hemijski proces i prinos proizvoda zavisi od više faktora. Faktori koji određuju uspešnost (prinos) procesa transesterifikacije su u prvom redu odnos količina upotrebljenih reaktanata (odnos biljno ulje: alkohol), temperatura procesa, vremensko trajanje procesa, vrsta i količina katalizatora, valjanost kontakta reaktanata tokom reakcije (način mešanja reakcione smeše), mogućnost uklanjanja pojedinih proizvoda reakcije tokom samog procesa, i drugi.

Radi potpunijeg definisanja uslova kojima treba da odgovara uspešan model konverzionog pilot postrojenja, biće detaljnije razmotreni faktori od kojih zavisi stepen konverzije biljnog ulja u biodizel koji ujedno određuju konstrukciju reaktora:

2.1. Transesterifikacija

Transesterifikacija ili alkoholiza biljnih ulja je zamena trohidroksilnog alkohola

Slika 1 Opšta shema reakcije metanolize biljnog ulja za dobijanje biodizela



(glicerina) monohidroksilnim. Ako je alkohol upotrebljen u reakciji metanol, reakcija se naziva metanoliza [2]. Opšta shema reakcije metanolize biljnih ulja i nastajanje biodizela je predstavljena na Slika 1.

Transesterifikacija je povratan hemijski proces i odvija se već pri mešanju reaktanata (biljnog ulja i alkohola).

Ipak, brzina transesterifikacije bez prisustva kiselina ili baza kao katalizatora je veoma mala.

2.1.1. Uticaj slobodnih masnih kiselina i vlage

Količina slobodnih masnih kiselina (SMK) i vlažnost ulja su ključni parametri pri određivanju metoda izvodjenja reakcije transesterifikacije.

Ma i saradnici [3] su proučavali reakciju transesterifikacije govedje masti. Prema rezultatima istraživanja, sadržaj 0.6% SMK u polaznom materijalu smanjuje prinos metil estara na samo 5%; sadržaj 0.9% vode u polaznom materijalu bez slobodnih masnih kiselina snižava prinos estara na 17%. Autori savetuju da polazni materijal u slučaju prisustva znatnijih količina slobodnih masnih kiselina mora prethodno biti rafinisan odvajanjem SMK u obliku natrijumovih soli (sapuna).

Polazna sirovina za alkalnu transesterifikaciju mora imati nizak kiselinski broj (koji je mera količine SMK) i biti suv. Dodavanjem većih količina natrijumhidroksida kao katalizatora može u izvesnoj meri da kompenzuje višak SMK, ali nastali sapuni (natrijumove soli masnih kiselina) usporavaju reakciju time što stvaraju gelove i otežavaju izdvajanje glicerina [4]. Praktično prihvaćena granica za primenu bazno katalizovane reakcije transesterifikacije je sadržaj do 3% slobodnih masnih kiselina [5].

Postoji, međutim, velika sirovinska baza jeftinih biljnih ulja iz prehrambene industrije sa velikim sadržajem SMK. Ovakve sirovine se ne mogu ekonomično prevesti u biodizel alkalno katalizovanim procesom; za preradu takvih sirovina je primenljiv postupak u dva sintetička koraka. U prvom koraku se slobodne masne kiseline uz dodatak

metanola prevode u metil estre uz kiseli katalizator (najčešće sumporna kiselina), pri čemu reaguju samo slobodne kiseline, a gliceridi ostaju neizmenjeni. U drugom koraku se vrši alkalna transesterifikacija glicerida, pri čemu

ranije nastali metil estri ostaju neizmenjeni. Proučavane su reakcije transesterifikacije polazne sirovine sa velikim sadržajem SMK u dva sintetička koraka, pri čemu su varirani molski odnosi ulja i alkohola, količina katalizatora i vreme reakcije. Rezultati istraživanja pokazuju da pomenutom strategijom transesterifikacije u dva koraka, pri čemu se kiselina transesterifikacija izvodi dva puta zaredom, polazni materijal sa 40% SMK može biti preveden u metilestre sa sadržajem SMK manjim od 1% [6].

U pogledu vlažnosti polazne sirovine, tehnologije za sušenje polazne sirovine se u praksi zasnivaju na višesatnom zagrevanju sirovine na temperaturu 110-120 °C, pri čemu voda isparava i vlaga se time dovodi u prihvatljive granice. Ovakav postupak je jednostavan za praktično izvodjenje, ali je energetski zahtevan.

Korišćenje jestivih biljnih ulja za proizvodnju biodizela, koje je po tehnologiji najjednostavnije, izaziva moralne dileme u pogledu odnosa količina jestivog biljnog ulja namenjenih za ishranu stanovništva i količina koje se preraduju u biodizel. Upotreba izradjenih biljnih ulja, većinom otpadnog ulja iz prehrambene industrije, ne izaziva ove dileme, ali je složenije zbog prisustva slobodnih masnih kiselina (SMK), vode i drugih materija (smola) pomeklom od hrane pripremane u ulju.

Najveće količine biodizela se danas, ipak, proizvode reakcijom u jednom sintetskom koraku od sirovih jestivih biljnih ulja upotrebom metanola uz alkalni katalizator, najčešće natrijum hidroksid.

2.1.2 Vrste katalizatora i količina katalizatora

Homogeni katalizatori koji se koriste u procesu transesterifikacije mogu biti i kiseline i baze. Najšćci kiseli katalizatori su sumporna, fosforna i hlorovodonična kiselina ili sulfonske kiseline i koriste se sa sirovinom koja ima veći sadržaj SMK.

Kiselo katalizovana transesterifikacija otpadnog biljnog ulja je proučavana sa više koncentracija hlorovodonične

energija

kiseline (0.5-2.25 M HCl uz 100 % molski višak metanola) i rezultati su upoređeni sa 2.25 M H₂SO₄ kao katalizatorom, pri čemu se sumporna kiselina pokazala kao bolji katalizator [7].

Od baznih katalizatora se najčešće koriste natrijum hidroksid, natrijum metoksid i kalijum hidroksid. Čini se da je najdelotvornija koncentracija baznih katalizatora 0.3-2 masenih (m/m) % prema polaznom ulju [3], pri čemu je natrijum hidroksid bolji u odnosu na natrijum metoksid. Optimalna koncentracija natrijum hidroksida kao katalizatora za konverziju sojinog ulja u biodizel je prema istraživanju domaćih autora bila 1 % [8].

2.1.3. Molski odnos reaktanata

Reakcija transesterifikacije zahteva tri mola alkohola na jedan mol ulja ili masti. Transesterifikacija je ravnotežni proces i svaki višak alkohola povećava prinos biodizela. Višak alkohola tokom reakcije ne utiče na kiselinski, peroksidni, saponifikacioni i jodni broj dobijenog biodizela. Međutim, jako visoki molski odnosi alkohola prema polaznom biljnom ulju tokom reakcije ometaju dobro odvajanje glicerina tako što povećavaju rastvorljivost glicerina u biodizelu. Sadržaj glicerina u biodizelu je propisan standardom EN 14214.

Najčešće preporučeni molski odnos metanola prema polaznom biljnom ulju je do 6:1 [8].

2.1.4. Trajanje reakcije i temperatura

Stepen konverzije biljnog ulja u biodizel je proporcionalan vremenu reakcije. Uz prisustvo katalizatora reakcija se odvija brzo na početku: suncokretovo i sojino ulje pri odnosu metanol-ulje 6:1 na 80°C uz 0.5 % natrijum hidroksida kao katalizatora bivaju 80% prevedeni u metilestre u toku 1 minuta od početka reakcije, ali tek posle 1 sat se prinos penje na 93-98% [4].

Temperatura utiče na brzinu uspostavljanja ravnoteže i prinos. Uz natrijum hidroksid kao katalizator i molski odnos metanol-ulje 6:1 na temperaturama 60°C, 45°C i 32°C prinosi u reakciji su bili 94%, 87% i 64% respektivno [3]. U praksi, temperatura od 60°C je najčešće prihvaćena.

2.1.5. Intenzitet mešanja reakcione smeše

Ulja se na sobnoj temperaturi ne mešaju sa rastvorom natrijum hidroksida. Stoga je mehaničko mešanje reakcione smeše tokom reakcije od velike važnosti. Rezultati istraživanja pokazuju da brzina mešanja reakcione smeše (brzina

rotacije lopatice kod propellerskih mešalica) ne utiče značajno na reakciju transesterifikacije. Bez mešanja reakcija transesterifikacije se ne odvija, ali ako se reakciona smeša meša, tada se brzina mešanja ne odražava na brzinu postizanja ravnoteže. Moguće je da bi brzina mešanja bila od značaja za odvijanje reakcije transesterifikacije samo pri veoma malim brzinama mešanja.

2.2. Prečišćavanje sirovog biodizela

Reakciona smeša se posle konverzije triglicerida u metil estre (biodizel) sastoji uglavnom od polaznih glicerida (u zanemarljivoj količini ako je proces dobro vodjen), nastalog sirovog biodizela, viška metanola rasporedjenog i u glicerinskoj fazi i u biodizelu, izdvojenog slobodnog glicerina, katalizatora rastvorenog većinom u glicerinskoj fazi i, eventualno, sapuna. Glicerinska faza se po prestanku mešanja reakcione smeše gravitaciono izdvaja na dnu reaktora i odvaja se mehanički, a ostale komponente se od biodizela odvajaju ispiranjem.

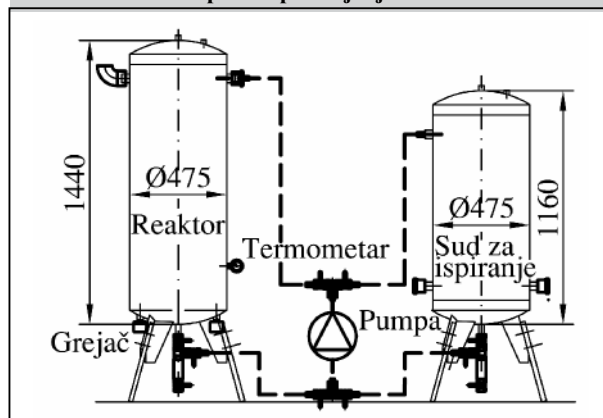
Ispiranje biodizela se vrši vodom ili vodom sa rastvorenim sredstvom za neutralizaciju katalizatora različitim tehnikama: dovodjenjem vode odozgo kroz mlaznice, uduvanjem vazduha odozdo kroz vodenu fazu (*bubble washing*), ili drugačije.

3. Osobine postrojenja

Imajući u vidu tehnološke zahteve koji su ukratko izloženi, projektovano postrojenje treba da obezbedi:

1. Mogućnost izvodjenja konverzije polazne sirovine koja sadrži male (3% <) ili veće (>3%) količine SMK
2. Mogućnost izvodjenja reakcije u jednom ili više koraka
3. Mogućnost primene kiselih i/ili baznih katalizatora
4. Trajanje procesa po volji
5. Mogućnost izvodjenja konverzije na različitim temperaturama
6. Dovoljno mešanje reakcione smeše tokom konverzije
7. Dobro odvajanje glicerinske faze po završetku konverzije ili odvajanje glicerinske faze u više navrata tokom samog trajanja konverzije
8. Dobro odvajanje vode od ispiranja sirovog biodizela

Slika 2 Shematski prikaz postrojenja

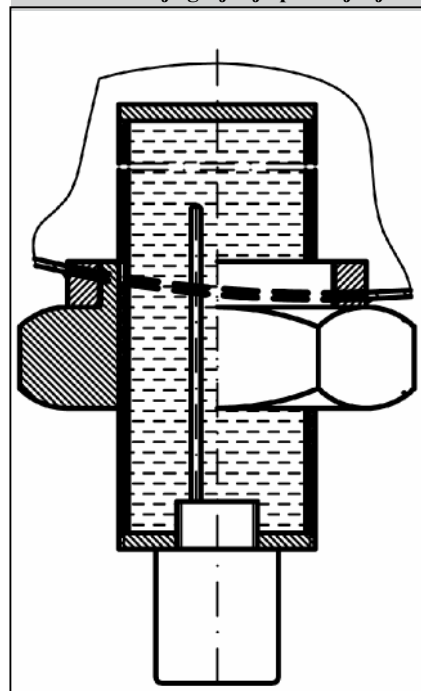


9. Uklanjanje alkohola koji je eventualno zaostao u biodizelu posle prečišćavanja
10. Jednostavan transport polazne sirovine i poluproizvoda medju pojedinim komponentama postrojenja
11. Prihvatljivu cenu postrojenja koja će odgovarati elementima koje postrojenje obezbedjuje

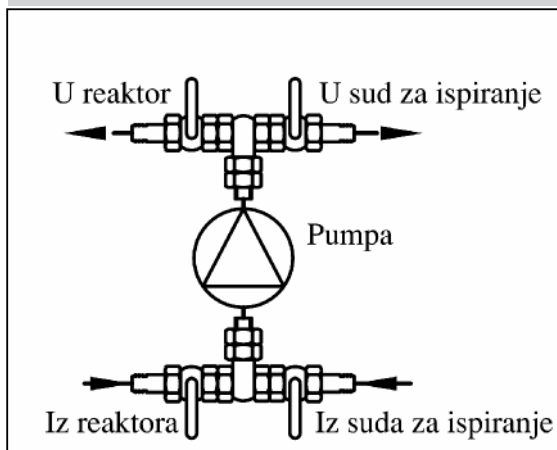
Projektovano postrojenje sastoji se od reaktora zapremine 200 dm³, sistema za mešanje i transport sirovine tokom reakcije, sistema termoregulacije i očitavanja temperature reakcije, kao i suda za prečišćavanje sirovog biodizela zapremine 160 dm³. Shematski prikaz postrojenja je dat na Slici 2.

Reaktor i sud za prečišćavanje biodizela su izradjeni od čelika Č 4580. Reaktor se puni reaktantima (sirovo ili otpadno biljno ulje i katalizator rastvoren u metanolu) ručno odozgo kroz odgovarajuće otvore.

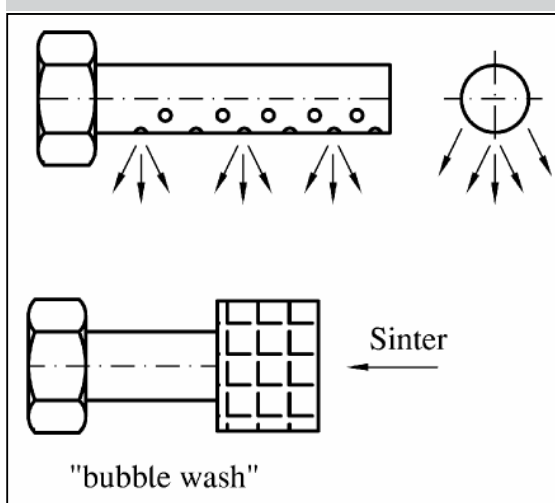
Slika 3 Rešenje grejanja postrojenja



Slika 4 Rešenje pumpnog razvoda za manipulaciju, mešanje i pranje međuproizvoda



Slika 5 Mogućnosti za ispiranje sirovog biodizela

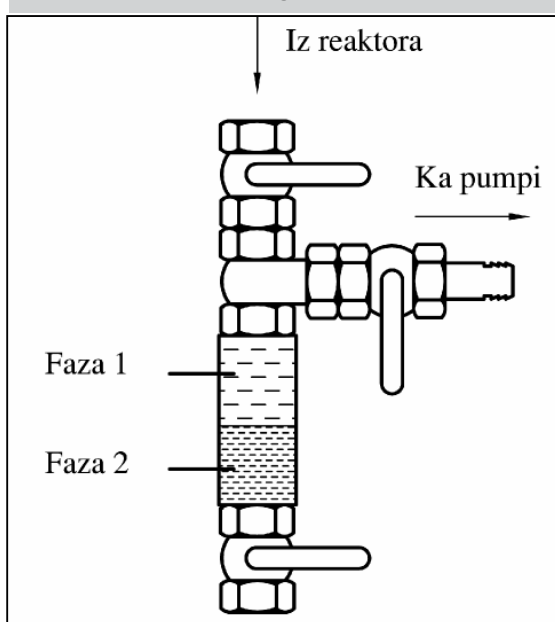


Reaktor je snabdeven komercijalnim električnim grejačima (2 x 1,5 kW) koji su instalirani u reaktor u posebnim instalacionim cevima napunjenim

odozdo u vodenu fazu, *Slika 5*.

Veoma precizno odvajanje glicerinske faze u reaktoru, kao i odvajanje vode posle ispiranja sirovog biodizela u sudu za ispiranja je omogućeno sistemom

Slika 6 Sistem nivokaznog stakla



vođom (*Slika 3*), što omogućuje bezbedno zagrevanje reakcione smeše na temperature do 70 °C tokom celog trajanja procesa. Sistem grejanja reaktora takodje omogućuje izdvajanje metanola iz biodizela destilacijom metanola iz reaktora.

Stabilnost temperature tokom reakcije se obezbeđuje termostatima ugradjenim u grejače i vizuelno se kontroliše termometrom na bočnoj strani reaktora.

Mešanje reakcione smeše se odvija preko standardne električne centrifugalne cirkulacione pumpe i sistema plastičnih cevi. Intenzitet mešanja se reguliše kuglastim slavinama na ulazu i izlazu pumpe. Pumpa preko sistema razvoda služi i za transport sirovog biodizela iz reaktora u sud za ispiranje, kao i operaciju ispiranja biodizela vodom *Slika 4*.

Samo ispiranje može biti izvedeno cirkulacijom vode preko bočnog otvora i perforirane cevi položene u reaktor, ili udvavanjem vazduhapreko sintera

odozdo u vodenu fazu, *Slika 5*). Upotreba nivokaznog stakla omogućava odvajanje glicerinske ili vodene faze od biodizela sa preciznošću od 0,02 dm³ na 150 dm³, posle kvalitetnog gravitacionog razdvajanja faza. Sistem za ispuštanje sadržaja reaktora i sadržaja posude za ispiranje omogućuje povremeno uzorkovanje sadržaja ovih posuda tokom trajanja operacije koja se u njima odvija.

Zaključak

Predložena konstrukcija reaktora omogućava izvodjenje većeg broja različitih načina konverzije

sirovog ili korišćenog biljnog ulja u biodizel. Postrojenje je jednostavno za manipulaciju i kao celina omogućava komercijalnu proizvodnju biodizela manjeg obima. Projektovano i realizovano postrojenje može da posluži za obuku lica koja se bave proizvodnjom biodizela, kao i za istraživanja pojedinih elemenata procesa konverzije biljnog ulja u biodizel.

Literatura

- [1]. Diesel, R., The Diesel Oil-Engine and Its Industrial Importance Particularly for Great Britain, *Proc. Inst. Mech. Eng.*, str. 179-280 (1912), *Chem. Abstr.* 7:1605(1913)
- [2]. Srivastava A., Prasad R., Triglyceride-based diesel fuels, *Sustain. Energy Rev.*, 4, 113-33 (2000)
- [3]. Ma F., Clements L. D., Hanna M. A., The effect of catalyst, free fatty acids, and water on transesterification of beef tallow, *Trans. ASAE*; 41(5), str. 1261-64(1998)
- [4]. Freedman B., Pryde E. H., Mounts T. L., Variables affecting the yield of fatty esters from transesterified vegetable oils, *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 61(10), str. 1638-43 (1984)
- [5]. Dorado M. P., Ballesteros E., Almeida J. A., Schellet C., Lohrlein H. P., Krause R., An alkaly-catalyzed transesterification process for high free fatty acid oils, *Trans ASAE*, 45(3), 525-9 (2002)
- [6]. Canakci M., Gerpen J. V., Biodiesel production from oils and fats with high free fatty acid content, *Trans ASAE*, 44(6), 1429-36 (2001).
- [7]. Mohamad I. A. W., Ali O. A., Evaluation of the transesterification of waste palm oil into biodiesel, *Bioresour. Technol.*, Vol.85, str. 250-56 (2002).
- [8]. Tomasevic, A. V., Marinkovic S., S., Methanolysis of used frying oils, *Fuel Process. Technol.*, 81, 1-6 (2003)

Prilog određivanju lokacija za gradnju mikro hidroelektrana na vodotocima na severu Kosova i Metohije

1.0. Uvod

Od 1999. godine na teritoriji Kosova i Metohije je evidentna nestašica električne energije. Ovaj problem naročito je izražen u enklavama naseljenim srpskom življem. U cilju umanjenja nestašice električne energije učinjen je pokušaj da se pronadju alternativni izvori energije, za početak, na teritoriji koja se oslanja na užu Srbiju. U tom smislu kratkoročno su istraženi vodotoci na severu Kosova i Metohije, u opštinama Leposavić i Zubin Potok, sa ciljem da se razmotre mogućnosti gradnje mini i mikro hidroelektrana.

U jednogodišnjem periodu od sredine 2006. do sredine 2007. godine Ministarstvo za nauku i zaštitu životne sredine Vlade Republike Srbije je finansiralo studijski projekat EE-273017A "Istraživanje mogućnosti gradnje mini hidroelektrana na vodotocima severnog Kosova i Metohije i definisanje njihovog spregnutog rada". Na bazi izvršenih istraživanja formirana je baza podataka, kao izvor, za aktivnosti oko moguće gradnje mikro hidroelektrana na ovom području. Za pojedine lokacije, iz formirane baze, procenjena je količina očekivane energije i izvršena u potrebnom obimu tehnno-ekonomska analiza. Na kraju, za razmatrane lokacije izvršena je procena efekata uštede čvrstih i tečnih goriva i zaštite životne sredine zbog korišćenja vode kao obnovljivog izvora energije. Rezultati istraživanja po ovom studijskom projektu [1] su kondenzovanoj formi izloženi u ovom radu.

2.0. Formiranje baze podataka

U početnom delu istraživanja prikupljeni su geodetski, hidrološki

Apstrakt

Na osnovu Projekta EE-273017 Ministarstva za nauku i tehnološki razvoj u radu su priloženi rezultati kojima se definišu potencijalne lokacije za gradnju mikro hidroelektrana na vodotocima severnog Kosova i Metohije. Za svaku od analiziranih lokacija izvršena je minimalna tehnno-ekonomska analiza i deo rezultata dat je u radu. Na bazi ovih rezultata u toku je razvoj delova studije izvodljivosti i idejnog projekta za mikro hidroelektranu na Čečevskoj reci.

Contribution to Definition of Locations for Micro Hydroelectric Power Plants on Water Currents in the North of Kosovo and Metohija

Based on the project EE-273017 of the Ministry of science and technological development potential locations for development of micro hydroelectric power plants on water currents in the north of Kosovo and Metohija are given in the paper. Minimal techno-economical analysis for each of selected locations was done and part of these results is given in the paper. Using these results, the elements of feasibility study and development phase for micro hydroelectric power plant on the river Čečevo are in the process.

i morfološki podaci vodotoka razmatrane teritorije severnog Kosova i Metohije, na osnovu dostupnih podataka iz prethodnih istraživanja. Od Korisnika istraživanja (Skupštine opštine Leposavić) predloženo je osam početnih lokacija, koje su potencijalno interesantne, za gradnju mikro hidroelektrana:

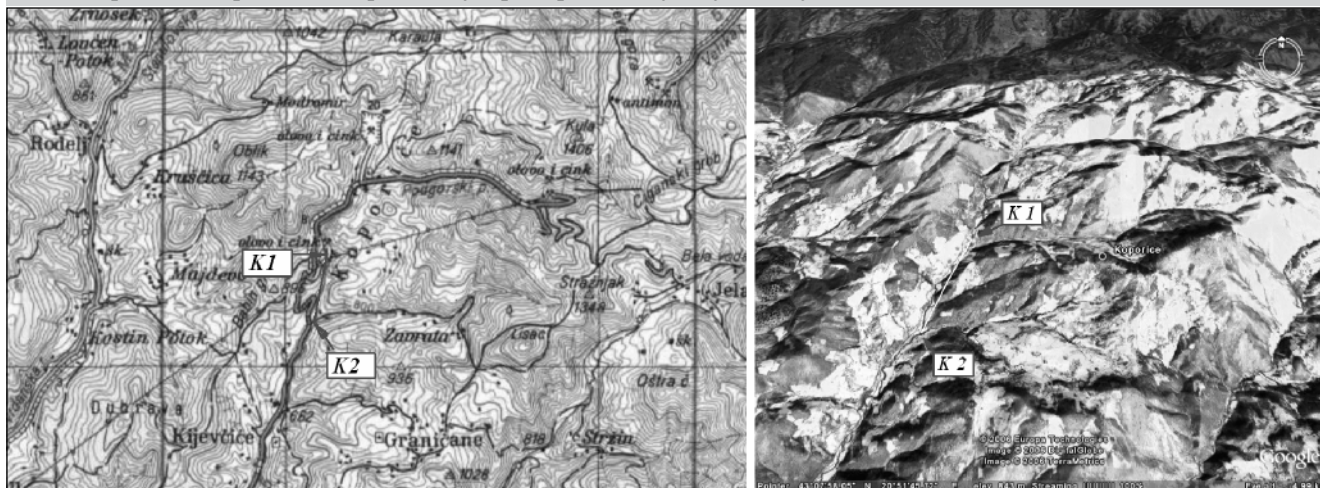
- Reka Bistrica
Izvire kod sela Seljanice, na južnim padinama Kopaonika, i kao desna pritoka utiče u Ibar 15 km severno od Kosovske Mitrovice.
- Sočanska reka
Izvire u brdima koja pripadaju južnim padinama Kopaoniku iznad naselja Sočanica. Uliva se kao desna pritoka u Ibar 25 km severno od Kosovske Mitrovice u blizini naselja Sočanica
- Koporićka reka
Izvire iznad napuštenog rudnika olova i cinka u Koporićima i uliva se kao

desna pritoka u Ibar 2 km južno od naselja Leposavić.

- Belobrdska reka
Izvire na području Belog brda na Kopaoniku. Uliva se kao desna pritoka u Ibar 5 km južno od naselja Dren.
- Čečevska reka
Izvire na Mokroj gori, kod sela Čečevo. Uliva se u akumulaciono jezero Gazivode.
- Srpska Bistrica
Formiraju je dve pritoke, koje teku južnim padinama Kopaonika. Uliva se kao desna pritoka Ibra kod administrativne granice u selu Donje Jarinje.
- Reka Ibar u okolini Leposavića
- Vodovod Leposavić

Za celu površinu severnog dela Kosova i Metohije izvršeno je pretraživanje geodetskih i topografskih karata. Pretraživanje je izvršeno i korišćenjem

SI.01. Na primeru Koporičke reke predstavljen postupak određivanja lokacija



Koordinate kote K1: N → 43°08' 30.68" ; E → 20°51' 11.82"; nadmorska visina → 802 [m]

Koordinate kote K2: N → 43°08' 00.57"; E → 20°51' 06.57"; nadmorska visina → 744 [m]

softvera Google Earth. Opština Leposavić je bila veoma pogodna za posmatranje Google Earth-om jer je satelitska baza, zbog potreba NATO-a i UNMIK-a, veoma detaljna.

Izvršenom analizom je potvrđeno da treba razmatrati detaljnije od Korisnika istraživanja predložene lokacije. Tamo gde je bilo moguće na licu mesta su preko satelitskog GPS (ground position system) mernog uređaja izmerene nadmorske visine, odnosno bruto padovi.

Primer dobijenih rezultata, recimo za Koporičku reku, dat je na slici SI.01. Na levom delu slike data je topografska karta trase lokacije, na desnom delu je dat satelitski snimak korišćenjem softvera Google Earth i po sredini slike izmerene GPS koordinate tačaka od interesa.

Razmatrane reke su neistražene sa stanovišta proticaja. Jedino se više decenija prati protok na reci Ibar. Na osnovu podataka Hidrometeorološkog zavoda Srbije za period 1991.-1999.

godina za reku Ibar, izmerenih na vodomernoj stanici Leposavić, datih u [2], na levom delu slike SI.02. dat je srednji protok Ibra Q_{sr} i garantovani protok Q_{201} za 201 dan. Na desnom delu ove slike data je odgovarajuća pripadna kriva trajanja vodenih količina.

Iz srednjeg protoka Ibra sa SI.02. se vidi da se Q_{sr} i Q_{201} ostvaruju krajem aprila i sredinom oktobra. U tom smislu, početkom maja 2007. izvršena su jednokratna merenja na neistraženim

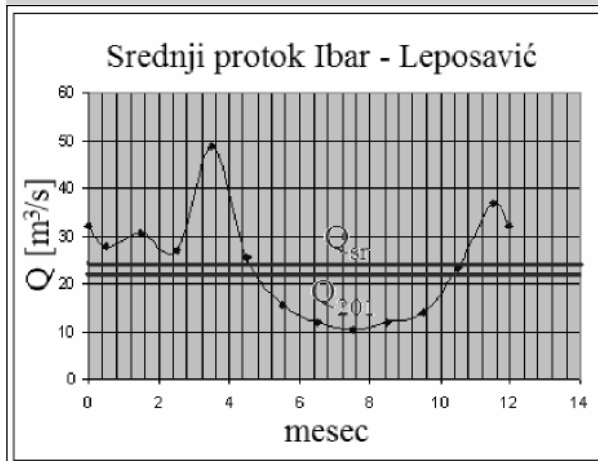
rekama. Kako su sve razmatrane reke pritoke Ibra pretpostavlja se da izmerene vrednosti protoka treba da budu bliske srednjim protocima ovih reka. Usvojeni koncept delimično relativizuje činjenica da su protoci u proleće najpodložniji velikim oscilacijama vrednosti. Zato izvršena jednokratna merenja daju okvirnu meru vrednosti Q_{sr} , a ne potpuno pouzdane podatke za idejni projekat.

Merenje protoka ostvareno je pomoću

T.01. Hidrološka baza za početne lokacije

Br.	Lokacija	Mereni bruto pad [m]	Mereni protok [l/s]	Bruto snaga [kW]	Dužina cevovoda [m]
1.	Bistrica	50	150	74	1.250
2.	Sočanska reka	56	100	55	1.850
3.	Koporička reka	58	26	15	940
4.	Belobrdska reka	76	40	30	800
5.	Čečevska reka	102	110	110	2.000
6.	Srpska Bistrica	86	100	100	2.500
7.	Ibar (40% protoka)	2	9.740	191	150
8.	Vodovod (1/10)	90	45	27	1.000

SI.02. Hidrologija reke Ibar – merna stanica Leposavić



SI.03. Prikaz merenja protoka



T.02. Merodavni podaci za dalju analizu

Br	Lokacija	Merodavni bruto pad [m]	Merodavni protok [l/s]	Bruto snaga [kW]	Maksimalni protok [l/s]
1.	Bistrica	50	150	74	301
2.	Sočanska reka	56	100	55	201
3.	Čečevska reka	102	110	110	221
4.	Srpska Bistrica	86	100	84	201
5.	Ibar (40% protoka)	2	9.740	191	48.875

pravougaonog preliava sa oštrim ivicama. Za izračunavanje protoka korišćeni su podaci iz programa JLA iz [3]. Ilustrativan prikaz merenja dat je na SI.03.

Podaci priloženi u tabeli T.01. određuju najminimalniji hidroloških deo baze podataka početnih osam razmatranih potencijalnih lokacija.

Treba naglasiti da su ovoj tabeli podaci za Čečevsku reku uzeti na osnovu

merenja iz [2], dok su podaci za protok reke Bistrice procenjeni na osnovu vizualnog utiska protoka u donjem toku. Iz bezbednosnih razloga nije se moglo pristupiti merenju protoka na odabranom mestu lokacije potencijalne mikro hidroelektrane.

U vezi podataka u T.01. treba dodati još tri komentara.

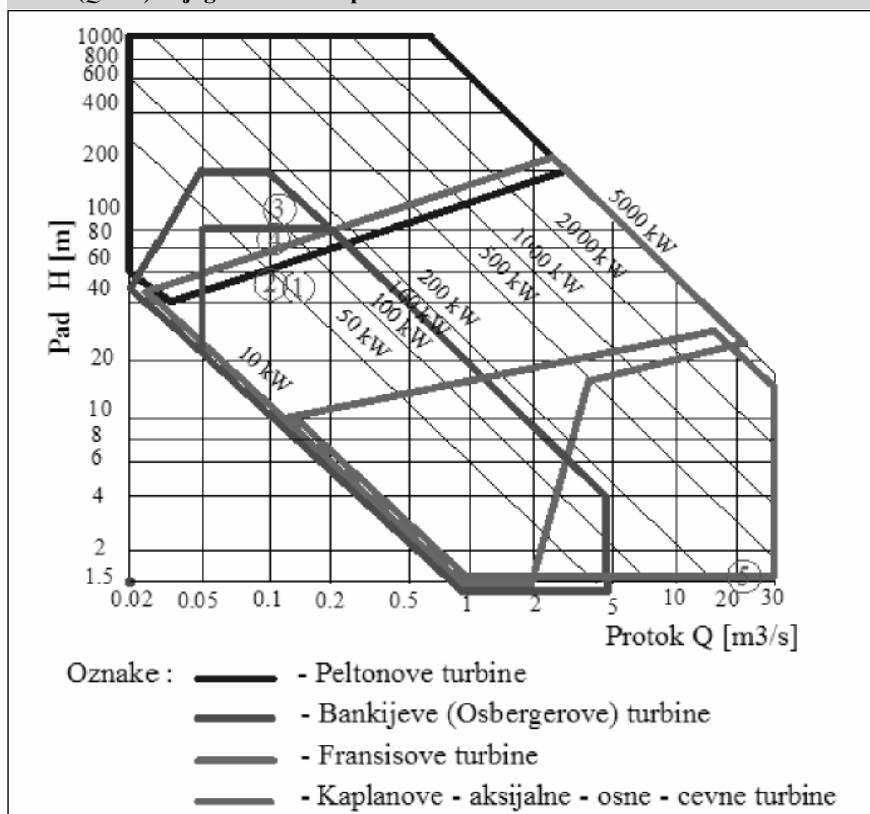
Greška merenja nadmorske visine GPS uredjaja je $2 \div 3$ [m] tako da podatak

o padu reke Ibar kod Leposavića treba uzeti sa rezervom. Naknadno je izvršeno merenje ovog bruto pada na klasičan način nivelmanom i utvrđeno da je predmetni pad 1,2 [m]. Da bi se isplatilo graditi mikro hidroelektranu na Ibru kod Leposavića treba povećati bruto pad reke na 2 [m], tj. uzvodno malom branom podići nivo reke za oko 1 [m]. Celokupna dalja analiza u vezi mikro hidroelektrane na Ibru kod Leposavića odnosi se na bruto pad od 2 [m].

U analizi moguće mikro hidro turbine na reci Ibar računato je sa korišćenjem 40% protoka.

Treći komentar odnosi se na vodovod. Analizom podataka pokazano je u [1] da se za vodovod prečnika ϕ 200 [m] i protok od $Q = 45$ [l/s], na osnovu karakteristika cevovoda i turbine, ne može ostvari više od 27 [kW] bruto snage po deonici vodovoda. Podrazumeva se deset redno postavljenih mikro turbina sa međusobnim parcijalnim padom od oko 90 [m]. U redno postavljenim komorama protoci moraju biti jednaki da ne bi dolazilo do akumuliranja vode i prepunjavanja pojedinih komora. Regulacija, koja usložnjava i poskupljuje tehničko rešenje, bi morala da se izvede ili integrisano za ceo sistem ili odvojeno za svaku turbinu. Voda koja prolazi kroz mikro turbine koristi sa za piće. Ova činjenica dodatno usložnjava korišćenje mikro turbina zbog potrebe ispunjenja odgovarajućih sanitarnih propisa. Neposredna realizacija rešenja na vodovodu otežala bi vodosnabdevanje stanovništva za izvestan period. Isti problem bi se javio i u slučajevima havarijskih isključenja i remonta Imajući u vidu prethodno navedene ograničavajuće faktore odustalo se od daljeg razmatranja ugradnje mikro hidroturbina na instalaciji vodovoda.

SI.04. (Q – H) dijagram izbora tipa mikro hidroturbine



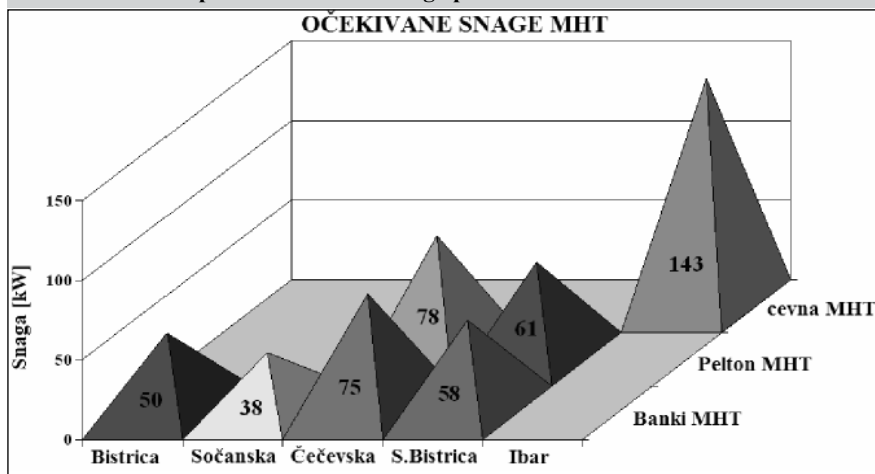
3.0. Analiza baze podataka

Na osnovu tabele T.01., diskusije u vezi podataka u ovoj tabeli i činjenice da Koporička i Belobrdska reka daju, u odnosu na ostale razmatrane reke, relativno male snage odlučeno je da se dalja analiza redukuje na sledećih pet lokacija datih u tabeli T.02.

Na slici SI.04. ucrtani su, na dijagramu protok-bruto pad (Q – H), položaji za dalju analizu usvojenih lokacija mikro hidroelektrana. Ovaj dijagram direktno omogućava izbor tipa mikro hidroturbine.

Na bazi merodavnih podataka iz tabela T.01. i T.02. i slike SI.04. izvršen je izbor tipa mikro hidroturbina za

SI.05. Ilustrativni prikaz očekivanih snaga predloženih MHT



T.03. Pregled ukupne snage i godišnje proizvodnje

Br.	Lokacija	Tip MHT	Snaga [kW]	Procenjena godišnja proizvodnja	
				[MWh]	[GJ]
1.	Bistrica	Banki	50	0,229	0,824
2.	Sočanska reka	Banki	38	0,138	0,495
3.1	Čečevska reka	Banki	75	0,292	1,052
3.2	Čečevska reka	Pelton	78	0,323	1,161
4.1	Srpska Bistrica	Banki	58	0,212	0,763
4.2	Srpska Bistrica	Pelton	61	0,234	0,843
5	Ibar kod Leposavića	cevna	143	0,934	3,363
	UKUPNO minimalno		364	1,805	6,497

T.04. Potrebna ulaganja

Br.	Lokacija	Tip turbine	Snaga [kW]	Procena godišnje proizvodnje [kWh]	Cena po 1 [kW] \$	Cena izgradnje \$	Godišnji prihod \$	cena / (godišnji prihod)
1.	Bistrica	Banki	50	229.000	700	35.000	11.450	3,06
2.	Sočanska reka	Banki	38	138.000	700	26.600	6.900	3,86
3.1	Čečevska reka	Banki	75	292.000	700	52.500	14.600	3,60
3.2	Čečevska reka	Pelton	78	323.000	1.000	78.000	16.150	4,83
4.1	S.Bistrica	Banki	58	212.000	700	40.600	10.600	3,83
4.2	S.Bistrica	Pelton	61	234.000	1.000	61.000	11.700	5,21
5.	Ibar/Leposavić	cevna	143	934.000	1.000	143.000	46.700	3,06

T.05. Ušteda čvrstih (uglja) i tečnih (mazuta) goriva

Br.	Lokacija	Godišnja proizvodnja [kWh]	Zamena ugalj 10 ³ [kg]	Zamena mazut 10 ³ [kg]
1.	Bistrica - Banki turbina	229.000	276	62,5
2.	Sočanska reka – Banki turbina	138.000	167	37,9
3.1	Čečevska reka – Banki turbina	292.000	354	79,7
3.2	Čečevska reka - Pelton turbina	323.000	388	88,2
4.1	S.Bistrica – Banki turbina	212.000	254	57,9
4.2	S.Bistrica – Pelton turbina	234.000	281	63,9
5.	Ibar/Leposavić – cevna turbina	934.000	1.121	255,0
	UKUPNO minimalno	1.805.000	2.172	493,0

svaku od razmatranih pet lokacija. Preliminarni izbor tipa hidro turbine u ovoj fazi istraživanja diktiran je potrebom obezbeđivanja potrebnih polaznih podataka za tehno-ekonomsku analizu.

Proračun je izvršen korišćenjem različitih softverskih alata. Za svaku od

pet odabranih lokacija softverima JLA iz [3], HYDRO3 iz [4] i WalshHydro iz [5] izvršen je izbor tipa hidro turbine. Za svaku turbinu korišćena su bar dva programa različitih autora da bi se komparativno potvrdila tačnost i pouzdanost izbora.

Detaljni rezultati izvršenog izbora dati su u [1], a njihov sumarni pregled na slici SI.02..

Hidrološki podaci za lokacije na Čečevskoj reci i Srpskoj Bistrici se nalaze u graničnoj oblasti upotrebe Banki, Fransisovih i Peltonovih turbina. U T.03., za ove dve reke dat je izbor Banki i Peltonovih turbina. Idejno rešenje treba raditi uporedo za oba tipa hidro turbine, i odlučiti se za ekonomski povoljnije. Fransisove turbine su skuplje od Banki turbina pa nisu razmatrane u ovom delu analize.

4.0. Procena troškova gradnje

Cena instalisanog 1 [kW] snage, kod mikro hidroelektrana (30 [kW] < P < 100 [kW]), veća je nego kod velikih hidroelektrana (P < 100 [kW]). Prema raspoloživim podacima iz različitih izvora cena 1 [kW] snage mikro hidroelektrana iznosi od 1000 \$ do 5000 \$. Veliki raspon u ceni posledica je u najvećoj meri dostupnosti lokacije mikro hidroelektrane. Pogodne lokacije za mikro hidroelektrane se najčešće nalaze na teško pristupačnim terenima, bez saobraćajnica, što znatno poskupljuje izgradnju.

Sa druge strane, mikro hidroelektrana se gradi u kratkom vremenskom periodu, što obezbeđuje brz početak povraćaja uloženi sredstava nego kod velikih hidroelektrana.

U ukupnim finansijskim troškovima gradnje hidroelektrana (na osnovu raspoloživih podataka za velike hidroelektrana) prosečna struktura ulaganja je:

- 35% za gradjevinski deo,
- 45% za mašinski i elektro deo,
- 20% za troškove tehničke dokumentacije, kamate i ostalo

Ako bi se ulagalo u svih pet razmatranih lokacija dobilo bi se, prema podacima iz tabele T.03., minimalno 364 [kW] snage, odnosno garantovana godišnja proizvodnja električne energije od 1.805.000 [kWh] . Treba zapaziti da se za snagu od 364 [kW] godišnje proizvede maksimalno 3.189.000 [kWh] , a iznos od 1.805.000 [kWh] predstavlja programom HYDRO3 procenjeni garantovani minimum. Ako je cena 1 [kW] energije 0,05 \$, godišnje bi se prihodovalo minimalno oko 90.000,00 \$.

U okviru softvera HYDRO3, uključen je deo o proračunu troškova projekta, tj. Cost analysis. Proračuni troškova su bazirani na cenama u Kanadi. Zato je Cost analysis iz HYDRO3 koristan za sveobuhvatno i precizno definisanje strukture troškova., dok apsolutni iznosi troškova nisu realni za srpsko tržište.

T.06. Ušteda uglja i emisije gasova sagorevanjem ovog uglja

Br.	Lokacija	Zamena ugalj $10^3 [kg]$	Masa CO_2 $10^3 [kg]$	Zapr. CO_2 $10^3 [m^3]$	Masa CH_4 $10^3 [kg]$	Masa N_2O $10^3 [kg]$
1.	Bistrica –Banki	276	283,2	144,4	13,49	0,91
2.	Sočanska reka – Banki	167	171,3	87,4	8,16	0,55
3.1	Čečevska reka – Banki	354	363,2	185,2	17,30	1,17
3.2	Čečevska reka – Pelton	388	398,1	203,0	18,96	1,28
4.1	Srpska Bistrica –Banki	254	260,6	132,9	12,41	0,84
4.2	Srpska Bistrica – Pelton	281	288,3	147,0	13,73	0,93
5.	Ibar, Leposavić – Cevna	1121	1150,1	586,6	54,77	3,71
	UKUPNO minimalno	2172	2228,4	1136,5	106,13	7,18

Gradjevinski troškovi procenjeni na osnovu kanadskog modela iz HYDRO3 se mogu smanjiti

kompatibilno uslovima na našem tržištu, kao i troškovi kabliranja, odnosno uključnja proizvedene električne energije u distributivnu mrežu.. Imajući u vidu prethodno rečeno, mogu se uvesti sledeće pretpostavke:

- Neka je raspodela troškova po lokaciji u odnosu 30 % za gradjevinske, 45% za elektro-mašinske i 15% ostale poslove, po 1 [kW] snage.
- Neka je 500 \$ cena po 1 [kW] snage Peltonovih i cevnih hidro turbina sa pratećom elektro-mašinskom opremom, odnosno 1000 \$ po 1 [kW] snage sa uključenim gradjevinskim i ostalim troškovima.
- Neka je 200 \$ cena po 1 [kW] snage Banki hidro turbina sa pratećom elektro-mašinskom opremom, odnosno 700 \$ po 1 [kW] snage sa uključenim gradjevinskim i ostalim troškovima.

Na osnovu prethodno uvedenih pretpostavki u tabeli T.04. date su procene potrebnih investicija, definisane na osnovu procenjene minimalne godišnje proizvodnje energije i brzina povraćaja uložених sredstava. Povraćaj finansijskih ulaganja

bi bio u periodu od 3 do 5 godina zavisno od lokacije, za prethodno uvedene pretpostavke. Imajući u vidu da je vek upotrebe hidroelektrana četrdeset i više godina, očigledna je ekonomska opravdanost ulaganja.

Treba imati rezervu prema prethodno navedenoj proceni povraćaja investicija. No, čak i ako je napravljena dvostuka greška u proceni, period od 6 do 10 godina za povraćaj uložених sredstava deluje primamljivo.

Korišćenu relativnu slobodu u proceni potrebnih finansijskih sredstava potvrđuje i stav, recimo u [6], da cena izgradnje mikro hidroelektrana bazira na 25% fiksnih troškova za elektro-mašinsku opremu i 75% troškova promenljive strukture, koji su funkcija specifičnosti lokacije.

5.0. Efekti uštede energije

Na osnovu očekivane proizvodnje energije na razmatраних pet lokacija može se izračunati ušteda primarne energije, odnosno čvrstih i tečnih goriva.

Kao reprezent čvrstih goriva uzet je ugalj prosečne kalorične vrednosti $(H_d)_{uglja} = 9 [MJ/kg]$, a za tečna goriva mazut kalorične vrednosti $(H_d)_{mazut} = 40 [MJ/kg]$. U analizi

je usvojeno da je prosečan stepen korisnosti iskorišćenja goriva u termoelektranama 33%, tj.

$$\eta_{uglja} = \eta_{mazut} = 0,33.$$

U tabeli T.05. data je ušteda uglja i mazuta na godišnjem nivou, koja bi se ostvarila gradnjom mikro hidroelektrana na predloženih pet lokacija:

Na osnovu rezultata iz T.05. vidi se da se gradnjom pet predloženih mikro hidroelektrana uštedelo godišnje $2.172 \cdot 10^3$ uglja, odnosno $493 \cdot 10^3$ mazuta.

6.0. Efekti zaštite životne sredine

Poznato je da:

- 1 [kg] uglja pri sagorevanju stvara $1,026 [kg] CO_2$,
- da 1 [kg] mazuta pri sagorevanju stvara $3,0184 [kg] CO_2$,
- i da je 1 [kg] CO_2 zauzima zapreminu od $0,51 [m^3]$.

U vezi globalnog zagrevanja, na osnovu [4], je poznato je da

- na $21 [kg] CO_2$ bude $1 [kg] CH_4$,
- na $310 [kg] CO_2$ bude $1 [kg] N_2O$.

Na osnovu dobijenih očekivanih vrednosti za potrošnju uglja u proizvodnji navedenih vrednosti električne energije u tabeli T.06. date su očekivane vrednosti masa i zapremina O_2 , koje bi se emitovale u okolinu tokom rada termoelektrane na ugalj. U istoj tabeli dati su podaci u vezi smanjenja emisije CH_4 i N_2O zbog supstitucije uglja hidroenergijom.

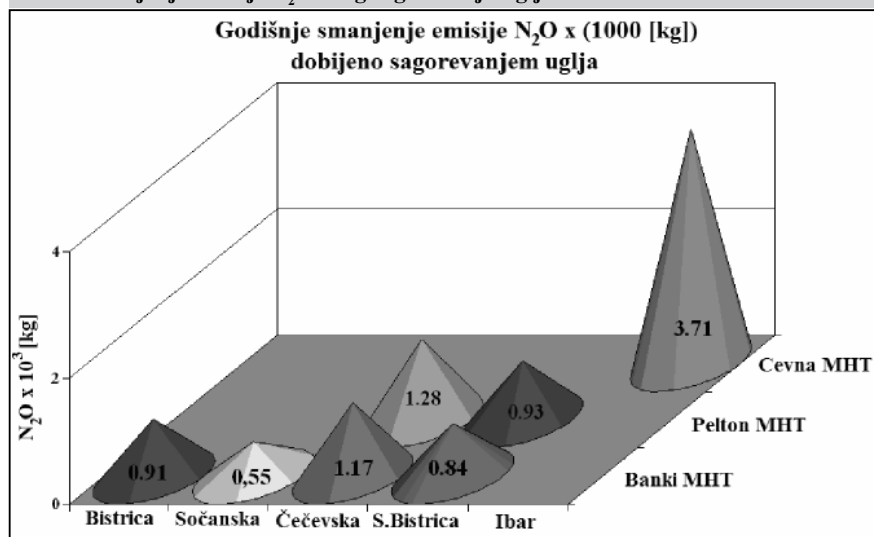
Ukupno smanjenje emisije zbog supstitucije uglja hidroenergijom je minimalno $2.228 \cdot 10^3 [kg]$, odnosno $1136 \cdot 10^3 [m^3]$. Ukupna emisija CH_4 je manja za $106.130 [kg]$, a N_2O je $7180 [kg]$. Na slici Sl.03. ilustrativno je prikazano smanjenje emisije zbog supstitucije uglja hidroenergijom za razmatrane lokacije.

U tabeli T.07. date su očekivane vrednosti masa i zapremina O_2 , koje bi se emitovale u okolinu ako bi se električna energija proizvela u termoelektrani na mazut. U istoj tabeli dati su podaci u vezi smanjenja emisije CH_4 i N_2O zbog supstitucije poračunate količine mazuta hidroenergijom.

Smanjenje emisije CO_2 zbog supstitucije mazuta hidroenergijom je minimalno $1488,1 \cdot 10^3 [kg]$, odnosno $758,9 \cdot 10^3 [m^3]$. Emisija CH_4 bi bila manja za $70,9 \cdot 10^3 [kg]$, a N_2O za $4.800 [kg]$.

Na osnovu dobijenih rezultata se zaključuje da bi se proizvodnjom električne energije u MHE, na osnovu ove Studije EE-273017A, ostvarile ne samo uštede u čvrstom i tečnom gorivu,

Sl.06. Smanjenje emisije N_2O zbog sagorevanja uglja



T.07. Ušteda mazuta i emisije gasova sagorevanjem ovog mazuta

Br.	Lokacija	Zamena mazut 10 ³ [kg]	Masa CO ₂ 10 ³ [kg]	Zapr. CO ₂ 10 ³ [m ³]	Masa CH ₄ 10 ³ [kg]	Masa N ₂ O 10 ³ [kg]
1.	Bistrica –Banki	62,5	188,6	96,2	9,0	0,61
2.	Sočanska reka – Banki	37,9	114,4	58,3	5,5	0,37
3.1	Čečevska reka – Banki	79,7	240,6	122,7	11,5	0,78
3.2	Čečevska reka – Pelton	88,2	266,2	135,8	12,7	0,86
4.1	Srpska Bistrica –Banki	57,9	174,8	89,1	8,3	0,56
4.2	Srpska Bistrica – Pelton	63,9	192,9	98,4	9,2	0,62
5.	Ibar, Leposavić – Cevna	255,0	769,7	392,5	36,6	2,48
	UKUPNO minimalno	493,0	1488,1	758,8	70,9	4,80

već i efekti zaštite životne sredine i smanjenje efekta globalnog zagrevanja, jer se sprečava emisija CO₂, CH₄ i N₂O u okolinu.

6.0. Zaključak

Na osnovu izvršene analize, po prioritetu, predložno je da se u narednom periodu prvo pristupi izradi studije izvodljivosti i idejnog projekta za mikro hidroelektranu na Čečevskoj reci. U tom smislu u toku je dvogodišnji projekat EE-18011, koji finansira Ministarstvo za nauku i tehnološki razvoj Vlade Republike Srbije, pod naslovom “ Istraživanje i razvoj mikro hidroelektrane na Čečevskoj reci“.

Interesantno je primetiti da je u periodu 1934. do 1973. godine, pre puštanja u rad vodoakumulacije Gazivode, na Čečevskoj reci postojala mikro hidroelektrana, koja je lokalno snabdevala električnom energijom obližnju pilanu i vunovlačaru.

[5] Eifield M.: *Banki cross-flow system design guide*, WalshHydro, Planetary power, 2005.

[6] Prezentacija: *Clean energy project analysis course*, www.retscreen.net, slide no. 20, 2005.

[7] Minister of Natural Resources Canada: *Clean energy project analysis*, RetScreen International, str. 54, 2005.

7.0. Literatura

[1] Maričić N., Novković Dj., Andjelković Lj. i dr.: *Istraživanje mogućnosti gradnje mini hidroelektrana na vodotocima severnog Kosova i Metohije i definisanje njihovog spregnutog rada*, Studija EE-273017A, Fakultet tehničkih nauka u Kosovskoj Mitrovici, str. 1-116, 2007.

[2] Milentijević G.: *Podzemne vode severnog Kosova i Metohije – iskorišćavanje i zaštita*, Doktorska teza, Fakultet tehničkih nauka u Kosovskoj Mitrovici, str. 1-160, 2004.

[3] Willot J.: *Software JlaHydro*, <http://microhydro.bizhosting.com/JLA>, 2007.

[4] Softver HYDRO3 i HYDRO4, www.retscreen.net, 2007.

Analiza distributivne mreže sa postojećim i budućim MHE u slivnom području Trgoviškog Timoka

Jordan Radosavljević*, Miroljub Jevtić, Dardan Klimenta i Andreja Todorović

Fakultet tehničkih nauka u Kosovskoj Mitrovici

UDC: 621.22 : 621.316 (497.11)

Sažetak

Prema katastru malih hidroelektrana u Srbiji postoji oko 1000 povoljnih lokacija za izgradnju malih i mikro hidroelektrana. Na području Stare Planine u slivu male reke Trgoviški Timok sagrađeno je 11 mikro hidroelektrana (MHE), koje su priključene na lokalnu distributivnu mrežu. Ukupna instalisana snaga ovih MHE iznosi 205 kW. Pošto u slivu ove reke postoji još raspoloživih lokacija na kojima se mogu dobiti znatno veće snage, u planu je izgradnja novih MHE. U radu se analizira uticaj postojećih MHE i projektuje uticaj dodavanja novih MHE na naponske prilike, tokove snaga, gubitke snaga i struje kvara u lokalnoj distributivnoj mreži.

Analysis of Distribution Network with Existent and Planed Micro-Hydro Power Plants on the Trgoviski Timok River

According to the land registry of small power plants about one thousand locations suitable for building of small and micro hydropower plants (MHPs) exist in the Republic of Serbia. Eleven MHPs are built in the Stara Planina region at the small confluence of the Trgoviski Timok River and they are all connected to the local distribution network. The total installed power of these MHPs is 205 kW. It is planned to build several new MHPs at the confluence of the Trgoviski Timok River because there are more locations with considerable resources of water power. This paper describes the influence of existent MHPs and projects the influence of adding new MHPs on voltage states, power flows and fault currents in the local distribution network.

1. Uvod

Jedna od mogućnosti za bolje iskorišćenje raspoloživih energetske potencijala je izgradnja malih, mini i mikro hidroelektrana (MHE). Iako u Republici Srbiji, prema katastru malih hidroelektrana postoji oko 1000 povoljnih lokacija, još uvek nije počela masovna izgradnja MHE. Jedno od područja koje predstavlja izuzetak je oblast Stare Planine, gde je u slivu male reke Trgoviški Timok do sada izgrađeno 11 MHE, a postoje povoljne lokacije za još nekoliko MHE znatno većih snaga. Za stanovništvo ovog područja MHE su od značaja ne samo zbog proizvodnje "čiste" električne energije već i zbog opstanka, s obzirom na demografsko praznjenje ovog planinskog kraja.

Sve MHE su priključene na lokalnu SN (10 kV) distributivnu mrežu. Priključenje MHE na distributivnu mrežu može značajno uticati na tokove snaga, napone, gubitke snage i nivo stuje kvara. Shodno tome, utiču na rad elemenata sistema – vodova, transformatora i potrošača.

Prema kriterijumu snage, naponskog nivoa, načina priključenja i rada ove MHE se mogu svrstati u distribuirane izvore ili distribuirane generatore (DG) [1]. Analizu uticaja MHE na električne veličine, elemente i uređaje je moguće vršiti sa više aspekata. U ovom radu su predstavljeni rezultati analize mreže u normalnom stacionarnom radu u pogledu tokova snaga, naponskih prilika, gubitaka snage i u režimu kvara u pogledu nivoa i raspodele struje kvara.

2. Normalni stacionarni režim rada

Distributivne mreže su projektovane za jednosmerni protok snage, od prenosne mreže prema potrošačima. Priključenje MHE (ili generalno bilo kog DG), može promeniti tokove snaga u distributivnoj mreži, tako da, u zavisnosti od veličine snage koju injektiraju u odnosu na lokalnu potrošnju, mogu izvoziti snagu ka prenosnoj mreži. Na taj način distributivna mreža postaje aktivna. Promena tokova snaga znači promenu gubitaka snage jer se menjaju odnosi struja u granama mreže. Ta promena može biti pozitivna (smanjenje gubitaka) ili negativna (povećanje gubitaka). Promenjeni uslovi u mreži mogu dovesti i do preopterećenja pojedinih vodova i transformatora.

Promena tokova snaga znači i promenu padova napona u granama mreže, odnosno promenu naponskog profila mreže. U zavisnosti od lokacije, snage i tipa generatora, ta promena može biti pozitivna (manja odstupanja napona od nominalnih vrednosti) ili negativna (veća odstupanja napona ili čak nedozvoljene vrednosti napona u pojedinim čvorovima). Regulacione šeme napona za pasivnu distributivnu mrežu ne važe kada se priključe MHE. Mora se dakle voditi računa o koordinaciji regulacionih resursa (prenosnih odnosa transformatora, kompenzatora) sa delovanjem MHE.

Utvrđivanje uticaja MHE na električne veličine pri stacionarom radu distributivne mreže se vrši na jednostavan način – proračunom tokova snaga. Danas postoje vrlo efikasne metode za proračun tokova snaga i napona u distributivnim mrežama. Jedna od najefikasnijih metoda koja je korišćena i u ovom radu je Shirmohammadi-jeva metoda [2], koja ima mogućnost različitog modelovanja DG (kao PQ ili PV čvor).

Tačnost dobijenih rezultata zavisi, pre svega, od tačnosti parametara i modela elemenata sistema. Pri analizi kokretne mreže u ovom radu vodovi su predstavljeni rednom impedansom. Dvonamotajni transformatori su modelovani preko impedanse kratkog spoja i nenominalnog odnosa transformacije. Potrošači kao i kondenzatori za kompenzaciju reaktivne snage su modelovani kao PQ čvorovi sa poznatim i konstantnim snagama. MHE su modelovani kao PQ čvorovi (“negativni potrošači”) sa poznatom aktivnom i reaktivnom snagom ili kao PV čvorovi sa specifikovanom aktivnom snagom i modulom napona [3,4].

3. Režim kvara

Bez DG, distributivna mreža je pasivna i struja kvara, za dati naponski nivo, zavisi jedino od impedanse između mesta kvara i napojne tačke distributivne mreže. U distributivnoj mreži sa DG, mesto kvara se napaja iz napojne mreže i svih DG u distributivnoj mreži, shodno lokaciji, snazi i tipu generatora. Porast nivoa struje kvara i promena raspodele struje kvara po elementima mreže zahteva promenu podešenosti i koordinacije uređaja relejne zaštite u mreži. U MHE je moguća primena sinhronih i asinhronih generatora. Stepen i kvalitet uticaja MHE na struju kvara suštinski zavisi od tipa primenjenog generatora.

Asinhroni generatori (AG) nemaju sopstveni izvor reaktivne snage za pobuđivanje (izuzev dvostrano napajanih) kao sinhroni generatori (SG). Potrebnu reaktivnu snagu AG dobijaju iz distributivne mreže i kondenzatora za kompenzaciju. U slučaju simetričnog (trofaznog) kratkog spoja u blizini AG dolazi do prekida pobude. Zato AG mogu da utiču na struju kvara samo u vrlo kratkom periodu nakon kvara (u subtranzijentnom periodu), odnosno dok se ne potroši akumulirana reaktivna energija AG. Kod nesimetričnih (jednofaznih i dvofaznih) kratkih spojeva ne prekida se pobuda AG, tako da on u tom slučaju doprinosi i trajnoj struji kvara. Pošto su namotaji statora

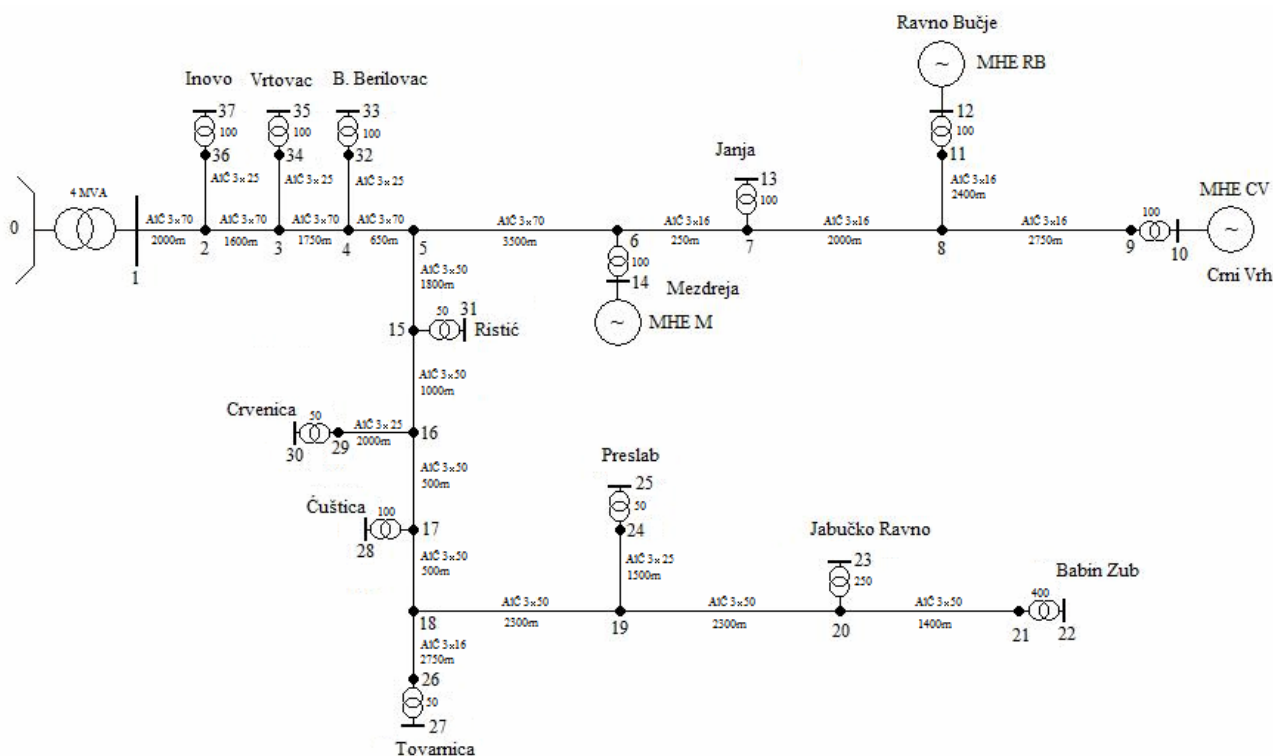
najčešće spregnuti u trougao ili neuzemljenu zvezdu, AG mogu uticati samo na direktnu i inverznu komponentu struje kvara (kod nesimetričnih kvarova).

Za proračun režima kvara distributivne mreže sa DG u ovom radu korišćen je hibridni kompenzacioni algoritam [5]. Ekvivalentne impedanse AG su računane prema formuli:

$$Z''_G = \frac{1}{I_k/I_n} \frac{U_n}{\sqrt{3}I_n}, \text{ pri čemu su korišćeni odnosi } X''_G = 0,922Z''_G \text{ i } R_G/X''_G = 0,42.$$

4. Opis mreže

Na slici 1 je prikazana distributivna mreža koja je analizirana u ovom radu.



Slika 1. Distributivna mreža sa MHE.

A. Postojeće stanje

Trenutno je na pomenutom području sagrađeno i priključeno na lokalnu distributivnu mrežu 11 MHE. Od toga 4 MHE su na Crnovrškoj Reci ukupne instalisane snage 79 kW, koje su na slici 1 obuhvaćene jednom MHE označenom sa MHE CV i jedna označena sa MHE M snage 40 kW. Na Ravnobučkoj Reci je izgrađeno 6 MHE ukupne snage 86 kW, koje su na slici 1 predstavljene sa jednom ekvivalentnom MHE označene kao MHE RB. U svim MHE su upotrebljeni asinhroni generatori. U skladu sa osnovnim tehničkim zahtevima za priključenje malih elektrena [6], primenjena je kompenzacija reaktivnih snaga ugradnjom kondenzatorskih baterija, tako da je u tački priključenja MHE $\cos \varphi \geq 0,95$.

Pošto se radi o ruralnom području, snaga potrošnje je mala. U nedostatku preciznih podataka o nivou snage potrošnje, analiza tokova snaga je sprovedena za opterećenja koja su jednaka 50% nominalnih snaga transformatora sa faktorom snage 0.90.

B. Buduće stanje

Tabeli 1 je dat izvod iz katastra MHE Srbije. Pod budućim stanjem se ovde podrazumeva hipotetička situacija da se iskoriste sve raspoložive lokacije iz ove tabele, tj. izgrade MHE navedenih snaga na navedenim lokacijama. Predviđene snage na datim lokacijama su znatno veće od trenutno izgrađenih MHE, kao i propusnih mogućnosti transformatora na datim lokacijama (slika 1).

Tabela 1. Izvod iz katastra malih hidroelektrana Srbije

Broj u katastru MHE	Naziv MHE	Sliv	Opština	Reka	Instalisani proticaj (m ³ /s)	Pad (m)	Snaga (kW)	Godišnja proizvodnja (kWh)
35	Berilovac	Beli Timok	Knjaževac	Trg. Timok, Crnovrška	2.25	40	720	1180000
36	Mezdreja	Beli Timok	Knjaževac	Trg. Timok, Crnovrška	1.05	128	1077	4290000
38	Janja	Beli Timok	Knjaževac	Trg. Timok, Janjska	0.21	85	143	440000
39	Ravno Bučje	Beli Timok	Knjaževac	Trg. Timok, Crnovrška, Ravnobučka	0.33	95	250	940000
41	Crni Vrh	Beli Timok	Knjaževac	Trg. Timok, Crnovrška, Golema Kozarni	0.63	111	560	2060000
43	Čuštica	Beli Timok	Knjaževac	Trg. Timok, Crnovrška, Svinova	0.12	228	276	1020000

Izgradnja novih MHE na lokacijama i sa snagama kao u tabeli 1 zahteva rekonstrukciju mreže. Pretpostavlja se da će se nove MHE priključiti preko NN sabirnica transformatora, čije nominalne snage moraju biti veće od instalisanih snaga MHE. Shodno tome, u tabeli 2 je dat jedan od scenarija rekonstrukcije mreže radi priključenja novih MHE. Za generatore u budućim MHE su usvojeni asinhroni generatori, čiji su parametri potrebni za izračunavanje ekvivalentnih impedansi u proračunu kratkih spojeva dati u tabeli 3.

Tabela 2. Pregled snaga postojećih i budućih MHE i TF.

Naziv MHE	Lokacija – čvor u mreži	Postojeće stanje		Buduće stanje	
		Snaga MHE (kW)	Snaga TF (kVA)	Snaga MHE (kW)	Snaga TF (kVA)
Crni Vrh	10	79	100	560	630
Ravno Bučje	12	86	100	250	400
Janja	13	0	100	143	100+100
Mezdreja	14	40	100	1077	630+630
Čuštica	28	0	100	276	400
Berilovac	33	0	100	720	400+400

Tabela 3. Podaci o asinhronim generatorima u MHE

	tip	P_n (kW)	U_n (V)	I_n (A)	I_k/I_n
MHE Crni Vrh	Postojeće	90	400	160	7.5
	Buduće	3×200	400	362	7.2
MHE Ravno Bučje	Postojeće	110	400	195	6.5
	Buduće	250	400	447	7.0
MHE Janja	Buduće	2×75	400	134	7.3
MHE Mezdreja	Postojeće	55	400	106	6.8
	Buduće	3×400	400	676	6.8
MHE Čuštica	Buduće	2×160	400	280	7.0
MHE Berilovac	Buduće	3×250	400	447	7.0

B1. Analiza troškova planiranih MHE

Ukupna instalisana snaga planiranih MHE iznosi 3026 kW. Ako se uzme da je trenutna cena izgradnje MHE 1000 €/kW, to bi ukupne investicije za izgradnju ovih MHE bile 3026000 €. Ukupna instalisana snaga transformatora koji bi morali da se zamene je 3690 kVA. Ako je trenutna cena transformatora (sa pratećom opremom) 15 €/kVA to bi ukupna cena transformatora bila 55435 €. To daje ukupnu trenutnu vrednost investicija od $P=3081435$ €.

Ako se posmatra period planiranja od n godina, pri čemu je godišnja stopa aktualizacije i jednaka za sve godine, tada se godišnji aktualizovani investicioni troškovi za izgradnju MHE mogu iskazati sledećom jednačinom:

$$I = P \cdot \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \quad (1)$$

Jedinična cena proizvedene energije MHE se može izračunati kao odnos godišnjih aktualizovanih troškova (I) uvećanih za troškove održavanja i amortizacije (oko 10% od godišnjih aktualizovanih troškova [7]) i godišnje proizvedene energije (W):

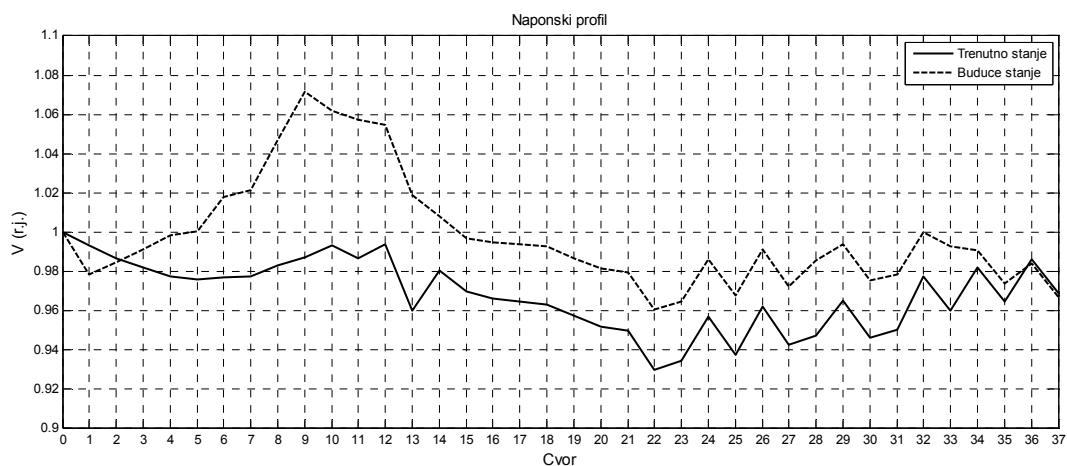
$$c_w = \frac{1,1I}{W} \quad (2)$$

Ako se pretpostavi da su u zadatom periodu planiranja godišnje proizvodnje MHE jednake vrednostima u tabeli 1, tada bi za period planiranja od 10 godina ($n=10$) i godišnju stopu aktualizacije od 7 %, cena energije koja bi u tom periodu vratila uložene investicije bila 4,86 evroceni po kilovat času.

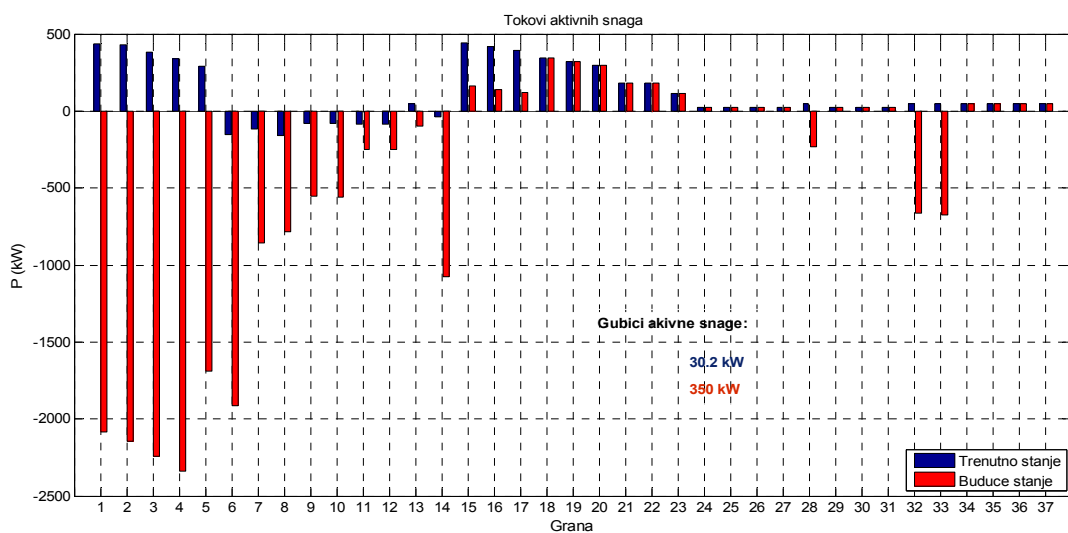
Prema ministarstvu rudarstva i energetike Republike Srbije cena za energiju proizvedenu iz malih hidroelektrana trebalo bi da bude od 7,8 do 9,7 evroceni po kilovat času. Ako se uzme da je ta cena 8 evroceni, tada bi se investicije iz konkretnog primera sa istom stopom aktualizacije vratile posle nešto više od 5 godina.

5. Analiza tokova snaga

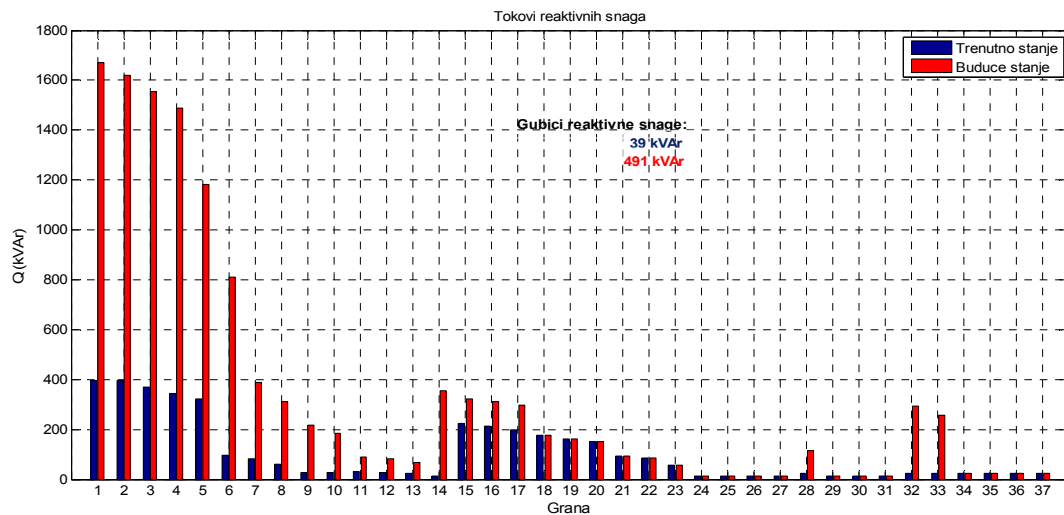
Na slici 2 cu dati naponski profili mreže za oba navedena stanja mreže.



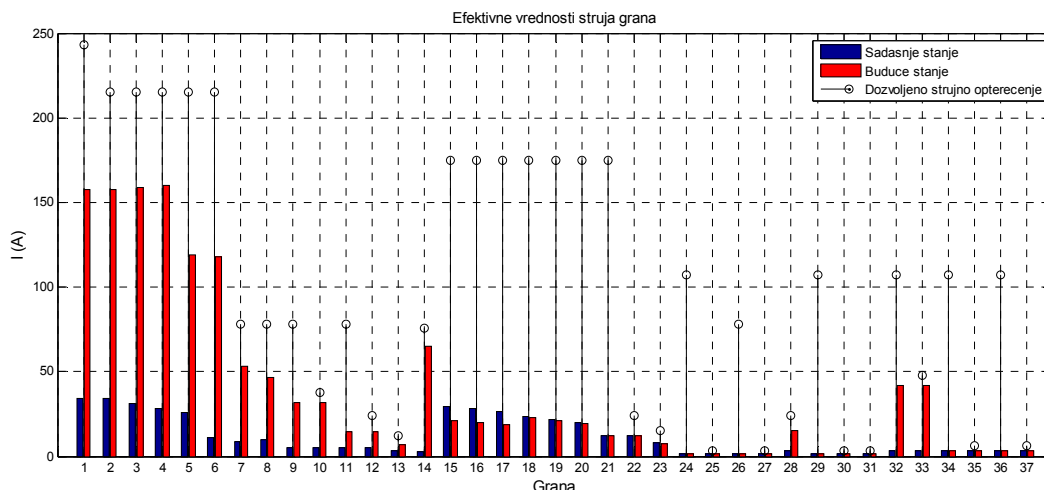
Slika 2. Naponi u mreži.



Slika 3. Aktivne snage po granama mreže. Pozitivan smer snage je ka potrošačima.



Slika 4. Reaktivne snage po granama mreže.



Slika 5. Efektivne vrednosti struja po granama mreže. Sve vrednosti su date za naponski nivo 10 kV.

Predstavljeni su ekstremni slučajevi, jer je pretpostavljeno da MHE rade sa instalisanim, snagama, što se u praksi teško može ostvariti. I pored toga, kao što se vidi sa slike 5, svi elementi rade u granicama dozvoljenog strujnog opterećenja.

Deo snage koju proizvode MHE se troši na lokalne potrošače. Ta snaga je trenutno nedovoljna, pa se ostatak dobija iz napojne mreže. U budućnosti, pod pretpostavkom da se izgrade sve planirane MHE, njihova snaga bi bila znatno veća od ukupne snage potrošača u lokalnoj mreži. Tada bi mreža bila znatno više opterećenja (veće struje po vodovima), kao što se vidi na slici 5. U oba slučaja su najviše opterećene deonice voda između čvorova 1 i 6. U prvom slučaju se preko njih prenosi snaga iz napojne mreže za lokalne potrošače, a u drugom se preko njih prenosi aktivna snaga MHE iz lokalne (10 kV) u napojnu (35 kV) mrežu.

Znatno veći gubici u drugom slučaju su posledica znatno većih snaga koje se prenose vodovima. Obično je snaga distribuiranih izvora znatno manja od lokalne potrošnje. Tada se njihov uticaj svodi na smanjenje opterećenja glavnih vodova (fidera), a time i gubitaka snage. U konkretnom slučaju je situacija sasvim suprotna.

6. Analiza režima kvara

Analizirani su samo trofazni kratki spojevi. Proračun je izvršen za slučaj kvara u čvorovima 5, 8 i 21. Rezultati su dati u tabeli 4.

Udeo MHE na ukupnu struju kvara je veći ukoliko je kvar bliže MHE, jer je tada manja impedansa između MHE i tačke kvara. U konkretnom slučaju, udeo MHE u struji kvara je najveći pri kvaru u čvoru 8, jer se nalazi u neposrednoj blizini 4 MHE.

Tabela 4. Struja kvara u subtranzijentnom periodu pri trofaznom kratkom spoju u mreži.

Mesto kvara	Postojeće stanje			Buduće stanje			Razlika (povećanje) struje kvara (%)
	Ukupna struja kvara (A)	Udeo MHE u struji kvara		Ukupna struja kvara (A)	Udeo MHE u struji kvara		
		(A)	%		(A)	(A)	
čvor 5	1362	91	6.7	2139	892	41.7	57
čvor 8	643	87	13.5	1001	602	60.1	56
čvor 21	535	35	6.5	643	283	44.0	20

Tabela 5. Udeo pojedinih MHE u struji kvara za trofazni kratak spoj u čvoru 5.

Postojeće stanje				Buduće stanje						
Napojna mreže (grana 1)	MHE Crni Vrh	MHE Ravno Bučje	MHE Mezdreja	Napojna mreže (grana 1)	MHE Crni Vrh	MHE Ravno Bučje	MHE Janja	MHE Mezdreja	MHE Čuštica	MHE Berilovac
93.43%	2.39%	2.50%	1.68%	58.02%	6.14%	3.17%	2.37%	14.19%	5.14%	10.97%

Uticao MHE na struju kvara zavisi snage MHE jer od veličine AG zavisi količina energije kojom MHE napaja mesto kvara. U tabeli 5 je dato učešće pojedinih MHE u ukupnoj struji kvara pri trofaznom kratkom spoju u čvoru 5. MHE većih snaga u većem procentu učestvuju u ukunjoj struji kvara.

7. Zaključak

Postojeće MHE su malih snaga i njihov uticaj na prilike u lokalnoj distributivnoj mreži se svodi na:

- Smanjenje ukupnog opterećenja distributivne mreže, jer preuzimaju napajanje dela lokalne potrošnje.
- Smanjenje ukupnih gubitaka snage u distributivnoj mreži, jer smanjuju struje po glavnim fiderima mreže.
- Poboljšanje naponskog profila mreže, jer se zbog promene tokova snaga/struja u pojedinim delovima mreže smanjuju padovi napona na vodovima i transformatorima.
- Neznatno povećavaju nivo stuje kvara pri kratkom spoju u mreži.

Ukoliko bi se izgradile planirane MHE, sa znatno većim snagama od postojećih, tada bi se znatno promenio kvalitet njihovog uticaja na prilike u lokalnoj mreži:

- Neophodna je rekonstrukcija mreže jer postojeći transformatori ne odgovaraju planiranim snagama MHE.
- Snage MHE su znatno veće od snage lokalnih potrošača, tako da se mreža ponaša kao „generator“ u odnosu na ostatak sistema (mrežu višeg naponskog nivoa).
- Povećavaju se gubici snage, jer su elementi (vodovi i transformatori) više opterećeni.
- Značajno se povećava učešće MHE u struji kvara pri trofaznim kratkim spojevima u mreži. Shodno tome, menja se i raspodela struje kvara po elementima mreže (zavisno od lokacije kvara).

Zahvalnica

Autori se zahvaljuju Ministarstvu nauke Republike Srbije na finansiranju projekta pod nazivom "Istraživanje 16 mikro hidroelektrana u slivnom području Timoka u cilju povećanja njihove energetske efikasnosti", u okviru koga je nastao ovaj rad.

Reference:

- [1] T. Ackermann, G. Anderson, L. Soder, "Distributed generation: a definition", *Electric Power Systems Research*, 57 (2001) 195-204.
- [2] C.S. Cheng, D. Shirmohammadi: "A Three-Phase Power Flow Method for Real-Time Distribution System Analysis", *IEEE Trans. Power Systems*, Vol 10, No. 2, May 1995.
- [3] J. Radosavljević, M. Jevtić, "Uticaj distribuirane proizvodnje na padove napona, tokove snaga i gubitke snage u radialnoj distributivnoj mreži", *Elektroprivreda*, br. 1, 2005, str. 58-65
- [4] J. Radosavljević, M. Jevtić, "Upravljanje naponima i minimizacija gubitaka energije u distributivnoj mreži sa distribuiranim generatorima", *Elektroprivreda*, Br. 2, 2007, str. 20-30.
- [5] X. Zhang, F. Soudi, D. Shirmohammadi: "A Distribution Short Circuit Analysis Approach Using Hybrid Compensation Method", *IEEE Trans. Power Systems*, Vol 10, No. 4, Nov. 1995, pp. 2053-2059.
- [6] "Osnovni tehnički zahtevi za priključenje malih elektrana na mrežu Elektrodistribucije Srbije – Tehnička preporuka br. 16", *JP EPS Direkcija za distribuciju električne energije Srbije*, Beograd, 2003.
- [7] A. Harvey, etc., "Micro-Hydro Design Manual: A Guide to Small-Scale Water Power Schemes", *Intermediate Technology Publications*, London, UK, 1993

**PROJEKAT POBOLJŠANJA ENERGETSKOG SNABDEVANJA
U KOMPLEKSU KLINIČKI CENTAR SRBIJE – BEOGRAD
IMPROVEMENT OF ENERGY SUPPLY SYSTEM IN THE CLINICAL CENTRE OF
SERBIA- BELGRADE**

“Serbia Energy Efficiency Project”

Sanja Ocokoljić, M.Sc.M.E., “Mašinoprojekt KOPRING”, Beograd

Resime

UDC: 662.6/9 : 696/697 : 614.22 (497.11)

In the central part of Belgrade, on the location of the old boiler-plant in Pasterova Street, the new facility is built - the heating plant of the total heating capacity for the final phase of 55,1 MW (3+1 water boilers) , with cogenerative (cogenerator of heat and power) CHP unit (gas engine of 2.0 MWt/1,8 MWe) and steam part (2 boilers that produce saturated steam of 8t/h). The New Plant is the central source of the energy that through the external fluid pipe distribution and 52 new substations supplies all consumers in the hospital complex (cca. 80 buildings) with hot water for heating and air-conditioning, sanitary hot water and technological steam. The system is controlled by the central system for control and monitoring. The installed equipment is modern and of good quality, and as a result of it, the new plant is of outstanding characteristics, very reliable, energy efficient and friendly to the environment. “Mašinoprojekt KOPRING” and Finnish company “Poyry” were main Consultants in cooperation with the technical team of the Clinical Centre of Serbia and Contractors. “Mašinoprojekt KOPRING” participated in all phases of the project, that involved: defining the consumption, making of the preliminary design also with tender documentation, took part in choosing the contractor and consulting with them up to the supervising of all activities regarding the project. The whole project was done under the patronage of the Ministry of Health and Ministry of Energetics of Republic of Serbia and it was realized in cooperation and according to the procedures of the World Bank.

Uvod

Klinički Centar Srbije (KCS) lociran je u centralnoj zoni Beograda i pokriva površinu od oko 38 hektara. Kompleks čini oko 80 – tak objekata, kao što su Poliklinika, razne bolnice, instituti, fakulteti, i ostali objekti različitih namena (kancelarije, razna skladišta, i slično). Po dostupnim podacima, ukupna površina izgrađenih objekata koji se greju je oko 335000 m², dok je 23000 m² još uvek u izgradnji. U krugu kompleksa Kliničkog centra locirani su potrošači toplotne energije za grejanje i klimatizaciju, pripremu tople sanitarne vode (STV) i tehnološke pare (za potrebe sterilizacije i potrebe perionica). Postojeći sistem snabdevanja toplotnom energijom u kompleksu KCS-a je usled starosti proizvodnih i distributivnih postrojenja, nedovoljnog kapaciteta i energetske neefikasnosti zahtevao hitnu potpunu rekonstrukciju i proširenje. S obzirom na opšti značaj samog kompleksa bolnica i instituta u kompleksu KCS, a u cilju postizanja pre svega pouzdanog sistema snabdevanja toplotnom energijom i tehnološkom parom, zatim poboljšanja energetske efikasnosti celog sistema, kao i zaštite čovekove okoline urađena je Studija opravdanosti rekonstrukcije energetske sistema KCS, a zatim se pristupilo izradi idejnih , glavnih projekta i na kraju izgradnji i realizaciji.

S obzirom na kompleksnost celog sistema, zahtevala se fazna izgradnja i tokom izvođenja snabdevanje svih korisnika sanitarnom toplom vodom i tehnološkom parom, uz maksimalno zalaganje svih učesnika (Izvođač radova za energiju bio je “Energoprojekt oprema”, a radova za spoljnji razvod i podstanice “Projektomonaža”). Projekat je započeo decembra 2004., a postrojenje je pušteno u rad u grejnoj sezoni 2006/2007. Sistem je još uvek u fazi usavršavanja, pre svega rad centralnog sistema upravljanja i nadzora, a kogenerativno CHP postrojenje biće pušteno u rad u najskorije vreme.

Rad sistema pre rekonstrukcije

Postojeći izvori toplote bili su tri centralne toplane (Stara VMA – Pasterova, TEC2- Višegradска, TEC1- parna kotlarnica u bulevaru JA) kao i 16 lokalnih kotlarnica u zgradama pojedinih ustanova. Kao osnovno gorivo, ove tri centralne toplane su koristile mazut, tri lokalne kotlarnice lako lož ulje, a preostalih 13 su koristile ugalj. Ukupna instalisana toplotna snaga ovih postrojenja bila je oko 77 MW (prikaz dat na slici br.1). Na navedene toplotne izvore, preko sopstvenih podstanica različitih tipova (parne, indirektnе, direktne) – ukupan broj postojećih podstanica iznosio je 38, snabdevalo se oko 60 objekata povezanih direktno na podstanicu ili sekundarnim razvodom na neku od podstanica, tj. kotlarnica. Spoljni sistem cevovoda bio je koncipiran kao “četvorocевni” (primar razvod-povrat, sanitarna topla voda iz centralne pripreme u kotlarnici u Pasterovoj ili TEC 2, odnosno recirkulacija STV). Pored ovoga, iz toplana ili iz lokalnih kotlarnica, parovodima do lokalnih redukcionih stanica, snabdevani su potrošači pare za tehnološke potrebe, potrebe sterilizacije, rada kuhinje i perionica. Ukupna dužina trasa spoljnјeg razvoda iznosila je oko 5 km. Kanali za prolaz cevi bili su različitog tipa: betonski prohodni, poluprohodni, neprohodni...



Slika br.1 Dispozicija postojećih kotlarnica pre rekonstrukcije sistema

Novi sistem

Osnovni zadatak projekta bio je gašenje svih lokalnih kotlarnica i obezbeđivanje pouzdanog, efikasnog i modernog centralizovanog snabdevanja toplotnom energijom i parom svih potrošača u kompleksu kliničkog centra. U funkciji je jedino ostavljena lokalna kotlarnica u Bulevaru JA koja služi isključivo za proizvodnju pare neophodne za rad perionice za potrebe infektivnih klinika.

Lokacija novog toplotnog izvora je na mestu postojeće kotlarnice „Stara VMA“ u Pasterovoj ulici. Postojeći objekat je potpuno građevinski rekonstruisan i proširen sa kompletno novim vrelovodnim postrojenjem, parnim postrojenjem i postrojenjem za kombinovanu proizvodnju toplotne i elektro energije (CHP postrojenje).

Kompletna cevovodna mreža je nova, kao i oprema za 52 lokalne toplotne podstanice indirektnog tipa. Sistem za distribuciju pare i povrat kondenzata do podstanica je potpuno nov.

Pre početka izrade Idejnog projekta, pristupilo se sagledavanju i verifikaciji ukupnog konzuma. Kao ulazni podaci za projekat, od velikog značaja su bili i specifičnosti režima rada ovakvog sistema kao što su 24 h grejanje pojedinih objekata, prelazni režimi rada grejanja u jesen i proleće, kao i odgovarajuće vršne dnevne i časovne potrošnje STV.

Konzum

Verifikovana su toplotna opterećenja za grejanje i klimatizaciju, zatim potrošnja tople sanitarne vode (STV) i potrošnja tehnološke pare svih potrošača u okviru kompleksa Kliničkog Centra Srbije.

Radijatorsko grejanje i klimatizacija

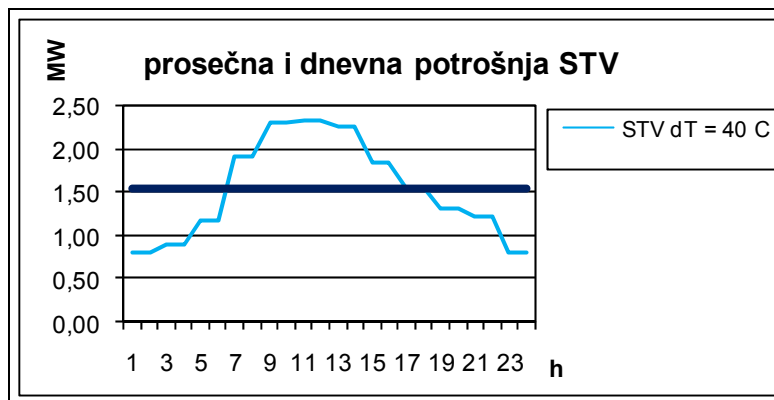
Verifikacija navedenih podataka vršena je na sledeći način: pregledom postojeće dokumentacije – proračuni toplotnih gubitaka i potreba za toplotnom energijom; korišćenjem preporučenih normativa (specifično toplotno opterećenje po kvadratnom metru površine) i proračunom na osnovu poznatih površina; snimanjem na terenu – prebrojavanjem grejnih tela. Kako su postojeći objekti, zgrade starog tipa gradnje sa lošom toplotnom izolacijom zidova, krova, starom drvenom stolarijom itd. - toplotni gubici su bili veoma veliki. Analizom podataka o površini – dimenzijama objekta i potrošnji toplotne energije i proračunatog toplotnog opterećenja, zaključeno je da je isto mnogo veće od uobičajenih vrednosti koje se preporučuju standardima ($q=30-40 \text{ W/m}^3 / 150 \text{ W/m}^2$). U cilju poboljšanja energetske efikasnosti, odvojeno od ovog projekta, izrađena je studija – “Projekat energetske efikasnosti Srbije – komponenta B rekonstrukcija zgrada i faza” u kojoj su prikazane energetske uštede primenom odgovarajućih mera (zamena izolacija zidova, podova krova, zamena prozora novim PVC prozorima itd.). Na osnovu analize podataka iznesenih u ovoj studiji, utvrđeno je prosečno smanjenje potreba za toplotnom energijom u zavisnosti od načina rekonstrukcije zgrade i to smanjenje iznosi oko 25 %.

Na osnovu navedenog, u koloni 4 tabele br.1, dato je redukovano toplotno opterećenje za radijatorsko grejanje uzevši u obzir da se kod pojedinih objekata, realno može očekivati da će u doglednoj budućnosti biti rekonstruisani ili je rekonstrukcija u toku.

Sanitarna topla voda (STV)

Za određivanje kapaciteta toplotnog dela CHP postrojenja, koristili su se podaci o potrebama za STV na osnovu izmerenih vrednosti realne potrošnje. Merenja su vršena na sadašnjim centralnim mestima za pripremu STV (u kotlarnicama u Pasterovoj i Višegradskoj ulici) u toku 7 dana 24 časa dnevno. Po sagledavanju postojeće opreme na terenu, normativ potrošnje iznosio je oko $180 \text{ m}^3/\text{h}$, a po izvršenim merenjima formirana je kriva potrošnje kao zbir podataka (mereno je oko 30% konzuma) sa procenjenom potrošnjom objekata kod kojih nije vršeno merenje. Normativ za dimenzionisanje novog sistema za pripremu STV zadat tenderom je $10/60^\circ\text{C}$ ($\Delta t = 50^\circ\text{C}$). U svakom slučaju, prilikom vršenja merenja sistem pripreme STV u KCS funkcionisao je na nižem

temperaturskom režimu. Tadašnja merenja (mart 2005.) pokazala su da iz kotlarnice u Pasterovoj (koja je predstavljala oko 20 % od ukupne potrošnje STV u kompleksu KCS) temperatura STV iznosila je oko 50°C. Iz kotlarnice u Višegradskoj (predstavlja oko 10 % od ukupne potrošnje STV u KCS) temperatura STV iznosila je 60°C, a iz drugih izvora od 40 do 50°C (procenjena i na pojedinim slavinama merena vrednost). Na osnovu ovoga, procenilo se da je prosečna temperatura STV bila oko 50°C kod potrošača na slavinama (odnosno $\Delta t = 40^\circ\text{C}$).



Slika br 2. - Potrošnja STV u MW sa temperaturskom razlikom $\Delta t = 40^\circ\text{C}$ snimano stanje

Sa srednjom realnom temperaturskom razlikom $\Delta t = 40^\circ\text{C}$ ($10/50^\circ\text{C}$) srednje opterećenje STV u MW iznosi 1,53 MW (maksimum 2,3 MW i minimum 0,8 MW). Za projektovano $\Delta t = 50^\circ\text{C}$, protoci potrošnje će biti niži, što dopušta i rezervu za neke buduće nove potrošače.

Tehnološka para

Konzum je definisan snimanjem na terenu postojeće opreme potrošača, i na osnovu postojeće dokumentacije. Podaci su dati kao instalisan kapacitet opreme. Vodena para se u kompleksu KCS koristi za potrebe klimatizacije, tehnologije, sterilizacije i perionice. Na novu energanu priključeni su sledeći potrošači: KCS – izgrađeni deo Poliklinika (CP2): ukupno za potrebe klimatizacije i sterilizacije: 3070 kg/h; KCS - Poliklinika deo pod izgradnjom (ostavljen je priključak) – buduće potrebe za klimatizaciju i sterilizaciju: 6400 kg/h; Centralna kuhinja – tehnološke potrebe: 2000 kg/h; Centralna apoteka – za potrebe sterilizacije: 1300 kg/h; Institut za ginekologiju i akušerstvo – za ukupni kapacitet 1000 kg/h. Ostali potrošači tehnološke pare, vodenu paru dobijaju iz lokalnih izvora unutar samih objekata: „ Institut za bolesti digestivnog sistema“ iz novog elektro parogeneratora (kapacitet 105 kg/h / radni $p = 2,9$ bar), a „ Institut za kardio-vaskularne bolesti“ iz novog elektro parogeneratora (kapacitet 90 kg/h / radni $p = 2,9$ bar). Postojeći objekat „Perionica infektivnih klinika“, snabdeva se kao i do sada iz kotlarnice u Bulevaru JA.

	Radijatorsko grejanje (kW)	Klimatizacija (kW)	Usvojeno ukupno r.grejanje i klimatizacija (kW)	Potrošnja STV (l/h)	Suvozasićena para (kg/h)	Površina objekta koja se greje (m ²)
Ukupno objekti u izgradnji	1600	4000	5600	30000	6400	22896
Ukupno postojeći objekti	42473	10912	46950	180400	10700	334078
UKUPNO	44073	14912	52550	210400	17100	356974

Tabela br.1- Ukupan konzum i površine potrošača

Nova energana

Kompletno postojeće parno postrojenje (tri parna kotla (pritisak pare 12 bara/gorivo mazut, sledećih kapaciteta- 2x8000 kg/h i 1x12000 kg/h, sa pripadajućom opremom izmenjivačkom stanicom za grejanje i sistemom za centralnu pripremu STV) se demontiralo, postojeći objekat se osim manjeg betonskog dela porušio, izvršena je kompletna građevinska rekonstrukcija tog dela prostora i izgradnja uz postojeći deo nove mašinske sale, kao i nove sale, u produžetku, za smeštaj CHP postrojenja. Osnovno gorivo za rad novog postrojenja je prirodni gas, dok se kao rezervno gorivo predviđa mazut. U tu svrhu izgrađena je i nova MRS u krugu kompleksa, kao i napojni gasovod za energanu (predmet posebnog projekta). Postojeći rezervoari mazuta su rekonstruisani (2x400m³), a ceo postojeći sistem pripreme i razvoda mazuta zamenjen je novim potrebnog kapaciteta. Novo postrojenje se sastoji iz tri međusobno povezane tehnološke celine: vrelovodnog postrojenja, parnog postrojenja i postrojenja za kombinovanu proizvodnju elektro i toplotne energije CHP. Po analizi konzuma, sa usvojenim ukupnim toplotnim gubicima od 2%, u skladu sa primenom standarda JUS M.E6.011, određena je priključna snaga toplotnog izvora.

	Toplotno opterećenje (kW)	Toplotni gubici (KW)	UKUPNO kW
SADAŠNJE STANJE	46950	940	47850
BUDUĆE STANJE	52550	1060	53610

Tabela br.2 - Određivanje priključne snage toplotnog izvora

Za potrebe pripreme tople vode za grejanje, klimatizaciju i sanitarnu vodu, paralelnim radom vrelovodnih kotlova, parnih kotlova sa izmenjivačem toplote para –voda i radom CHP postrojenja sa akumulacijom na primarnoj strani, celokupan konzum, i posle završetka izgradnje objekata u kompleksu, KCS biće zadovoljen.

Filozofija rada sistema determinisana je zimskim, letnjim i prelaznim režimima rada postrojenja, kao i specifičnim zahtevima potrošača u krugu bolnica. Kako se potrošači snabdevaju preko indirektnih toplotnih podstanica za pripremu tople vode za grejanje i tople STV, dvocevni sistemom spoljnog razvoda primara (vrela voda, temperaturnog projektnog režima 130/75 °C), radom cirkulacionih pumpi sa integrisanim frekventnim regulatorom, ostvaruje se cirkulacija u primarnom krugu. Regulacija rada pumpi diktirana je zadatim raspoloživim pritiskom na ulazu u podstanicu kod najudaljenijih potrošača (Veterinarski fakultet i Hitna pomoć) od 1 bara. Osnovno je da u zimskom periodu kompletne potrebe za grejanjem i ventilacijom pokrivaju vrelovodne kotlovske jedinice. Pored ovih jedinica u snagu toplotnog izvora ulazi i toplotni izmenjivač (para-voda toplotne snage 3 MW), kao i toplotna snaga gasnog motora od min.1,8 MWt (instalirano 2 MWt). S obzirom na paralelno priključenje izmenjivača za pripremu STV u paketnoj podstanci «tip A», snabdevanje primarnog kruga izmenjivača STV vrši se «delom primarnog protoka» ostvarenim radom gasnog motora u efikasnom režimu, i «delom protoka» vrela vode kotlova.

Tokom letnjeg režima rada, bazno napajanje izmenjivača STV vršiće se protokom primarne tople vode pripremljene radom gasnog motora (prosečno opterećenje rada motora cca. 70%). Maksimalna iskorišćenost toplote ostvarena radom gasnog motora postiže se radom automatike, odgovarajućim cevima uz mogućnost korišćenja cevovoda mreže kao akumulatora na strani primara, kao i dodatnog akumulatora zapremine od 40 m³ smeštenog u kotlarnici. Vršna potrošnja sanitarne tople vode obezbeđuje se plasiranjem dodatnog protoka primarne vode uključivanjem u rad izmenjivača para-voda toplotne snage 3 MW. Na osnovu navedenog, usled razlike u protocima primara tokom zimskog i letnjeg režima rada, instalirane se cirkulacione pumpe sa frekventnim regulatorima i to jedan tip pumpi za zimski režim rada (radna+rezervna) i jedan tip pumpi za letnji režim rada (radna+rezervna).

Regulacija primenjena u sistemu je kvalitativno-kvantitativna, i rad sistema se vodi preko centralnog sistema upravljanja (kontrolna soba u energani) uz promenu temperature polazne vode daljinskog grejanja po spoljnoj temperaturi okolnog vazduha preko mešnog regulacionog ventila i promenu protoka primara u skladu sa zadatim uslovima i minimalnim raspoloživim pritiskom od $p=1$ bar za podstanicu najudaljnijeg potrošača (na zapadnoj strani objekat br.61 – «Hitna pomoć», odnosno na istočnoj strani objekat br 55- «Veterinarski fakultet»).

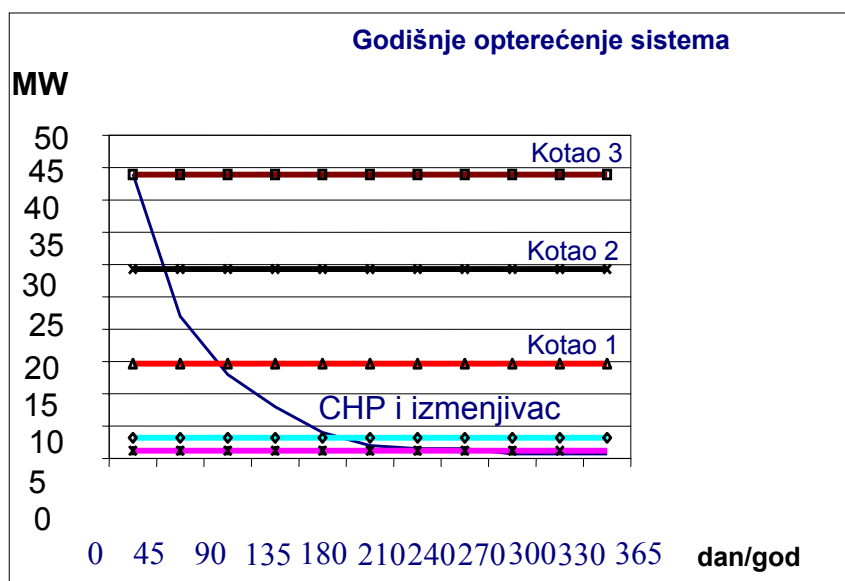
Kotlovske jedinice rade sa promenljivim protokom (automatska regulacija po zadatim uslovima). Vrednosti temperature razvodne i povratne vode određene su po spoljnoj temperaturi i zahtevima najviše unutrašnje projektne temperature u prostorijama intenzivne nege, odnosno sračunate prosečne temperature u prostorijama od $21,2^{\circ}\text{C}$.

Za krug bolnica, grejna sezona traje u proseku 212 dana i prekid grejanja je kada je spoljna temperatura iznad 15°C (ne važi za operacione sale). S obzirom da je u pitanju kompleks bolnica, unutrašnje projektne temperature zavise od namene prostora, na primer administracija 20°C , bolesničke sobe 22°C , operacione sale 24°C , intenzivna nega 27°C . Takođe, s obzirom na specifičnost sistema razlikuju se: dnevni režim od 6-21 h tokom celog grejnog perioda ; noćni režim od 21-6 h samo za određene objekte u kompleksu KCS; prelazni režim – za objekte sa produženom grejnom sezonom. Preraspodela kapaciteta vrelovodnih kotlova urađena je prevashodno na bazi konzuma definisanog prema projektnoj spoljnoj temperaturi od -18°C .

	Prva faza	Završna faza
Vrelovodni kotao VV1	16,2 MW	16,2 MW
Vrelovodni kotao VV2	16,2 MW	16,2 MW
Vrelovodni kotao VV3	8 MW	8 MW
Vrelovodni kotao-nije instalisan		9,9MW
CHP	1,8 MWt (2 MWt)	1,8 MWt
izmenjivač toplote para-voda	3MW	3 MW
UKUPNO	45,2MW	55,1 MW

Tabela br.3 - instalisana oprema kao toplotni izvor

Trenutno toplotni kapacitet energane iznosi 45,2 MW (kada stratuje i CHP), a u završnoj fazi toplotni kapacitet energane iznosiće 55,1 MW. Svaki kotao radi pod opterećenjem 20-100 % zavisno od potreba konzuma, s tim da se stepen efikasnosti pojedinačnih kotlovskih jedinica i celog sistema ne menja (projektovano 93% pri punom opterećenju). Kako je za završnu fazu, ukupna potreba za energijom 53,61 MW, rezerva kapaciteta iznosi 1,49 MW.



Slika br 3.
Opšta kriva rada sistema- projektovano

Sva prateća oprema postrojenja dimenzionisana je za kapacitet završne faze (sistem za održavanje pritiska - otvorena ekspanziona posuda $V=10\text{m}^3$, pumpe za pritisak održavanja od 2,5 bara; sistem za pripremu vode jonoizmenjivački filteri ($2 \times 18\text{m}^3/\text{h}$) i sistem za kondicioniranje vode, itd).

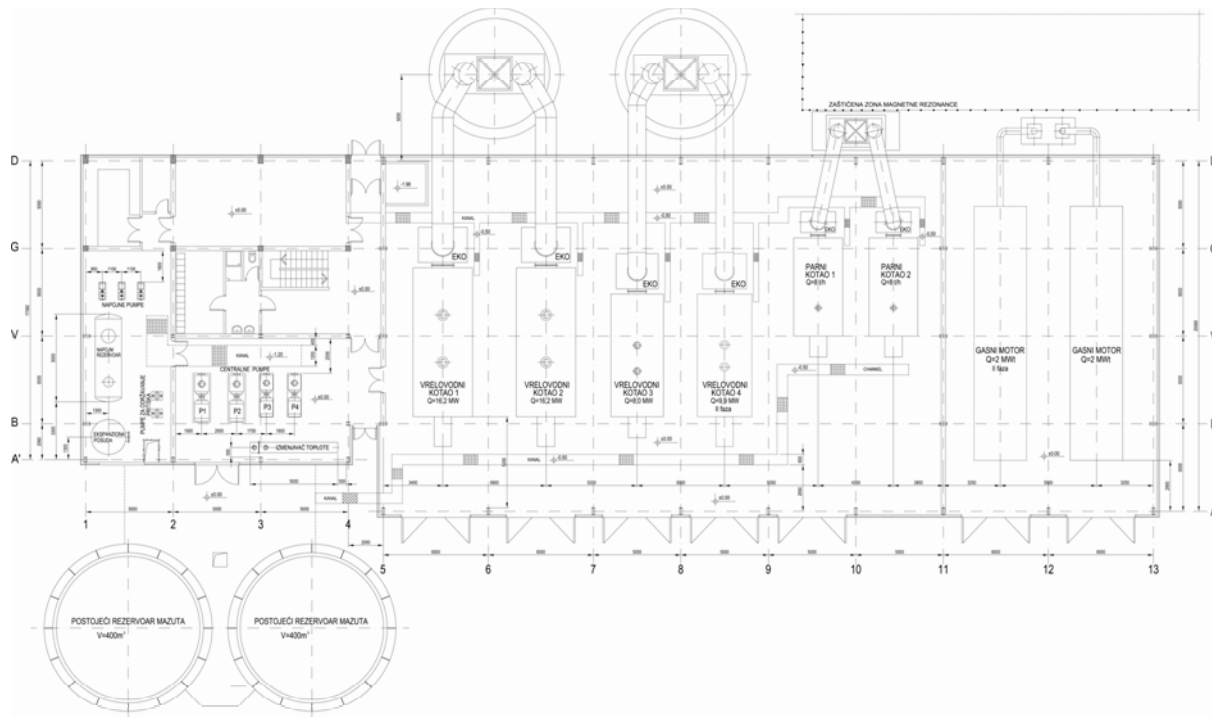
Parni kotlovi i toplotni izmenjivač para-voda

Kako potrebe navedenih potrošača za tehnološkom parom nisu kontinualne (rad sterilizatora je po ciklusima na primer), izabrani parni kotlovi kapaciteta $2 \times 8 \text{ t/h}$ suvozasicene vodene pare radnog pritiska max. 12 bara, u potpunosti zadovoljavaju potrošnju i za konačnu fazu. Za prvu fazu rada, dovoljan je kapacitet jednog parnog kotla, dok se u završnoj fazi (kada se izgradi nova centralna perionica), predviđa rad oba kotla istovremeno. Svi kotlovi u novoj energani su „Viessmann“ proizvođača blok izvedbe, sa integrisanim ekonomajzerima za rad na prirodni gas. Gorionici su kombinovanog tipa „Saacke SKVG-A“ za rad na prirodni gas i mazut. Svaki kotao opremljen je sopstvenom automatikom i mernom opremom integrisanom u sistem centralnog upravljanja cele energane.

Instalisani parni kotlovi	
Parni kotao SB1, suvozasicena vodena para 12 bar	8 t/h
Parni kotao SB1, suvozasicena vodena para 12 bar	8 t/h

Tabela br.4 - Instalirani parni kotlovi u energani

Deo vodene pare, osim za sopstvene potrebe (grejanje rezervoara, mazutne instalacije), koristi se za rad cevnog izmenjivača toplote para-voda ($Q=3\text{MW}$) za pripremu primarnog kruga tople vode, prilikom letnjeg režima rada za potrebe pripreme tople sanitarne vode. Napojni rezervoar ($V=10 \text{ m}^3$) sa degazatorom lociran je na čeličnoj konstrukciji na koti +4,00 metra od kote poda rekonstruisanog dela objekta. U funkciji su 4 (3+1) napojne pumpe parnih kotlova. Povrat kondenzata (iz izmenjivača i od potrošača koji paru koriste za tehnološke potrebe) vrši se preko spoljnog razvoda cevovoda u rezervoar kondenzata (kota -3,50 m u rekonstruisanom delu kotlarnice). Zapremina rezervoara kondenzata iznosi $V=8\text{m}^3$. Za transport kondenzata nazad u napojni rezervoar koriste se pumpe kondenzata (3+1).



Slika br 4. – Dispozicija opreme-Tender dokumentacija i Idejni projekat

Kogeneraciono CHP postrojenje

Pored mašinske hale sa kotlovima, u nastavku zgrade sagrađen je prostor za smeštaj kogeneracionog postrojenja. Instalisan je gasni motor sa generatorom, proizvođača “GE Jenbacher”, maksimalne toplotne snage 2048 kW, odnosno maksimalne električne snage 1822 kW, nazivni napon 0,4 kV u kompletu sa svom pratećom opremom (hladnjacima, pumpama, automatikom, elektro opremom itd.), dok je za drugi motor istog kapaciteta predviđen samo građevinski prostor. U skladu sa vršenim merenjima i analizom rezultata, ovo CHP postrojenje će uz rad toplotnog izmenjivača para – voda i primenu dodatnog akumulatora primarne vode (u noćnom periodu) za letnji režim rada obezbediti pouzdano snabdevanje konzuma sanitarnom toplom vodom. Izvršeno je paralelno priključenje CHP (kao dopunski izvor električne energije) na 10kV naponskom nivou u trafostanici TS B-806 koja se nalazi u objektu Poliklinike. Sa takvim načinom povezivanja, obezbeđena je dodatna sigurnost u napajanju na 10kV naponskom nivou kompleksa KCS. U neposrednoj blizini energane, nalazi se trafo stanica TS B-1590 10/0,4kV koja se ovim projektom rekonstruisala i proširila i sa koje se napajaju niskonaponski potrošači u energani. U ovoj trafostanici postoji dizel agregat snage 240kVA, 0,4kV za napajanje niskonaponskih kritičnih potrošača. Na 10kV naponskom nivou ova trafostanica je već povezana sa različitim 10/0,4kV trafostanicama Elektro distribucije Beograd (napajanje sa više pravaca). U toku su finalne pripreme za startovanje kogeneracionog postrojenja.

Potrošnja goriva

Kao što je već rečeno osnovno gorivo za rad energane je prirodni gas, a rezervno mazut. Prirodni gas (opseg pritiska 1-4 bar g) se podzemnim cevovodom DN250 dovodi do energane iz nove MRS locirane u krugu kompleksa.

Max.potrošnja goriva	Prirodni gas Nm ³ /h	Mazut t/h
Vrelovodni kotao VV1 i VV2 (2x 16,2 MW)	2x1837 m ³ /h	2x1,5 t/h
Vrelovodni kotao VV3 (8,0 MW)	907 m ³ /h	0,8 t/h
CHP gasni motor	460 m ³ /h	
Parni kotlovi (2x8t/h)	2x450 m ³ /h	2x0,4 t/h
UKUPNO	5941 m ³ /h	4,6 t/h

Tabela br.5- Maksimalna potrošnja goriva po instalisanjoj opremi

Svaki gorionik ima svoj upravljački sistem,u okviru kojeg su i merenja potrošnje goriva koja se prikazuju i sabiraju u centralnom kontrolnom sistemu energane.

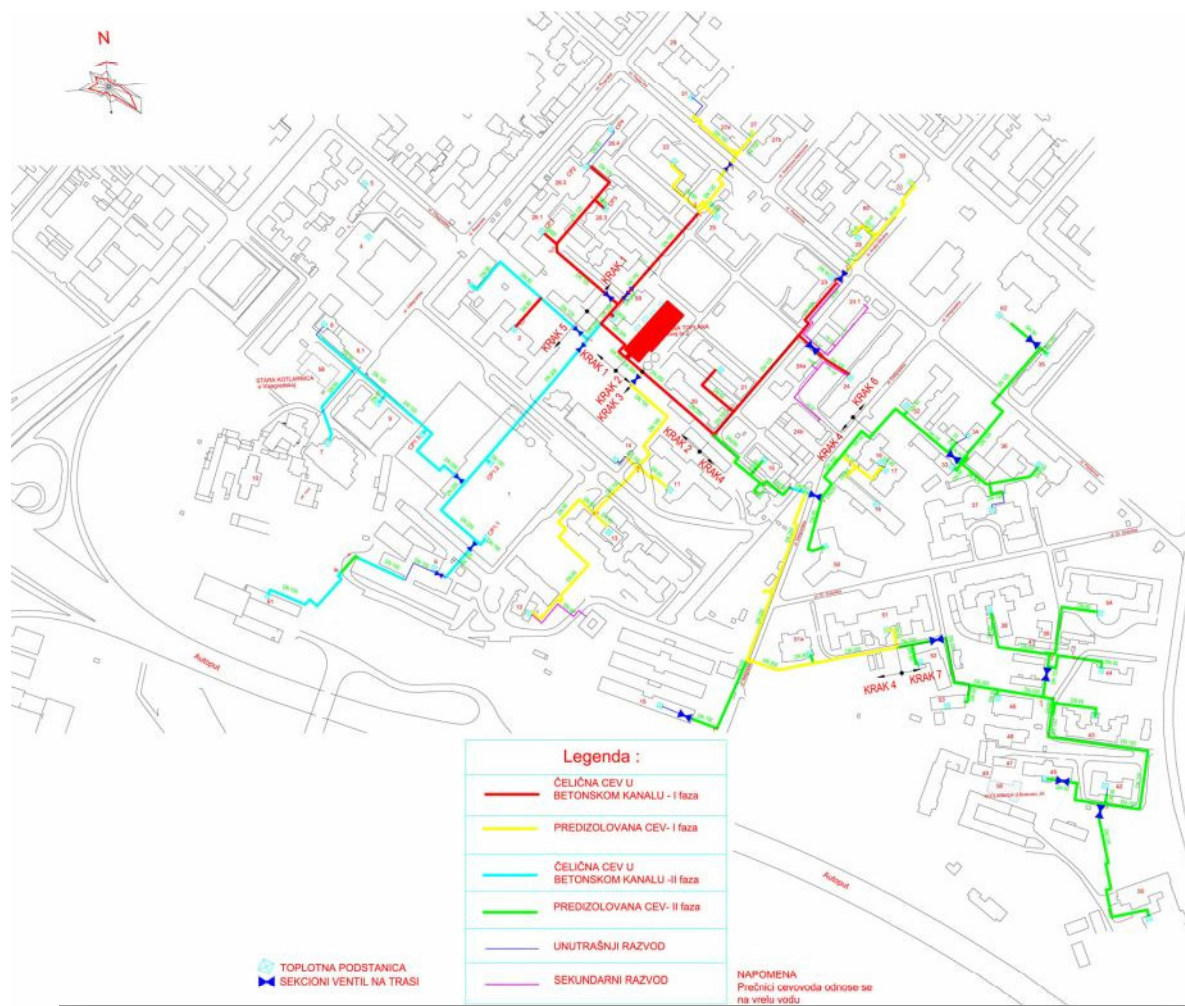


Slika br 5. – Izgled nove energane

Spoljni razvod energetske fluida i toplotne podstanice

Kako je već rečeno, sistem distribucije toplotne energije je dvocevni spoljni razvod vrele vode projektnog temperaturnog režima 130/75 °C, na koji su povezane nove termopodstanice indirektnog tipa sa jednim (za grejanje –tip B) ili dva izmenjivača (jedan za grejanje, jedan za pripremu STV-tip A) u zavisnosti od potrebe objekta. Podstanice su paketnog tipa, što znači da su u potpunosti opremljene sa izmenjivačima, pumpama, cevovodima, kontrolnom jedinicom, tako da se prilikom instalisanja vršilo povezivanje kompletnog paketa sa okolnim instalacijama. Osim novih paketnih podstanica, s obzirom na starost opreme i u sekundarnom delu, u većini slučajeva su zamenjeni sabirnici i razdelnici tople vode za grejanje, u kompletu sa zapornom i balansnom armaturom.Na celom kompleksu, instalisano je ukupno 55 paketnih podstanica (u 52 građevinski prethodno srušenih prostorija). Do ovih podstanica se preko potpuno novog primarnog cevovoda (povrat /razvod) distribuira vrela voda iz energane.

Prilikom projektovanja, s obzirom da se radi o uređenom kompleksu sa postojećom infrastrukturom, ulicama iskorištene su u maksimalnoj meri postojeće trase (razni kanali i prolazi), i postavljeni su i međusobno povezani različiti tipovi cevovoda (standardni cevovodi u betonskim kanalima, kao i predizolovani cevovodi položeni u rov). Ukupna dužina svih trasa je oko 6 km. Samo izvođenje, s obzirom na značaj objekata, vršeno je planski i u fazama tako da se omogući neprekidno snabdevanje bolnica STV.

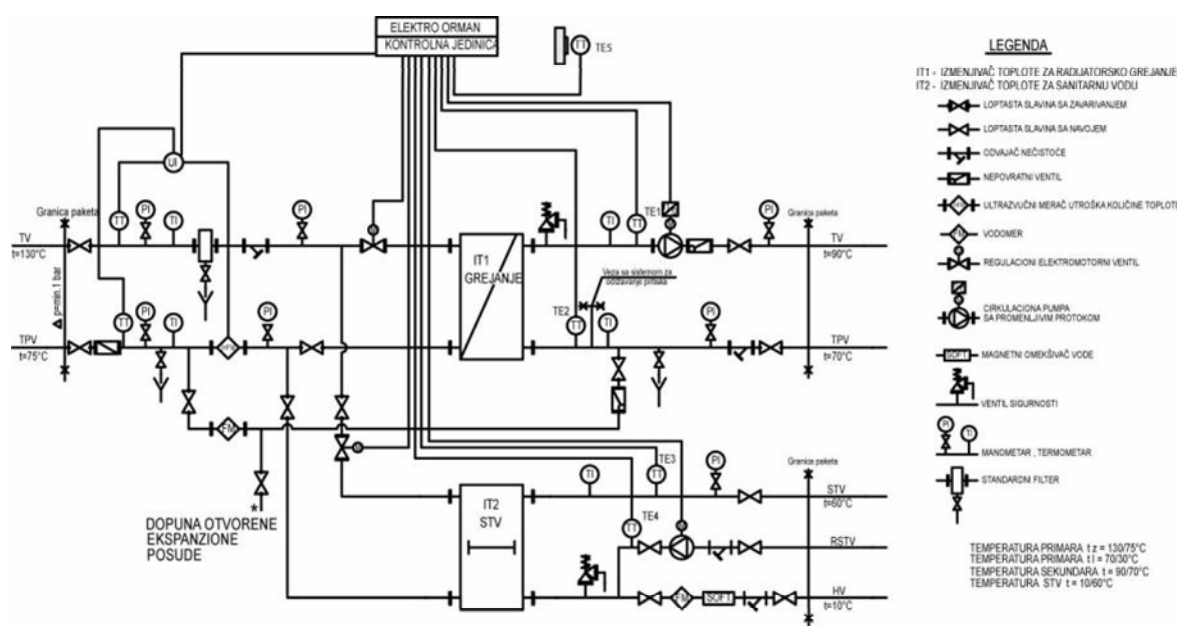


Slika br 6. – Dispozicija spoljnjeg razvoda fluida

Na tehnološkoj šemi podstanice, slika br.7, dat je kompletan prikaz rada podstanice. Lokalna regulacija rada izmenjivača za grejanje ostvaruje se radom regulacionog ventila na strani primara po spoljnoj temperaturi i temperaturama razvodne i povratne vode, dok se za izmenjivač sanitarne vode ostvaruje radom regulacionog ventila na strani primara, na zadatu izlaznu temperaturu sanitarne tople vode od 60 °C. Na ulaznom delu primara u podstanicu predviđa se merenje utrošene toplotne energije, dok se na strani hladne vode posle magnetnog omekšivača predviđa vodomer. Uglavnom se za održanje pritiska u sekundarnom krugu grejanja, za manje potrošače postavljao nov membranski sud ili nov paketni diktir sistem, dok se u manjem broju slučajeva iskorištavao i postojeći otvoreni sud u potkrovlju objekta. Svaka podstanica je kompletno opremljena mernom i regulacionom armaturom i povezana na novi centralni sistem nadzora i upravljanja u kontrolnoj sobi u novoj energiji. Oprema podstanice omogućava daljinsko praćenje i kontrolu svih važnih parametara rada (utrošena toplota, temperature razvoda i povrata, trenutni toplotni fluks, prekid – start pumpi), zatim mogućnost produženog rada ili isključenja pojedinih potrošača. U podstanicama sa naglašenim značajem, (na primer podstanica GAK-a i podstanica dečje klinike u Tiršovoj), pored pripreme STV preko protočnih izmenjivača, postavljeni su i na paketnu podstanicu povezani i rezervni akumulatori STV, sa elektro grejačima u cilju dodatne pouzdanosti snabdevanja.

Iz toplane se glavnim parovodom DN250, suvozasiceana para (radni pritisak 6 bara) distribuira kroz postojeće i nove prohodne kanale do lokalnih rekonstruisanih redukcionih stanica, odakle se postojećim cevovodima dovodi do samih potrošača. Ostavljen je i priključni cevovod DN125 (za

suvozasicenu paru, radni pritisak 12 bar), za snabdevanje centralne perionice čija se izgradnja planira u budućnosti.



Slika br. 7 – Tehnološka šema paketne toplotne podstanice

U pojedinim podstanicama, smešteni su i lokalni rezervoari kondenzata iz kojih se preko lokalnih pumpi, kondenzat vraća nazad u glavni rezervoar kondenzata u kotlarnici. U cilju, što bolje energetske efikasnosti sistema, sav upotrebljivi kondenzat (osim kod potrošača koji direktno koriste paru, kao što su na primer perionice), uključujući i odvodnjavanje parovoda, se vraća preko pumpnog kondenznog voda DN65 u glavni rezervoar kondenzata u energani. S obzirom, na položaj lokalnih otvorenih rezervoara kondenzata (prostorije ispod nivoa u centralnim zonama objekata), posebnim sistemom hlađenja otparka sprečilo se vidno otparavanje u prostor podstanica.

Efikasnost postrojenja, uticaj na životnu sredinu sa aspekta aerozagadenja i aspekta zaštite od buke

Kompletan sistem zatečen je u vrlo lošem stanju, sa velikim toplotnim i masenim gubicima kako u proizvodnom delu, tako i u delu same distribucije toplotne energije i suvozasicene pare. Pre svega, radom novog postrojenja ostvarilo se pouzdano snabdevanje potrošača visokog prioriteta. Primenom opreme sa visokim koeficijentom efikasnosti (merenja i provere će biti izvršene po potpunom kompletiranju sistema), primenom prateće opreme sa integrisanim frekventnim regulatorom (cirkulacione pumpe, ventilatori svežeg vazduha), uz rad automatskog centralizovanog sistema upravljanja i nadzora svih parametara - sve do krajnjeg korisnika, dobio se tehnoekonomski dobar, pouzdan i moderan sistem. Suvišno je i govoriti kakav je uticaj u prošlosti na životnu sredinu imao istovremeni rad onolikog broja lokalnih kotlarnica na ugajl i mazut. Tenderskom dokumentacijom, zadata je dozvoljena emisija produkata sagorevanja prema „TA-luft“ standardima. Instalirano je i integrisano u centralni sistem nadzora merenje zagađenja: koncentracije dimnih gasova, kao i eventualne havarijske pojave mazuta u odmuljnoj jami kotlarnice. Tenderskom dokumentacijom, definisan je i nivo buke postrojenja, a u skladu sa standardima za odgovarajuće prostore u bolničkom kompleksu. U skladu sa tim oprema je izvedena sa dodatnim zaštitama od buke (ventilatori vazduha u zaštitnim komorama, CHP postrojenje građevinski izdvojeno sa odgovarajućim rešenjima za prigušivanje buke). Po puštanju CHP postrojenja u rad, izvršiće se merenja nivoa buke. Dosta je teško napraviti u ovom momentu (kontrolni sistem još uvek u procesu usavršavanja i postrojenje još uvek nije radilo kao optimalno naregulirano u dužem periodu), analizu efikasnosti rada sistema sa aspekta potrošnje goriva. Po

dostupnim podacima o nekadašnjoj godišnjoj potrošnji goriva za kompleks KC (trošeno je 11500 t mazuta, 645 t lakog lož ulja i 7000 t uglja), kao i uz podatak da je potrošnja prirodnog gasa novog postrojenja za 2008.god. iznosila cca.5505800 Nm³, preračunavanjem na ekvivalentno uslovno gorivo ($H_d=29300\text{kJ/kg}$) jasno se pokazuje redukcija potrošnje goriva. Po proračunu sa preporučenim donjim toplotnim moćima goriva, potrošnja uslovnog goriva na godišnjem nivou u prošlosti je iznosila oko 20700 t uslovnog goriva, dok se po podacima potrošnje prirodnog gasa za prošlu godinu, ta potrošnja kreće oko 8840 t uslovnog goriva. Ukoliko se izračuna i nekakav utrošak toplotne energije po m² grejanih površina (sračunato kao toplotni kapacitet potrošenog goriva po jedinici površine objekata koji se greju (nije došlo do povećavanja ove površine do sada, usvojeno 334078 m²) može se steći orijentaciona slika o doprinosu novog sistema i iz ovog ugla. U prošlosti, ovaj utrošak na godišnjem nivou iznosio je oko 1700 MJ/m², a za podatke iz 2008. godine oko 550 MJ/m². Izneti proračuni su dati kao orijentacija o redu veličina (na godišnju potrošnju goriva utiče niz spoljnjih faktora). Po kompletiranju celog sistema, kao i praćenju svih relevantnih parametara u dužem periodu (više grejnih sezona), uradiće se preciznije analize o funkcionalnosti i radu postrojenja.

Literatura:

1. Idejni projekti poboljšanja energetskog snabdevanja kompleksa Klinički Centar Srbije, Mašinoprojekt KOPRING, Beograd 2005.
2. Design documentation (Preliminary Design), Bidding Documents and Technical Specifications for a gas engine Combined Heat and Power Plant, being Component A. of the World Bank (IDA) financed "Serbia Energy Efficiency Project" (Project No. P075343, IDA Credit No.3870YF), Belgrade 2005.
3. Termoenergetska studija kompleksa Kliničkog Centra Srbije i okolnih objekata, Mašinoprojekt KOPRING, Beograd 2001.
4. Feasibility study on conversion and improvements of Energy Supply System in the Clinical Centre of Serbia, Energoprojekt ENTEL 2003.
5. Glavni projekti izvedenog stanja (LOT1-Energoprojekt Oprema, LOT2-Projektomontaža), Beograd 2008.
6. Daljinsko grejanje, Vujović/Đurković, Beograd 1984.
7. Tehnička dokumentacija službe KCS, Beograd

Evropski standardi za peletirana i briketirana biogoriva

Uvod

U većini evropskih zemalja nema donetog specifičnog propisa za određivanje kvaliteta peleta i briketa. Uglavnom se primenjuju propisi za biomasu. Samo nekoliko zemalja ima specifične propise. Zvanične standarde kvaliteta za čvrsta biogoriva trenutno imaju tri zemlje: Austrija (ÖNORM M1735 za brikete i pelete), Švedska (SS 187120 za pelete i SS 187121 za brikete) i Nemačka (DIN 51731 za brikete i pelete). Danska i Finska su odlučile da čekaju kompletiranje zajedničkog standarda kvaliteta za evropske zemlje. Evropski peletni centar (EPC), koji je sa sedištem u Danskoj i objedinjava rad 18 evropskih zemalja, doneo je sveobuhvatno definisani standardni metod za analizu i klasifikaciju peleta koji je prikazan u izveštaju CEN/TS 14961.

Diskusija

U tabeli 1 uporedno su dati standardi kvaliteta kod nekoliko evropskih zemalja i novi predlog CEN sistema klasifikacije za pelete. Skraćenica CEN označava Classification European Normative, odnosno evropski klasifikacioni normativ za donošenje standarda kvaliteta. Standard kvaliteta za pelete u evropskim zemljama dat je na sajtu www.pelletcentre.info-Project Results, Quality Standards.

Na sl. 1 prikazan je izgled briketa od piljevine, a na sl. 2 dat je izgled peleta, takođe, od piljevine. Dimenzije briketa iznose: prečnik \varnothing 20 – 120 mm, dužina l_{max} = 400 mm. Dimenzije peleta su: prečnik \varnothing 4 – 20 mm, dužina l_{max} = 100 mm. To znači da je dimenziona granica između peleta i briketa prečnik od 20 mm.

Rezime

Poznata je činjenica da je pre šest godina u Evropi formirano tržište energetskih peleta i briketa od biomase. Na osnovu pregleda literature i saznanja iz prakse može da se konstatuje da još uvek nema konačno usaglašenog jedinstvenog standarda kvaliteta za proizvodnju energetskih peleta i briketa. Ove standarde donele su Austrija (ÖNORM M1735 za brikete i pelete), Švedska (SS 187120 za pelete i SS 187121 za brikete) i Nemačka (DIN 51731 za brikete i pelete). Ostale zemlje koriste standarde od navedenih zemalja. Na primer, Finska koristi standard od Švedske. Evropski peletni centar (EPC), koji je sa sedištem u Danskoj i objedinjava rad 18 evropskih zemalja, doneo je sveobuhvatno definisani standardni metod za analizu i klasifikaciju peleta koji je prikazan u izveštaju CEN/TS 14961. Skraćenica CEN označava Classification European Normative, odnosno evropski klasifikacioni normativ za donošenje standarda kvaliteta. Standard kvaliteta za pelete u evropskim zemljama dat je na sajtu <http://www.pelletcentre.info-Project Results, Quality Standards>. Neke zemlje koriste ovu preporuku za standard kvaliteta dok se ne donese sopstveni ili zajednički standard. Naša zemlja oslanja se uglavnom na nemački standard kvaliteta DIN 51731/DIN plus, kao i na internacionalni standard ISO 12937 (za sadržaj vlage) i ISO 6245 (za sadržaj pepela). Prilikom izvoza peleta ili briketa treba imati na umu da se koristi standard kvaliteta zemlje u koju se roba izvozi ili ako ta zemlja nema svoj standard treba potražiti informaciju čiji standard primenjuje.

KLjučne reči: biomasa, energetika, pelete, brikete, standardi

European Standards for Pelleted and Briquetted Biofuels

It is well known that the market for biomass pellets and briquettes was formed in Europe, six years ago. Based on literature review and practical experience, one can conclude that the consistent and unified quality standard for manufacture of energy pellets and briquettes is still missing. Such standards have been adopted by Austria (ÖNORM M1735 for briquettes and pellets), Sweden (SS 187120 for pellets and SS 187121 for briquettes) and Germany (DIN 51731 for briquettes and pellets). Other countries are using standards from the listed countries. For example, Finland is using the Swedish standard. European Pellet Center (EPC), which is situated in Denmark and coordinates operations of 18 European countries, has drawn up a comprehensively defined standard method for analysis and classification of pellets. This method is documented in the Report CEN/TS 14961. CEN is the acronym for Classification European Normative, which means the European classification norm for creating quality standards. Quality standard for pellets used in EU countries can be found at <http://www.pelletcentre.info-Project Results, Quality Standards>. Some countries are using this recommendation for quality standards until a standard of their own or some other common standard is adopted. Our country mostly relies on the German quality standard DIN 51731/DIN plus, as well as the international standard ISO 12937 (for humidity content) and ISO 6245 (for ashes content). Pellet and briquette exporters should take care to use the quality standard which is used in the country of export, or, should that country lack its own standard, find out which standard is being used in that country.

Key words: biomass, energetic, pelett, briquette, standards

Tabela 1 Nacionalni standardi za energetske pelete u Austriji, Švedskoj i Nemačkoj i konačni predlog evropskog standarda za energetske pelete (CEN standard)

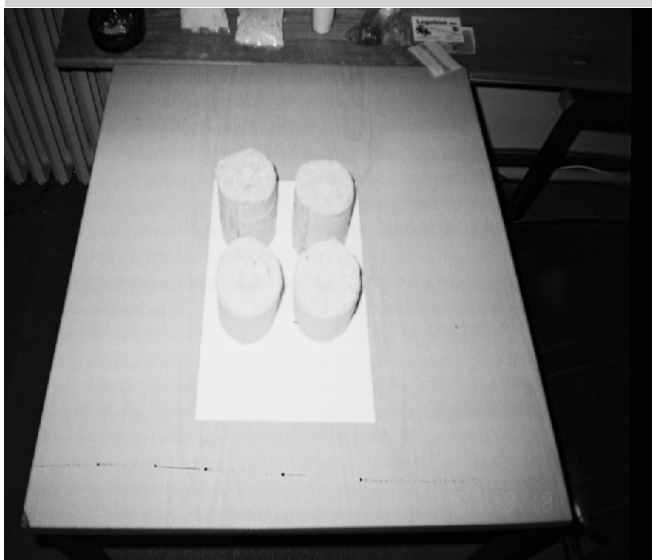
Specifikac.	Austria ÖNORM M7135		Švedska SS 18 71 20			Nemačka DIN 51731 / DIN plus			CEN CEN/TS14961:2005 Aneks A
	Pelete od drveta	Brikete od kore drveta	Grupa 1	Grupa 2	Grupa 3	5 klasa veličine (cm)			
1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.			8.
Poreklo									Hemiski netretirano drvo bez kore
Veličina	Pelete ø 4 – 20 mm l max= 100 mm	Brikete ø 20 – 120 mm l max= 400 mm	max ø 4**	max ø 5	max ø 6		l, dužina	ø, prečnik	D06 ≤ 6 mm ± 0,5 mm i l ≤ 5 x prečnik D08 ≤ 8 mm ± 0,5 mm i l ≤ 4 x prečnik
						HP1	>30	>10	
						HP2	15-30	6-10	
						HP3	10-15	3-7	
						HP4	<10	1-4	
HP5	<5	0,4-1							
Nasipna gustina			≥ 600 kg/m ³ **	≥ 500 kg/m ³	≥ 500 kg/m ³				Preporučeno je da bude formulisano ako se prodaja vrši na bazi zapremine
Fine čestice <3 mm, %			≤ 0,8	≤ 1,5	≤ 1,5				F1.0 ≤ 1,0% F2.0 ≤ 2,0%
Jedinična gustina	≥ 1,0 kg/dm ³	≥ 1,0 kg/dm ³					1 – 1,4 g/cm ³		
Sadržaj vlage	≤ 12%	≤ 18%	≤ 10%	≤ 10%	≤ 12%		< 12%		M10 ≤ 10%
Sadržaj pepela	≤ 0,5% *	≤ 6,0%	≤ 0,7%	≤ 1,5%	> 1,5%		< 1,5%		A0,7 ≤ 0,7%
Toplotna vrednost	≥ 18,0 * MJ/kg	≥ 18,0 * MJ/kg	≥ 16,9 MJ/kg ≥ 4,7 kWh/kg	≥ 16,0 MJ/kg 4,45 kWh/kg	≥ 15,1 MJ/kg 4,2 kWh/kg		17,5 – 19,5 MJ/kg***		16,9 MJ/kg 4,7 kWh/kg
Sumpor (S)	≤ 0,04% *	≤ 0,08% *	≤ 0,08%	≤ 0,08%	Definis. poseb.		< 0,08		SO.05 ≤ 0,05%
Azot (N)	≤ 0,3% *	≤ 0,6% *					< 0,3		N0.3 ≤ 0,3 % N0.5 ≤ 0,5 % N1.0 ≤ 1,0 % N3.0 ≤ 3,0 % N3.0 +> 3,0 %, stvarna vrednost biće određena
Hlor (Cl)	≤ 0,02% *	≤ 0,04% *	≤ 0,03% *	≤ 0,03% *	Definisano poseb.		< 0,03		Preporučeno je da bude formulisano u kategorije: CL 0.03 CL 0.07 CL 0.10 CL 0.10 + ako je CL>0.10 % stvarna vrednost biće odred.
Arsenik (As)							< 0,8 mg/kg		
Kadmium (Cd)							< 0,5 mg/kg		
Hrom (Cr)							< 8 mg/kg		
Bakar (Cu)							< 5 mg/kg		
Živa (Hg)							< 0,05 mg/kg		
Olovo (Pb)							< 10 mg/kg		
Cink (Zn)							< 100 mg/kg		

Tabela 1 Nacionalni standardi za energetske pelete u Austriji, Švedskoj i Nemačkoj i konačni predlog evropskog standarda za energetske pelete (CEN standard) - nastavak

EOH ekstrahovan i organski halogeni						< 3 mg/kg	
Finoća pre isporuke kupcima	max. 1%					max. 1%	
Aditivi	max. 2% samo prirodni	Sadržaj i tip biće definisan posebno					< 2 w - % na suvu bazu. Samo proizvodi od primarno poljoprivredne i šumske biomase koja nije hemijski modifikovana su odobreni da budu dodati kao pomoćno sredstvo za presovanje. Tip i količina aditiva biće formulisana.
Tačka topljenja pepela		Biće definisana posebno					
Trajnost							DU97.5 ≥ 97,5% masenih

*) na suvoj bazi, **) u fabrici, ***) bez pepela i vode

Sl. 1: Izgled briketa od piljevine



Sl. 2: Izgled peleta od piljevine



Zubac (2007) je u svom radu dao osvrt na evropski standard kvaliteta za energetske pelete odnosno brikete. On navodi da zbog heterogenog kvaliteta biomase ne postoji univerzalno rešenje za klasifikacije biomase kao energetskog goriva. Praktično u zavisnosti od sirovine ili u nekoj kombinaciji sirovina, treba respektovati nekoliko elemenata koji odlučuju o kvalitetu tehnološkog postupka proizvodnje peleta, odnosno briketa i to: granulacija, vlaga, temperatura, oblik alata prese za briketiranje ili peletiranje. Sirovinu treba usitniti na sitnilici odabrane granulacije 2-4-6 i 8 mm i određenog

sadržaja vlage $15 \pm 3\%$ na bazi apsolutne suve mase i odgovarajućim dozatorom ubaciti u mašinu sa alatima za oblikovanje i homogenizaciju sirovine. U alatu se odvijaju fizički, hemijski i termički procesi koji deluju na sirovinu. Na izlazu iz alata, biomasa se homogenizuje i oblikuje u željenu dimenziju briketa-peleta, zadanog kvaliteta. Kvalitet energetskih briketa-peleta je definisan standardima prikazanim u tabeli 2.

Kao što se iz tabeli 2 vidi osobine tzv. "euro" energetskih peleta skoro u potpunosti odgovaraju standardu [294]

Nemačke DIN 51731/DIN plus (tabela 1), kao i međunarodnom standardu ISO 12937 (za sadržaj vlage) i ISO 6245 (za sadržaj pepela). Treba imati u vidu da se podaci u tabeli 2 razlikuju od nemačkog standarda kvaliteta samo kod navođenja sadržaja srebra i kvarca. Kod nemačkog standarda umesto srebra i kvarca navedeni su sadržaj žive, olova i cinka. Takođe, u nemačkom standardu navedeni su još i: ekstrahovani organski halogeni (EOH), masa finih čestica manjih od 3 mm, mehanička trajnost čestica, masa finih čestica pre isporuke kupcu, aditivi i tačka (temperatura) topljenja pepela. Naš domaći standard

Tabela 2 Fizičke i hemijske karakteristike „euro“ energetskih peleta (Zubac, 2007)

Prečnik:	6 mm
Dužina:	10 - 15 mm
Oblik:	Valjkast
Sadržaj vlage:	12 - 15 - 18% ISO 12937
Zapreminska masa:	1 - 1,14 kg/dm ³
Pepeo (K,P,Ca i Mg)	0,6-1,6% ISO 6245
Energetska vrednost:	17,5 - 19,5 MJ/kg
Sumpor:	< 0,08 mg / % masenih
Azot:	< 0,30 mg / % masenih
Hlor:	< 0,03 mg / % masenih
Arsenik:	< 0,80 mg / % masenih
Kadmijum:	< 0,50 mg / % masenih
Hrom:	< 8 mg / kg
Bakar:	< 5 mg / kg
Srebro:	< 0,05 mg / kg
Kvarc:	< 100 mg / kg

imati odgovarajuću brzinu, visinu-količinu sirovine ispred matrice, kao i vrednost pritiska, tj. zazora između pritiskivača i matrice.

Primer deklaracije kvaliteta za palete od drveta

Ovaj primer je prikazan na 2. svetskom kongresu o biomasi, koji je održan u Rimu 2004. godine. Odnosi se na primenu standarda kvaliteta u Finskoj.

Zaključci

Na osnovu napred iznetog može da se konstatuje da

14961 (tzv. preporuka, tabela 1), sajt: <http://www.pelletcentre.info>.

Neke zemlje koriste ovu preporuku za standard kvaliteta dok se ne donese sopstveni standard. Naša zemlja oslanja se uglavnom na nemački standard kvaliteta DIN 51731/DIN plus, kao i na internacionalni standard ISO 12937 (za sadržaj vlage) i ISO 6245 (za sadržaj pepela). Prilikom izvoza peleta ili briketa treba imati na umu da se koristi standard kvaliteta zemlje u koju se roba izvozi ili ako nemaju svoj standard treba potražiti informaciju čiji standard primenjuju.

Tabela 3. Korisnik: Jedna porodična kuća

PARAMETRI	DEKLARACIJE KVALITETA ZA PELETE OD DRVETA	
PODACI O PROIZVOĐAČU	Snabdevač	„Obradeno čvrsto biogorivo“ P.O. Box 1603 FI-40101 Jyvaskyla, Finland tel. +358-400-542 454 Fax. +358-14-672 598 Kontakt osoba: Ms Eija Alakangas Broj ugovora: SB1345678
	Poreklo	Hemijski netretirano drvo bez kore (1.2.1.1.)
	Zemlja	Finland
	Prodajna forma	Pelete od drveta
	Isporučena količina	4.000 kg
NORMATIV	Osobine	
	Veličina čestica (mm)	D08 D? 8 mm ± 0,5 mm, i 1 ? 4 x prečnik (oznaka „O“), Max. 20% od peleta može da ima dužinu 7,5 x prečnik (oznaka „X“)
	Sadržaj vlage (% masenih) primljenog uzorka	M10
	Pepeo (% masenih)	A0,7
	Mehanička trajnost	DU97.5 ? 97,5% masenih, posle testiranja peleta
	Masa finih čestica < 3 mm (% masenih), posle proizvodnje na kapiji fabrike	F1.0
INFORMACIJE	Neto toplotna vrednost isporučenog uzorka (kWh/MJ)	4,7 kWh/MJ
	Nasipna gustina, kg/m ³ neupakovano	? 650 kg/m ³ neupakovano

trebalo bi usaglasiti sa standardima evropskih zemalja ili sa preporukama Evropskog peletnog centra (CEN). Dakle, postupak za dobijanje briketa-peleta nije ni malo jednostavno definisati, jer mnogo elemenata utiču na odabir postupka. Ključni faktori su: vrsta sirovine, vlaga (ulazna i izlazna), granulacija 2-8 mm, temperatura (ulazna i izlazna), sušenje i hlađenje, alat koji treba da objedini napred navedene faktore. Zatim, pritiskivač alata mora

još uvek nema konačno usaglašenog jedinstvenog standarda kvaliteta za energetske pelete i brikete od biomase u Evropi. Ove standarde donele su Austrija, Švedska i Nemačka. Ostale zemlje koriste standarde od navedenih zemalja. Na primer, Finska koristi standard od Švedske.

Evropski peletni centar (EPC) je doneo sveobuhvatno definisani standardni metod za analizu i klasifikaciju peleta koji je prikazan u izveštaju CEN/TS

Literatura

- [1] Brkić, M, Janić, T: Briketiranje i peletiranje biomase, časopis: »Savremena poljoprivredna tehnika«, JNDPT, Novi Sad, 34(2008), 1-2, s. 78-86,
- [2] Evropski peletni centar (EPC), Danska: <http://www.pelletcentre.info>,
- [3] Zubac, M: Praktična primena tehnološkog postupka valorizacije biomase u energetske svrhe, Revija agronomska saznanja, JNDPT, Novi Sad, 2007. br. 5, s. 58-62,
- [4] Quality Declaration for Wood Pellets, Finland, 2nd World Conference and Technology Exhibition on Biomass for Energy, Industry and Climate Protection, ETA-Florence, WIP-Munish, Rome, 10-14. May 2004.

Razvoj postrojenja za proizvodnju biogasa u malim poljoprivrednim seoskim farmama

1. Uvod

Lepo je to kad student dobije diplomu. Ona svedoči da je on bio sposoban da u realnom vremenu savlada propisano gradivo i određeni broj tzv. intelektualnih prepona. Ali, čime diplomac može na najuverljiviji način da ubedi okruženje, poslodavce i finansijere o svim svojim potencijalima i kreativnim mogućnostima. Sama diploma to nije, jer poznato je da se ona i visoka prosečna ocena, koju mnogi, a posebno medicinska struka i fakulteti, stavljaju u prvi plan mogu steći na različite načine. Indikator stvarnih mogućnosti i sposobnosti svršenog akademaca, pored diplome moraju da budu i drugi, opredmećeni, rezultati koji je on ostvario u toku studija.

Naša predstava o studiranju treba da se pomera prema shvatanju studiranja kao perioda intenzivnog stručnog života i zrenja, u kome studenti moraju da se oprobaju i kao motivatori, i kao istraživači, i kao projektanti, i kao marketinški stručnjaci, i kao timski igrači koji su stasali u stručne ljude od poverenja na realnim i životnim projektima. Interesantno je da se takav prilaz studiranju već mnogo godina neguje na Smeru za energetiku i procesnu tehniku Mašinskog fakulteta u Kragujevcu, i da studenti bez ikakvih otpora prihvataju takav prilaz, i upuštaju se u veoma kompleksne projekte, kakvi su, po našim saznanjima prava retkost na univerzitetima u Srbiji.

Zbog toga smo rešili da stručnoj javnosti izložimo deo rezultata koje smo do sada ostvarili realizujući projekat „Razvoj postrojenja za proizvodnju biogasa u malim poljoprivrednim seoskim farmama”, (u daljem tekstu – PBG) u okviru svojih redovnih školskih

Rezime

U radu su prikazani rezultati jednog od naših akademskih projekta - „Razvoj postrojenja za proizvodnju biogasa u malim poljoprivrednim seoskim farmama” koji realizujemo u okviru naših redovnih školskih obaveza na Smeru za energetiku i procesnu tehniku Mašinskog fakulteta u Kragujevcu, pod rukovodstvom prof. dr Miluna Babića. Pošto se tema projekta odnosi na korišćenje obnovljivih izvora energije, a imajući u vidu pokazani interes i podsticaje koji smo dobili tokom prve i druge javne prezentacije projekta, ohrabрили smo se da deo njegovih rezultata prezentiramo i na renomiranom savetovanju Saveza energetičara „Energetika 2009”

obaveza pod rukovodstvom prof. Dr Miluna Babića, jer smatramo da je takav prilaz studiranju i izazovan, i zanimljiv, i podsticajan i rezultativan!

2. Prikaz razloga za zasnivanje projekta

U današnje vreme, kada je snabdevanje Srbije sve više zavisno od uvozne energije, razumeli smo da se mašinski inženjeri moraju odmah suočiti sa tom činjenicom, i da treba i mi, kao studenti, da se uključimo u akcije države koje su okrenute stvaranju uslova za masovno korišćenje alternativnih i obnovljivih izvora energije.

Imajući u vidu naše društvene i ekonomske prilike, tradiciju u poljoprivredi i stočarstvu, mentalitet i navike ljudi koji se njima bave, odlučili smo se da realizujemo projekat proizvodnje biogasa na malim seoskim farmama.

Seosko domaćinstvo, gledano očima mašinca-energetičara, liči, pomalo, na jedno veliko energetsko-procesno postrojenje u kome se proizvode poljoprivredni proizvodi, i u kome se kao nusproizvod javlja niz tzv. otpadnih materijala koji imaju značajnu upotrebnu vrednost, ali koji se, nažalost, kod nas veoma

malo koriste. Ovde ćemo, od svih tih „otpadnih“ materijala pažnju skrenuti na stajnjak, koji se, u našim uslovima, koristi samo za đubrenje. Prethodno se mikroorganizmima dopusti da deo stajnjaka pretvore u biogas i da on slobodno dospe atmosferu. Na taj način se pravi dvostruka šteta. S jedne strane – zagađuje se atmosfera, a s druge – nepovratno gubi dragocena energija sadržana u biogasu! Slične štete po životnu sredinu zbog neorganizovanog i energetski neefikasnog odnosa prema stajnjaku nastaju i zbog ceđenja stajnjaka i kontaminacije podzemnih voda.

Zbog toga smo rešili, po ugledu na referentna svetska iskustva, da projektujemo postrojenje za proizvodnju biogasa u malim poljoprivrednim seoskim farmama, i da „nateramo“ mikroorganizme da rade u našu korist, tj. da vrše kontrolisanu produkciju bio gasa, čijim organizovanim prikupljanjem i energetskim korišćenjem želimo da doprinesemo pojeftinjenju poljoprivredne proizvodnje, poboljšanju energetske sigurnosti seoskih domaćinstava i ukupne energetske efikasnosti u Srbiji. O ostalim, ne manje važnim produktima koji nastaju u toku proizvodnje biogasa, kao što je visoko kvalitetno i propisno

energija

uskladišteno đubrivo koje ne zagađuje životnu okolinu u ovom radu nećemo govoriti.

Nakon istraživanja i sagledavanja kompletne problematike, postavljenih ciljeva i vremenskih okvira u kojima se projekat PBG mora realizovati, definisali smo osnovnu strukturu projekta, i sledeće podciljeve:

- 2.1 istraživanje mogućnosti i potreba za izgradnju PBG na teritoriji Republike Srbije i odgovarajuće obaveze koje, u tom smislu, nalažu domaći i EU-propisi;
- 2.2 istraživanje i analiza "produkcije" PBG u Srbiji, sa posebnim osvrtnom na Šumadiju i Pomoravlje;
- 2.3 istraživanje i analiza mogućih ekonomskih i energetskih učinaka PBG na teritoriji iz tačke 2.2;
- 2.4 istraživanje (godišnja produkcija, tipovi, kapaciteti, cene, projektna rešenja) domaćeg i inostranog tržišta PBG;
- 2.5 idejno koncipiranje varijantnih rešenja PBG koja po svom kapacitetu treba da zadovolje potrebe prosečnog seoskog poljoprivrednog domaćinstva u Srbiji;
- 2.6 tehnno-ekonomska analiza varijantnih rešenja iz tačke 2.5 i izbor optimalnog projektnog rešenja;
- 2.7 detaljan proračun i numerička simulacija tokova mase i energije u optimalnom projektnom rešenju iz tačke 2.6;
- 2.8 izrada definitivnog konstrukcijskog rešenja postrojenja iz tačke 2.6 u virtuelnoj 3-D formi, kao i

kompletne prateće konstrukcijske dokumentacije;

- 2.9 definitivna tehnno-ekonomska analiza postrojenja iz tačke 2.6, utvrđivanje njegove cene i potrebne opreme za proizvodnju;
- 2.10 izrada uputstva za upotrebu i propagandnog materijala za sistem iz tačke 2.6;
- 2.11 izrada završnog elaborata.

3. Prikaz metodologije realizacije projekta

U cilju lakog i brzog projektovanja PBG (Slika 1.), razvili smo program koji na osnovu poznatog broja grla na farmi (Prilog 1.) računa dnevnu količinu životinjskog otpada koji se može koristiti za proizvodnju biogasa (Prilog 2). Program obezbeđuje da se na osnovu dobijenih podataka, automatski, dobiju sledeći geometrijski parametri postrojenja (Prilog 3): zapremina digestera, bazena za prikupljanje otpada i bazena za skladištenje đubriva. Takođe, program automatski izračunava prinos biogasa (Prilog 4), tj. hemijsku energiju koju dalje možemo da transformišemo u električnu struju i/ili toplotu. Na osnovu prinosa biogasa, program može da izračuna konačne energetske uštede domaćinstva korišćenjem biogasa i ukupne troškove i vreme otplate investicije. Program, takođe, omogućuje lako i brzo ažuriranje svih relevantnih energetskih i finansijskih parametara, sa promenom bilo koje finansijske ili količinske ulazne vrednosti.

Posebnu pažnju smo posvetili parametrizaciji izlaznih geometrijskih

parametra digestera koje daje naš program, što nam je omogućilo da razvijeni program direktno spregnemo sa softverskim paketom CATIA, i da na taj način omogućimo 3D virtuelno modeliranje PBG i dobijanje njegovog trodimenziskog izgleda (Prilog 5). Crtanje PBG vrši se automatski, i njegov izgled i dimenzije se menjaju simultano sa promenom bilo kog ulaznog podataka.

Primenom napred opisanog postupka ostvarili smo našu zamisao da možemo u svakom zainteresovanom poljoprivrednom domaćinstvu uz pomoć prenosivog računara prezentovati uštede, cenu i vizualizirani izgled PBG koje u potpunosti odgovara proizvodnim kapacitetima svakog konkretnog domaćinstva.

Smatramo da ovaj projekat ima budućnost, jer može i dalje da se razvija i unapređuje, ali i da pruža mogućnost da postane okosnica uslužno-proizvodnog preduzeća koje nameravamo da formiramo po diplomiranju.

4. Osvrt na tehnologiju proizvodnje biogasa

4.1 Fizičko-hemijske karakteristike biogasa

Biogas je mešavina gasova koja se dobija uz pomoć metanogenih bakterija koje učestvuju u procesu biološke razgradnje materijala u anaerobnim uslovima (anaerobna digestija).

Biogas se sastoji od 50 do 70% metana (CH₄) i 30 do 40% ugljen-dioksida (CO₂) i drugih gasova kao što su vodonik, vodonik-sulfid, azot i dr. (Tabela 1)

Biogas je za oko 20% lakši od vazduha, a temperatura paljenja mu je u rasponu od 650° do 750°C. To je gas bez jakog mirisa i bez boje. Kada sagoreva, gori čisto plavim plamenom, slično kao prirodni gas. Toplotna moć mu je između 20-30 MJ/Nm³

4.2 Anaerobna digestija

Anaerobna digestija je višestepeni biohemijski proces koji se primenjuje na više različitih tipova organskih supstanci. Digestija se izvodi u tri stupnja:

- prvi stupanj (**hidroliza**) – čvrsti organski kompleksi, proteini, masti, celuloza, razlažu se na isparljive organske kiseline, alkohole, ugljen-dioksid i amonijak;
- drugi stupanj (**formiranje kiseline**) – produkti dobijeni u prvom stupnju prevode se u acetatske kiseline, proteinske kiseline, vodonik, ugljen-dioksid i ostale nisko molekulske organske kiseline;

Slika 1 Šematski prikaz BPG

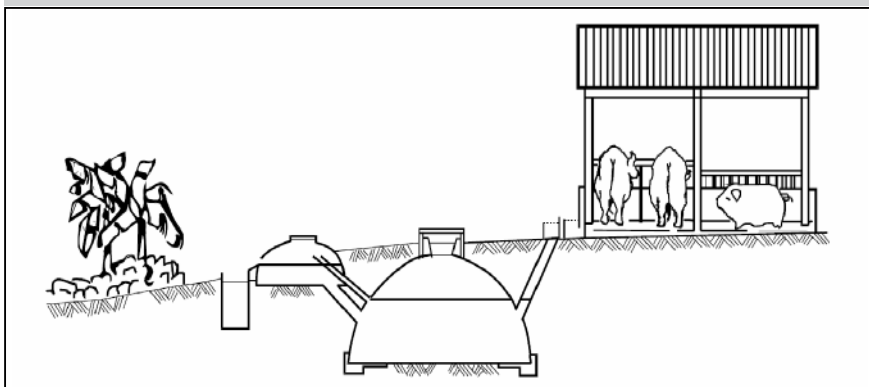


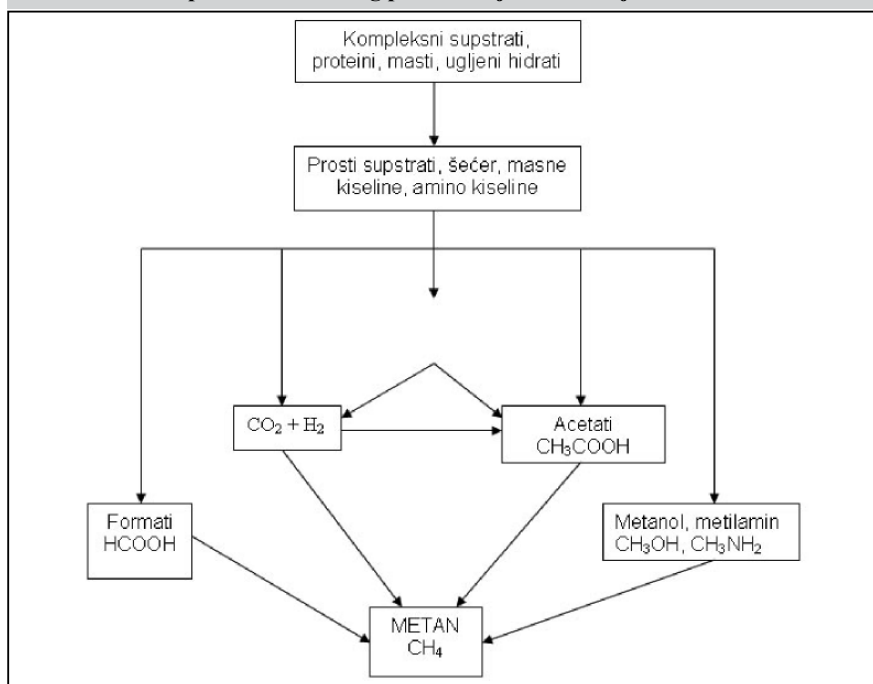
Tabela 1

Supstance	Hemijska formula	Procentualni sadržaj (%)
Metan	CH ₄	50-70
Ugljen-dioksid	CO ₂	30-40
Vodonik	H	5-10
Azot	N ₂	1-2
Vodena para	H ₂ O	0,3
Vodonik-sulfid	H ₂ S	0-0,5

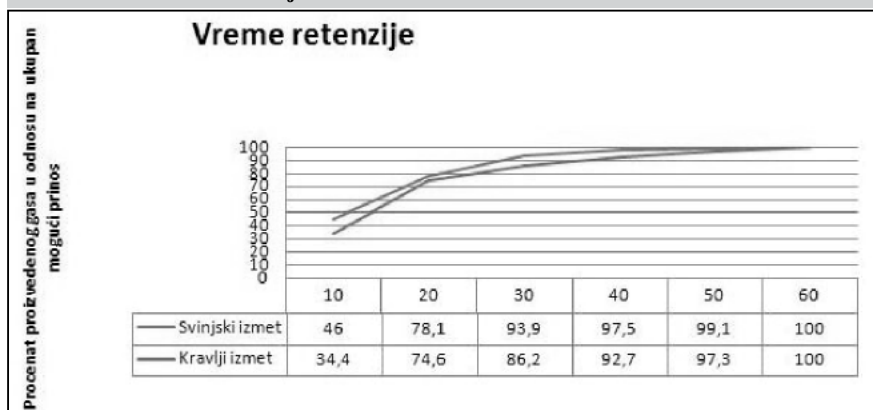
Tabela 2

Stupanj	Hemijska reakcija
Hidroliza	$\text{CH}_3\text{COOH} \longrightarrow \text{CH}_4 + \text{CO}_2$ Acetatske kiseline Metan + Ugljen-dioksid
Formiranje kiseline	$2\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH} + \text{CO}_2 \longrightarrow \text{CH}_4 + 2\text{CH}_3\text{COOH}$ Etanol + Ugljen-dioksid Metan + Acetatske kiseline
Metanogeneza	$\text{CO}_2 + 4\text{H}_2 \longrightarrow \text{CH}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$ Ugljen-dioksid + Vodonik Metan + Voda

Slika 2 Grafički prikaz anaerobnog procesa koji se ostvaruje u PBG



Slika 3 Procenat proizvedenog biogasa u odnosu na ukupan mogući prinos za različite vrste mulja



- **treći stupanj (metanogeneza)** - u ovom stupnju deluju dve grupe bakterija, jedna pretvara vodonik i ugljen-dioksid u metan, a druga pretvara acetate u metan i bikarbonate; a hemijske reakcije u toku kojih nastaje biogas, mogu se izraziti na način prikazan u tabeli 2.:

Na slici 2., grafički je prikazan tzv. anaerobni proces koji se ostvaruje u PBG.

4.3 Brzina digestije

Brzina anaerobne digestije zavisi od više faktora. Neke od njih možemo kontrolisati i na taj način upravljati proizvodnjom biogasa. Tu se pre svega misli na: pH vrednost, temperaturu, vreme retenzije, nivo punjenja i toksičnost. U nastavku ćemo dati kratak osvrt na spomenute vrednosti.

pH vrednost Bakterije koje stvaraju metan najbolje žive u pH neutralnim,

ili blago alkalnim sredinama. Kada se ustali proces fermentacije pH vrednost je između 7 i 8.

Temperatura Anaerobna digestija se dešava na temperaturama od 3°C do 70°C. Postoje tri temperaturna opsega u kojima se odvija digestija, i to :

- psihofilna (u temperaturnom opsegu ispod 20°C),
- mezofilna (u temperaturnom opsegu između 20 i 40°C) i
- termofilna (u temperaturnom opsegu preko 40°C).

Optimalna temperatura anaerobne digestije je 35°C, i nalazi se u mezofilnom opsegu. U literaturi se preporučuje da pri anaerobnoj digestiji treba izbegavati nagle promene temperature, i dozvoljava promenu koja ne sme biti veća od ± 1°C/h .

Vreme retenzije Pod vremenom retenzije podrazumeva se vreme zadržavanja čvrste supstance u digestoru. Ovo vreme zavisi od sastava mulja i od radne temperature.

Ukoliko je vreme retenzije kratko, dolazi do "ispiranja" bakterija iz digestora, jer one ne stižu da se razmnožavaju tom brzinom. Kada je vreme retenzije predugačko, onda zbog toga sistem može postati neisplativ, jer je količina metana koja iscrpi iz mulja veoma mala što se može videti na dijagramu prikazanom na Slici 3.

Nivo punjenja Označava količinu sirove supstance po jedinici zapremine digestora koja se dodaje u toku dana. Ukoliko se digestor prepuni, doći će do akumuliranja acetata koji će stopirati produkciju biogasa. Preporučuje se da dnevni unos iznosi 6 kg po 1 m³ digestora, za postrojenja koja rade sa kravljim izmetom.

Hranjive supstance Mulj treba da sadrži ogovarajući nivo ugljenika, kiseonika, vodonika, fosfora, kalijuma, kalcijuma, magnezijuma.

Inhibitor Male količine mineralnih jona pospešuju razvoj bakterija, dok visoka koncentracija jona izaziva toksični efekat.

Odnos ugljenika i azota C/N Da bi se anaerobni proces normalno odvijao, potrebno je zadovoljiti uslov da odnos C/N bude od 1/20 do 1/30. Ukoliko je ovaj odnos viši - dolazi do smanjenja produkcije biogasa, a ukoliko je niži - dolazi do porasta amonijaka u digestoru što ima toksičan efekat na bakterije koje stvaraju metan.

5. Prikaz potencijala za proizvodnju biogasa

Istraživanjem statističkih podataka koje objavljuje Zavod za statistiku Republike

Prilog 1 Tabela za unos podataka za proračun PBG

The screenshot shows an Excel spreadsheet with the following data table:

Zivotinje	Br		Prosečna težina	
Krave	30	kom	450	kg
Svinje	100	kom	60	kg
Konji	1	kom	450	kg
Živina	100	kom	3	kg
Ovce	100	kom	80	kg

Below the table, the text "Prikaz podataka" is visible in the spreadsheet grid.

Srbije konstatovali smo da ukupan stočni fond Republike raspolaže sa:

- 757 000 goveda,
- 47 000 konja,
- 1 475 000 ovaca,
- 1 983 000 svinja i
- 9 300 000 živine,

dok smo uz pomoć Odeljenja za poljoprivredu uprave grada Kragujevca došli do saznanja da se na teritoriji grada Kragujevca gaji:

- 19 520 goveda i
- 27 270 ovaca.

Na osnovu statističkih podataka, proračunali smo da Srbija može da proizvede toliko biogasa, da može nadomestiti 20% svog uvoza prirodnog gasa i to samo od stočarstva.

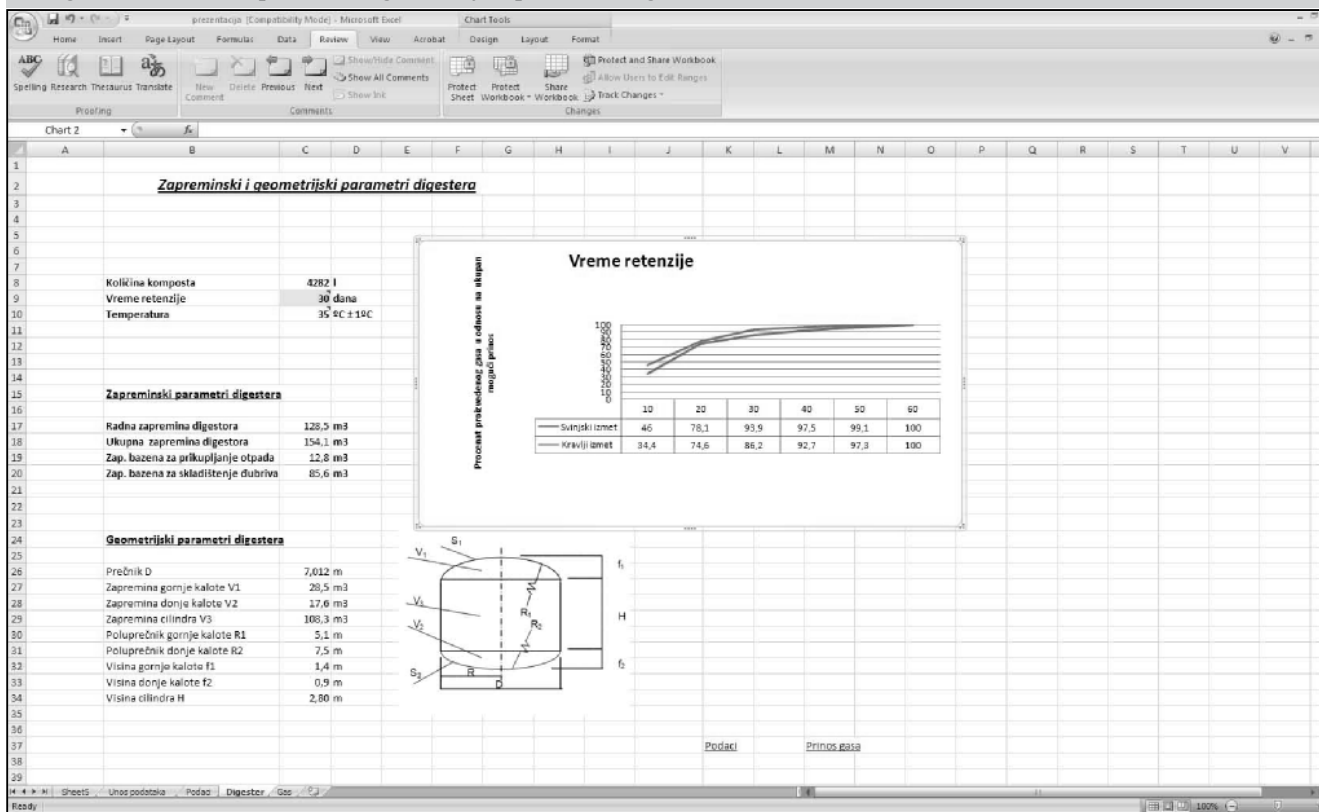
Prilog 2 Izlazna tabela o proračunatim količinama dnevnih količina raspoloživog komposta

The screenshot shows an Excel spreadsheet with the following data table:

Zivotinje	Ukupno žive mase		Dnevna količina izmeta po životinji		Ukupna količina izmeta		Isparijive čvrste materije VS		Suva materija TS		Dodatak vode		Kompost		
Krave	13500	kg	38,7	kg	1161	kg	135,00	kg	174,2	kg	1016	l	2177	kg	
Svinje	6000	kg	5,04	kg	504	kg	51,00	kg	65,5	kg	315	l	819	kg	
Konji	450	kg	22,95	kg	22,95	kg	4,50	kg	6,7	kg	60	l	83	kg	
Živina	300	kg	0,255	kg	25,5	kg	5,10	kg	6,6	kg	57	l	83	kg	
Ovce	8000	kg	3,2	kg	320	kg	73,60	kg	89,6	kg	800	l	1120	kg	
					2033,45	kg		269,20	kg	342,6	kg	2248	l	4282	kg
														UKUPNO	

At the bottom of the spreadsheet, the text "Unos podataka" and "Digester" is visible in the grid.

Prilog 3 Proračunati zapreminski i geometrijski parametri digestora PBG



6. Tehno-ekonomska analiza

Na osnovu iskustva drugih država i proučavanja dostupne literature konstatovali smo da je za isplativu proizvodnju biogasa potrebno minimalno 5-6 krava ili 20 svinja.

Prema izvršenim analizama i proračunima, u poljoprivrednim gazdinstvima koja raspolažu takvim stočnim fondom može se proizvesti 200-250 Nm³ biogasa mesečno, i na taj način napraviti mesečnu uštedu od 7000-9000 dinara.

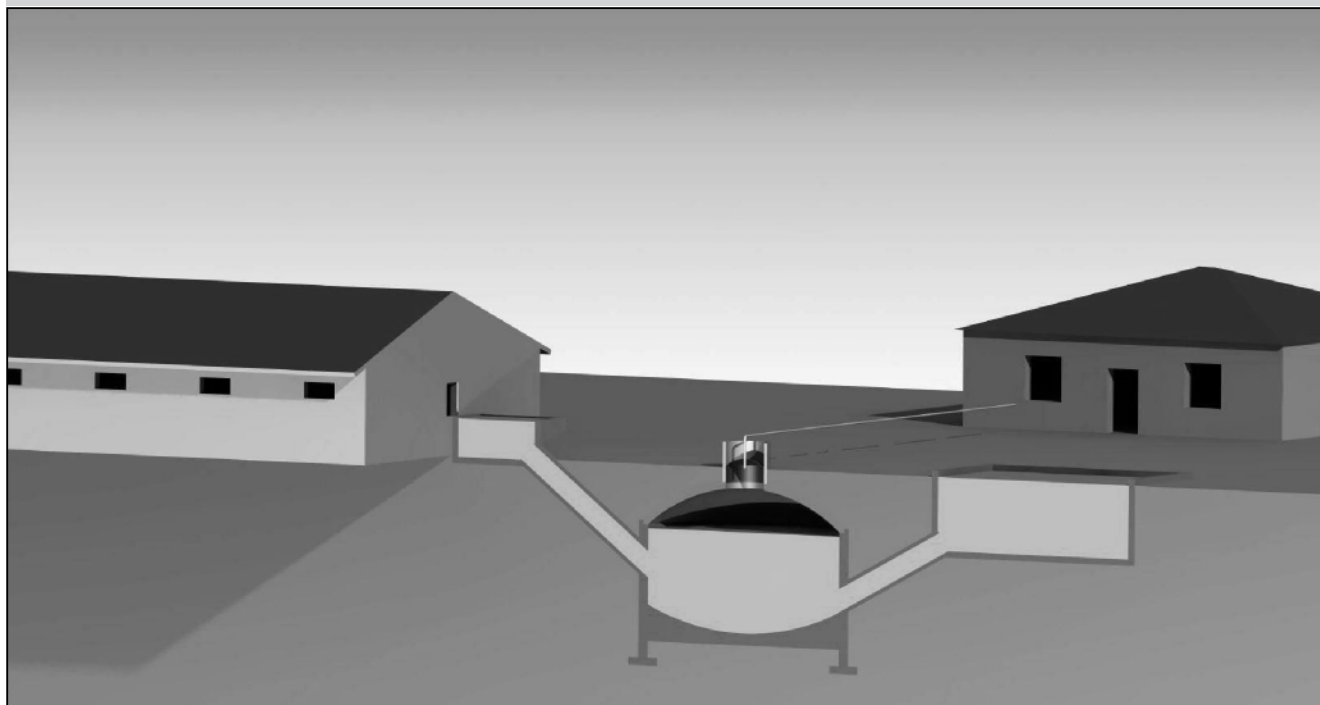
Spomenuti minimalistički kriterijum na teritoriji grada Kragujevca zadovoljava 16,1% poljoprivrednih domaćinstava, a nešto veću produkciju biogasa moglo bi da ostvari 4,5% domaćinstava za koja smo utvrdili da uzgajaju po 10 krava.

Prilog 4 Izlazna tabela o proračunatim prinosima biogasa i ukupnim godišnjim uštedama

Prinos gasa i ukupna godišnja ušteta

Gas	
CH4 po kg VS	0,5 Nm ³ po m ³ VS
CH4	64,1 Nm ³ dnevno
procenat metana	70 %
CO2	27,5 m ³
Biogas	91,6 Nm ³ dnevno
	2793,7 Nm ³ mesечно
	33432,7 Nm ³ godišnje
Energija	
Kalorijska vrednost metana	39 MJ po Nm ³
Energija	2501 MJ dnevno
Snaga	28,9 kW
Električna energija	5,8 kW
Toplotna energija	20,3 kW
Cena električne energije po kWh	4,51 din
Godišnja ušteta el. energije	228685 din
	Efikasnost transformacije 20 %

Digestor
Podaci
Unos podataka



Napominjemo da smo analize isplativosti izgradnje PBG vršili sa tekućim, tržišnim, cenama energije u Srbiji.

7. Zaključna razmatranja

Srbija ima kapacitete za implementaciju ovakvih sistema PBG, ali je neophodno edukovati poljoprivrednike, predočiti im prednosti i benefite i obezbediti širu podršku lokalnih samouprava i same države.

Smatramo da ćemo sa kompletnom realizacijom ovog projekta stvoriti efikasan alat za višestruke energetske uštede, ali i pomoći napore društva za očuvanje kvaliteta životne sredine.

- [4] Chris Moore, Kevin Smith: „Renewable energy in south east Europe”, GMB Publishnig Ltd., London, 2007
- [5] Suporn Koottatep, Manit Ompont, Tay Joo Hwa : „Biogas: GP Option for Community Development”, Asian Productivity Organization, 2000
- [6] <http://www.adelaide.edu.au/biogas>

8. Literatura

- [1] Dr Milan Despotović, Dr Milun Babić: „Energija biomase“, Mašinski fakultet Kragujevac, Kragujevac 2007
- [2] Dieter Deublein, Angelika Steinhauser: „Biogas from waste and renewable resources“, Wiley-VCH Verlag GmbH & Co, Wetnhetm, 2008
- [3] B.R.Saubolle, A.Bachmann: „Fuel gas from cowdung”, Sahayogi press, Kathmandu, 1983

Uticaj snižavanja temperature vode u sekundarnom toku na smanjenje potrošnje energije u sistemu centralnog grejanja – analiza eksperimentalnih rezultata dobijenih u mernoj zgradi

1 Uvod

Analize potrošnje energije u Nemačkoj su pokazale da se oko 40% primarne energije troši za zagrevanje objekata [1]. Najveći sistemi u kojima se troši ova energija, sistemi daljinskog grejanja poznati su u praksi još od kraja devetnaestog veka. Njihove prednosti u odnosu na druge sisteme grejanja, uticale su da oni budu praktično dominantni vid zagrevanja objekata u većini evropskih zemalja. Visoki stepeni efikasnosti postrojenja, centralizovano skladištenje goriva, optimizacija sistema, povoljni ekonomski i ekološki aspekti, dobre su strane sistema daljinskog grejanja. Sa razvojem gasne mreži i manji sistemi centralnog grejanja postaju vrlo efikasni i ekonomični, deleći mnoge dobre karakteristike sa sistemima centralnog grejanja. Sa druge strane, ključni nedostaci sistema daljinskog grejanja su visoki investicioni troškovi, funkcionisanje u prelaznim režimima i transportni gubici toplotne energije. Različitim metodama optimizacije daljinskih sistema grejanja teži se da se uticaji opisanih nedostataka svedu na minimum [2-10].

Sa druge strane da bi se smanjili transportni gubici energije u sistemima centralnog (daljinskog) grejanja sve više se pribegava niskotemperaturnom grejanju, gde temperature u razvodnim vodovima ne prelaze 55-60°C, [1]. Opisani sistemi podrazumevaju kvalitetno izolovane savremene objekte, koji imaju niske zahteve za toplotnom energijom (80-120 kWh/m²god).

Teorijske analize uštede toplotne energije pri transportu grejnog fluida u primarnom i sekundarnom vodu sistema daljinskog grejanja, pokazale

Rezime

Smanjenjem temperature vode u toplovodu, primarnom i sekundarnom, značajno se mogu smanjiti gubici pri transportu toplotne energije. Ukoliko su energetska zahtevi potrošača na istom nivou, definisani efekti se mogu postići uvećanjem grejnih tela u prostorijama, čime bi se obezbedilo da se identična količina toplote razmenjuje na nižoj srednjoj temperaturi grejne vode. U okviru rada na projektu NPEE243001, u odabranoj i prethodno pripremljenoj zgradi sa 14 prostorija, izvršeno je merenje potrošnje toplotne energije i svih potrebnih parametara u dve grejne sezone. U prvoj sezoni, zgrada je grejana postojećim radijatorima, a u narednoj sezoni toplotni učinak radijatora je uvećan za prosečno 16%, čime je postignuto smanjenje srednje temperature vode u sekundarnom cevovodu od 3 do 4°C. Efekti smanjenja gubitaka pri transportu toplotne energije su bili prosečno 4 W/m u sekundarnom i 0,8 do 1,6 W/m u primarnom cevovodu.

Influence of temperature decreasing of secondary water flow on reduction of energy consumption in district heating system – Analyses of experimental data obtained in the pilot building

Heat transport losses of district heating system can be significantly reduced by temperature decreasing of primary and secondary water flow. If the building demands of energy consumption are on the same level, described effect could be achieved by increasing of radiator area in rooms. In the frame of the project NPEE243001 activities, the measurement of energy consumption and all additional parameters was made in the prepared pilot building including 14 rooms. During first heating season, the pilot building was heated by existing radiators capacity but in next heating season by 16% increased radiators capacity. On that way the reduction of secondary water flow temperature was achieved from 3 to 4°C. Effects of the reduction of heat transport losses were about 4 W/m in secondary and 0,8 to 1,6 W/m in primary pipe network.

su mogućnost značajnih ušteda snižavanjem temperature vode, pri istim energetskim zahtevima grejanih objekata [11]. U okviru realizacije projekta NPEE243001, u sklopu pilot zgrade sa 14 prostorija, u dve grejne sezone, merenjima su potvrđeni rezultati dobijeni u [11].

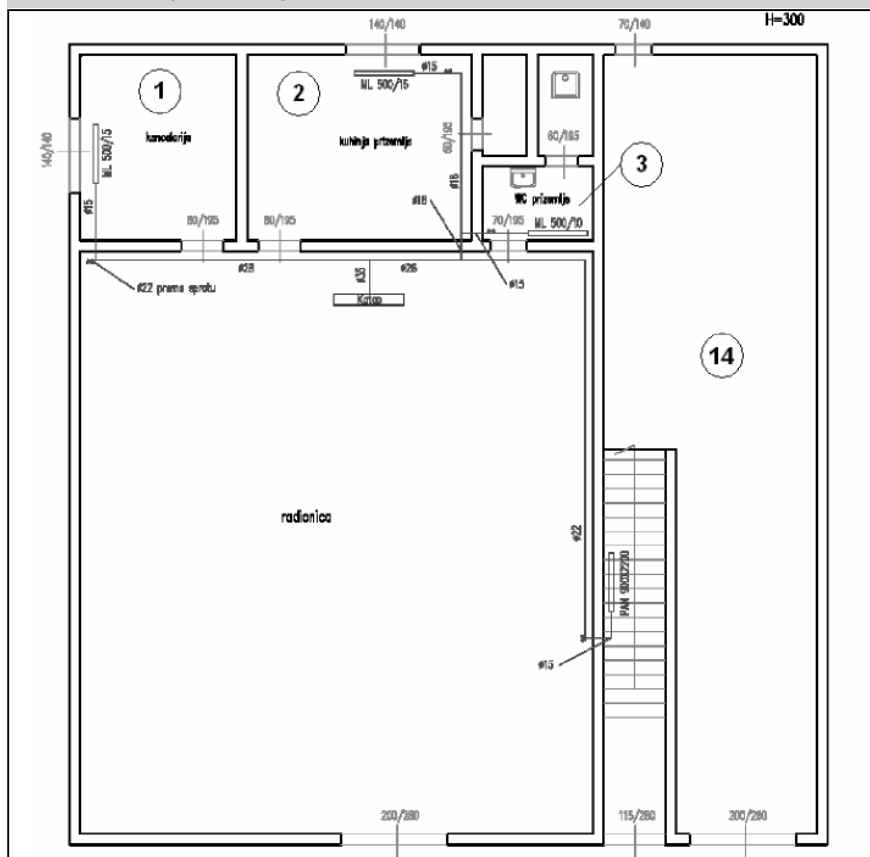
2 Karakteristike pilot zgrade

S obzirom na predviđene aktivnosti, bilo je od posebnog značaja izabrati mernu zgradu, pogodnu za sprovođenje istih.

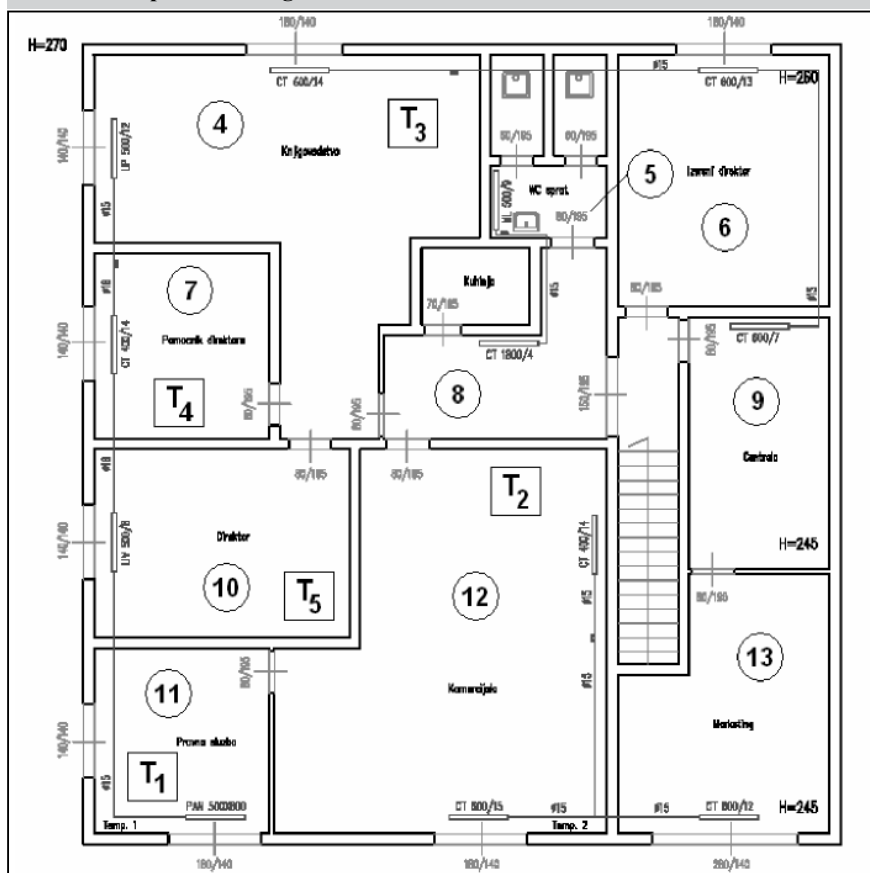
Zgrada je trebalo da zadovolji sledeće zahteve:

1. Zgrada ne treba da bude velikih dimenzija, zbog predviđene zamene svih radijatora u njoj, neposredno pre naredne grejne sezone.
2. Potrebno je obezbediti slobodan, svakodnevni pristup u sve grejane prostorije i kotlarnicu-podstanicu zgrade.
3. Potrebno je izabrati zgradu sa ugrađenim meračima potrošnje

Slika 1 Prizemlje merne zgrade



Slika 2 Prvi sprat merne zgrade



Legenda uz slike 1 i 2 - 1. Kancelarija – prizemlje; 2. Kuhinja – prizemlje; 3. WC – prizemlje; 4. Knjigovodstvo; 5. WC – I sprat; 6. Izvršni direktor; 7. Pomoćnik direktora; 8. Pretkancelarijski prostor; 9. Centrala; 10. Direktor; 11. Pravna služba; 12. Komercijala; 13. Marketing; 14. Radionica – 1

toplote energije u kotlarnici-podstanici ili sa pogodnostima da se ugrade nedostajući merači.

- 4 Sve potrebne dimenzije i karakteristike omotača zgrade treba da su dostupne.
5. Potrebno je iznaći mogućnost kontrole temperature odlazne sekundarne vode iz kotlarnice-podstanice zgrade.

Nabrojani zahtevi nisu bili lako ostvarivi i očigledno je bilo da će se teško naći stambena zgrada sa više nezavisnih vlasnika stanova, koja će odgovoriti potrebama realizacije projekta. Teško je bilo zamisliti, svakodnevni pristup svim privatnim stanovima i druge godine zamenu postojećih radijatora. Problem je rešen tako što je izabrana zgrada, upravna zgrada, firme CINI, Čačak.

Odabrana merna (pilot) zgrada sadrži 14 prostorija, u dva nivoa (prizemlje i prvi sprat), a što je prikazano na slikama 1 i 2. U negrejanjoj prostoriji u prizemlju se nalazi električni kotao snage 24 kW, kojim se greje zgrada, a na kome je ugrađeno električno brojilo (slika 3), što je omogućavalo precizno merenje utrošene električne odnosno toplotne energije. Dalje su merene ulazne i izlazne temperature vode iz kotla, kao i temperature vazduha u pet prostorija na spratu, što je prikazano na slici 2 (slovo T u kvadratu). Takođe je merena spoljna temperatura u neposrednoj blizini zgrade.

Za mernu zgradu je izvršen proračun energetskih zahteva u grejnom periodu, koji je pokazao da je kotao od 24 kW u mogućnosti da obezbedi propisane temperature u prostorijama (20°C) samo do spoljne temperature od 1°C (SPT). Za niže SPT, temperature u prostorijama su bile niže od propisanih.

Više informacija o mernoj zgradi, mernoj opremi i sprovedenim proračunima se može naći u godišnjim izveštajima projekta NPEE243001.

3 Merenje u pilot zgradi tokom prve i druge grejne sezone

U toku prve grejne sezone (2006/07.), u mernoj (pilot) zgradi vršena su svakodnevna merenja potrošnje toplotne energije, temperature vode, spoljnog i vazduha u prostorijama, počev od 01.12. pa do 05.04. naredne godine. Sva merenja su sprovedena prema prethodno utvrđenoj proceduri i sačinjenom formularu. Na slici 4 je prikazan jedan od karakterističnih dijagrama, formiran na osnovu dobijenih mernih podataka, tokom prve grejne sezone.

Sa slike 4 se može videti da značajniji porasti spoljne temperature snažno utiču

Slika 3 Grejna instalacija sa mernom opremom instaliranoj na kotlu u mernoj zgradi

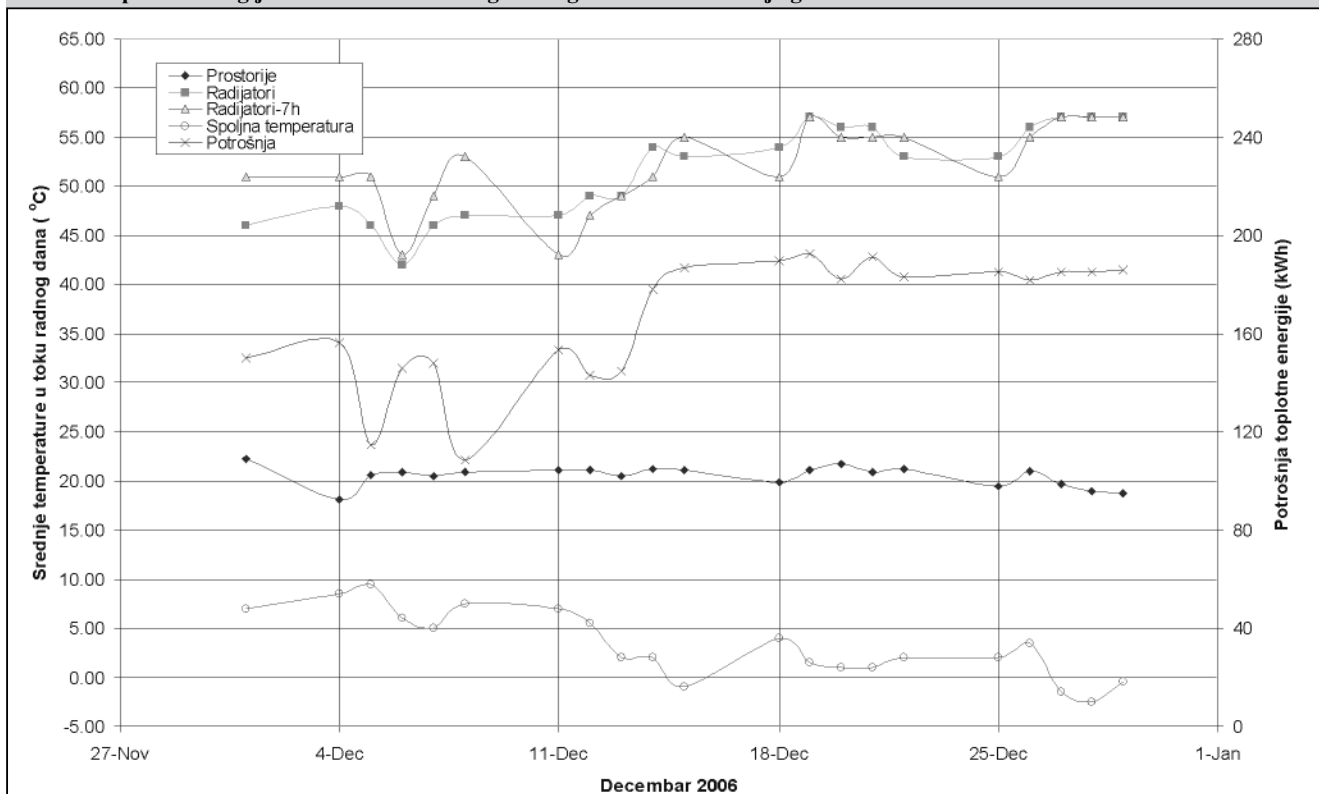


lamelasti). Zbog lakšeg sprovođenja ugradnje i kasnijeg merenja, odlučeno je da svi novi radijatori za ugradnju budu istog tipa i modela i to CINI KOMPAKT tip 600 (Toplotni učinak rebra=174,5 W). U tabeli 1 je dat realizovani plan zamene radijatora po prostorijama (veza sa slikama 1 i 2).

Jasno da zbog malog broja rebara novih radijatora, nije se moglo tačno podesiti da uvećanje toplotnog učinka radijatora bude 20%. Kako su radijatori u dva toaleta na prvom i drugom spratu merne zgrade bili značajno predimenzionisani, oni nisu menjani, kako se to iz table 1 vidi. Sa druge strane, ogromni panelni radijator u radionici (prostorija 14), nije mogao biti zamenjen zbog nedostatka prostora i specifičnosti ugradnje.

Ukupno ostvareno uvećanje toplotnog učinka radijatora u mernoj zgradi iznosi 16,5 %, što se takođe može videti iz *table 1*.

Slika 4 Promene srednje spoljne i unutrašnje temperature, temperature u radijatorima (srednje i u 7:00), kao i potrošnje toplotne energije u toku osmočasovnog radnog vremena u mernoj zgradi za mesec decembar 2006.



na smanjenje potrošnje energije, pošto je kotao radio u on-off režimu, pošto je zadatoj izlaznoj temperaturi vode iz kotla. U slučajevima niskih spoljnih temperatura (oko 0°C i niže), kotao je većinom radio neprekidno, što se odražavalo na uglavnom ujednačenu potrošnju toplotne energije. Ova činjenica je bila od posebnog značaja pred narednu grejnu sezonu.

Po završenoj grejnoj sezoni pristupilo

se zameni radijatora. Prema planu zamene radijatora u mernoj zgradi, bilo je potrebno demontirati stare radijatore i postaviti nove koji bi imali prosečno 20% veći toplotni učinak od postojećih.

Prethodno postavljeni radijatori u mernoj zgradi bili su različitih tipova, od različitih materijala, od različitih proizvođača i različitih toplotnih učinaka (od čeličnog liva, čelični, aluminijumski, panelni, rebrasti,

Po zameni radijatora u pilot zgradi, u grejnoj sezoni 2007/08. su izvršena merenja istih parametara, po identičnoj proceduri kao i prethodne grejne sezone, u istom periodu (od 01.12. do 05.04.).

4 Analiza dobijenih rezultata i efekti zamene radijatora u pilot zgradi

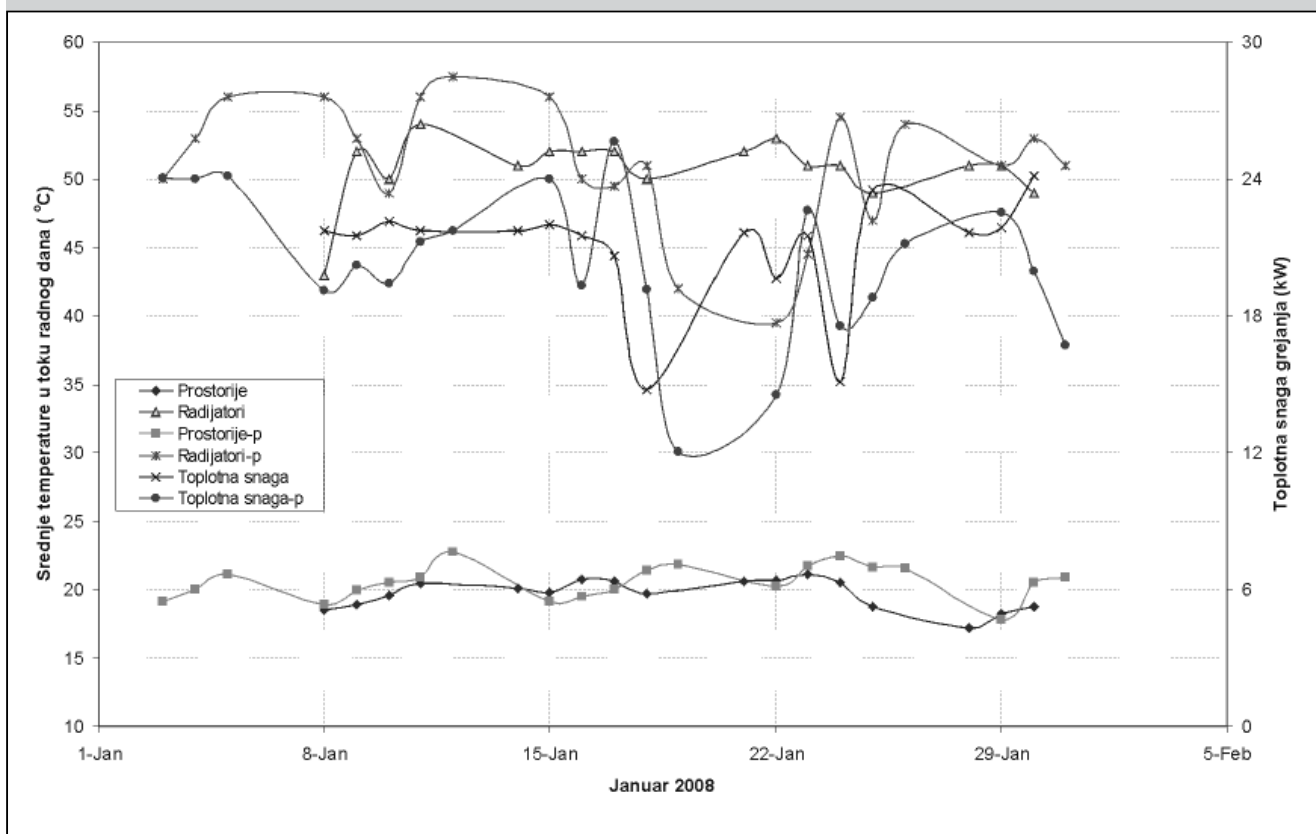
Na *slici 5* su prikazani uporedni rezultati za mesec januar i to: srednje temperature u prostorijama, srednje

Tabela 1 Plan zamene radijatora u mernoj zgradi

CINI zgrada	Q1rebro	B.rebara	Qstr(W)	B.rebara (novo st.)	Q (novo st.) +20% (W)	Q novo st. (W) + uvećanje (%)
Prostorija 1	145	15	2175	15	2610	2617,5 (20,3)
Prostorija 2	145	15	2175	15	2610	2617,5 (20,3)
Prostorija 3	145	10	1450	neizmenjeno	1450	1450 (0)
Prostorija 4 rad 1	176	14	2464	17	2957	2966,5 (20,4)
Prostorija 4 rad 2	129	12	1548	11	1858	1919,5 (24)
Prostorija 5	145	9	1305	neizmenjeno	1305	1305 (0)
Prostorija 6	176	13	2288	16	2746	2792 (22)
Prostorija 7	131	14	1834	13	2201	2268,5 (23,7)
Prostorija 8	432	4	1728	13	2074	2268,5 (31,3)
Prostorija 9	176	7	1232	9	1478	1570,5 (27,5)
Prostorija 10	160	8	1280	9	1536	1570,5 (22,7)
Prostorija 11	1552	1	1552	11	1862	1919,5 (23,7)
Prostorija 12 rad 1	131	14	1834	13	2201	2268,5 (23,7)
Prostorija 12 rad 2	176	15	2640	18	3168	3141 (19)
Prostorija 13	176	12	2112	15	2534	2617,5 (23,9)
Prostorija 14	6732	1	6732	neizmenjeno	6732	6732 (0)
Ukupno prizemlje			12532		13402	13417 (7,1)
Ukupno I sprat			21817		25920	26606,5 (22)
Ukupno			34349		39322	40023,5 (16,5)

temperature u radijatorima i srednje toplotne snage za grejnu sezonu 2007. (Prostorije-p, Radijatori-p, Toplotna snaga-p) i 2008. (Prostorije, Radijatori, Toplotna snaga). Za uporedne analize interesantna je prva trećina dva januara, jer su tada spoljne temperature bili dovoljno niske, pa je kotao radio u neprekidnom režimu. U definisanom periodu unutrašnje temperature su bili približno iste, a toplotne snage kotla varirale u obe sezone oko vrednosti od 22 kW. Za ostatak januara, primetno je da kotao radi u isprekidanom (on-off) režimu

Slika 5 Uporedni rezultati za mesec januar, za grejne sezone 2007. i 2008.



i da je poređenje teško izvodljivo. Za najinteresantiji period dva januara, srednja temperatura vode u radiatorima sezone 2008. je bila značajno manja od prethodne i to za prosečno 4°C.

Jasno je da se podaci menjaju, kao i spoljne temperature iz dana u dan pa je poređenje rezultata bez filtriranja podataka otežano i u slučaju meseci koji su najpovoljniji za uporednu analizu.

Prema dobijenim mernim podacima, osim kraćih perioda, nije se moglo sa dovoljnom tačnošću pratiti kretanje temperatura vode u radiatorima metodom preklapanja, uz uslov da su ostali uporedni parametri na približno istom nivou (snaga kotla i temperature u prostorijama). Pristupilo se analizi dobijenih rezultata korišćenjem selektovanih (filtriranih) podataka. Izdvajanjem mernih tačaka, kada je srednja snaga kotla u toku grejnog dana bila na približnom maksimumu (neprekidni rad kotla), u tri najhladnija meseca, decembru, januaru i februaru, u dve grejne sezone, dobijeni su podaci pogodni za razmatranje.

U tabeli 2 i na slici 6 prikazani su selektovani podaci za dve grejne sezone, kada se srednja snaga kotla (Q_k), tokom grejnog dana, kretala u opsegu od 20 do 23 kW.

Tabela 2 Selektovani merni podaci za srednju angažovanu snagu kotla između 20 kW i 23 kW

Slika 6 Selektovani, uporedni merni podaci ($20 < Q_k < 23$ kW), za dve definisane grejne sezone

Sa ovako selektovanim podacima (uporednih 14 mernih tačaka), dolazi se do podatka da je prosečno sniženje srednje temperature vode u radiatorima bilo za 3,8°C.

Razlike između prosečnih toplotnih snaga kotla sada nema, a razlika srednjih unutrašnjih temperatura postoji i iznosi 1,0°C. Toplotna snaga kotla približno iznosi (zanemarivanje gubitaka):

$$Q_k = A_r K_r (t_{ksr} - t_{usr}) \quad (1)$$

gde su: Q_k (W) prosečna snaga kotla, A_r (m^2) površina radiatora, K_r (W/m^2K) koeficijent prolaza topline radiatora, t_{ksr} (°C) srednja temperatura vode u radiatorima i t_{usr} (°C) srednja unutrašnja temperatura.

Dakle, još jedno približenje realnim efektima uvećanja površine radiatora bi se dobilo kada bi se razlika unutrašnjih temperatura dveju posmatranih grejnih sezona oduzela od razlike temperatura vode u radiatorima ($\Delta t_{ksr} = \Delta t_{ksr} - \Delta t_{usr} = 3,8 - 1 = 2,8^\circ C$). Ako izvršimo uprošćenu pretpostavku da 16%

uvećanja površine radiatora izaziva 16% smanjenja razlike temperatura voda-prostorije, a prema jednačini (1), došlo bi se do iznosa od $\Delta t_{ksr} = (t_{ksr} - t_{usr}) \cdot 0,16 = (50 - 20) \cdot 0,16 = 4,8^\circ C$.

Objašnjenje za razliku između eksperimentalno dobijenog sniženja temperature (2,8°C) i teorijskog, uprošćenog (4,8°C) se može naći u sledećem:

- U suštini radijatorska tela nisu jedine površine sa kojih se odaje toplota prostorijama. Neizolovana instalacija sekundarne mreže u prostorijama (grejanim i negrejanim), takođe odaje odrađenu količinu toplote. Kako cevna instalacija nije menjana ukupni procenat uvećanja veličine A_r u jednačini (1) je manji od 16%.

- U okviru pilot zgrade postoji radionica (prostorija 14, slika 1), koja je relativno velikih dimenzija, a u kojoj su, zbog stalnog otvaranja velikih metalnih vrata, infiltracioni gubici veoma veliki i teško predvidljivi (dnevni i mesečni).

- Uvećanjem površine radiatora, ne uvećava se linearno i toplotna snaga koju odaju. Zbog graničnih efekata razmene toplote, radijatori sa manjim brojem rebra uvek odaju veću toplotnu snagu, nego što bi se proračunom dobilo (množenje toplotnog učinka po rebro sa njihovim brojem). Prema rečenom, realni efekti uvećanja površine radiatora su nešto manji od proračunskih.

Ukoliko se pretpostavi razlika temperatura vode u sekundarnom cevovodu i vazduha u negrejanim prostorijama kao $55 - 10 = 45^\circ C$ i ako se usvoji postignuto smanjenje srednje temperature vode od 2,8°C, to iznosi približno 6% od definisane razlike. Ako su ostali faktori razmene toplote u negrejanim prostorijama nepromenjeni (koeficijenti prolaza toplote, površine odavanja), to znači smanjenje transportnih gubitaka u sekundaru za 6%. Ako oni iznose kao u slučaju merne zgrade oko 1,5 W/mK (neizolovane cev, prečnika 50 mm), uštede iznose oko 4 W/m. U zavisnosti od dužine sekundarnog cevovoda u negrejanim prostorijama i njegovog stanja (izolovan, neizolovan), definisane uštede u apsolutnom iznosu mogu biti veće ili manje.

Što se primarnog cevovoda tiče, smanjenje srednje temperature u sekundaru za 2,8°C, izaziva isto smanjenje srednje temperature u primaru. Smatra se da su primar i sekundar povezani razmenjivačem toplote. Kako su protoci u primarnom vodu podstanice redovno manji od onih u sekundarnom toku, i kako su samim

tim padovi temperatura u primarnom vodu značajno veći, pad temperature od 2,8°C u sekundarnom toku izazvaće i veći prosečni pad srednje temperature u primarnom toku (logaritamska razlika temperatura). Gubici u primarnom (i sekundarnom) cevovodu Q_{gc} (W) se jednostavno izračunavaju kao:

$$Q_{gc} = L_c K_c (t_{wc} - t_{vc}) \quad (3)$$

gde su: L_c (m) dužina cevovoda, K_c (W/mK) koeficijent prolaza toplote po metru dužnom cevovoda, t_{wc} (°C) srednja temperatura vode u cevovodu i t_{vc} (°C) srednja temperatura vazduha u kanalu cevovoda (jednačina je drugačija ako se radi o predizolovanim cevima postavljenim direktno u zemlju). Ukoliko se definisana srednja razlika temperatura usvoji kao $t_{wc} - t_{vc} = 80 - 10 = 70^\circ C$, ušteda na transportnim toplotnim gubicima u primaru, pri ostvarenom sniženju temperature u primaru, iznosi 4%. U realnim varijantama ona bi mogla da se kreće od 3,5 do 4,5%. Ukoliko se realni gubici na primarnom cevovodu kreću od 20 do 40 W/m, ostvarene uštede iznose od 0,8 do 1,6 W/m.

5 Zaključak

Posle dve godine realizacije projekta, rekonstrukcija, merenja i analiza, došlo se do najvažnijeg efekta sprovedenih aktivnosti. Realno smanjenje srednje temperature vode u radiatorima uvećanjem njihove površine za 16% je postignuto i ono iznosi 2,8°C. U realnim uslovima, efekti ušteda se kreću od 4 W/m na neizolovanom sekundarnom cevovodu, do 0,8-1,6 W/m na izolovanom primarnom cevovodu.

U zavisnosti od cene energije i cene investicije zamene radiatora ili njihovog startnog uvećanja, ukoliko se radi o novim objektima, može se odrediti vreme isplativosti planiranih izmena.

6 Literatura

- [1] RECKNAGEL, H., SPRENGER, E., HÖNMANN, W., *Grejanje i klimatizacija*, šesto izmenjeno i dopunjeno izdanje, Interklima, Vrnjačka Banja (2004).
- [2] ADAMO, I., CAMMARATA, G., FICHERA, A., MARLETTA, L., Improvement of a district network through thermoeconomic approach, *Renewable Energy* 10 (2-3) (1997) 213-216.
- [3] BAKER, D.K., SHERIF, S.A., Heat transfer optimization of a district

- heating system using search methods, *International Journal of Energy Research*, 21 (1997) 233–252.
- [3] BENONYSSON, A., BOHN, B., RAVN, H.F., Operational optimization in a district heating system, *Energy Conversion Management* 36 (5) (1995) 297–314.
- [4] BOHN, B., On transient heat losses from buried district heating pipes, *International Journal of Energy Research* 24 (2000) 1311–1334. 2163–2173.
- [5] BOJIC, M., TRIFUNOVIC, N., GUSTAFSSON, S.I., Mixed 0–1 sequential linear programming optimization of heat distribution in a district-heating system, *Energy Building* 32 (2000) 309–317.
- [6] ÇOMAKLI, K., YÜKSEL, B., ÇOMAKLI, Ö., Evaluation of energy and exergy losses in district heating network, *Applied Thermal Engineering* 24 (2004) 1009–1017.
- [7] GUSTAVSSON, L., District heating systems and energy conservation, *Energy* 19 (1) (1994) 81–91.
- [8] MADSEN, H., SEILING, K., SØGAARD, H.T., PALSSON, O.P., On flow and supply temperature control in district heating systems, *Heat Recovery Systems CHP* 14 (6) (1994) 613–620.
- [9] NIELSEN, H. A., MADSEN, H., Modelling the heat consumption in district heating systems using a grey-box approach, *Energy and Buildings* 38 (2006) 63–71.
- [10] Radivojević, P., Lukić, N., Uticaj sniženja temperature grejnog fluida sistema centralnog grejanja na potrošnju energije, 39 kongres KGH, Zbornik radova, Beograd, 2008., st.382-391.

Radosavljević Damijan, Panić Stjepan

Visoka poslovno – tehnička škola, Užice

UDC: 621.311.243.001

Solarne elektrane –energetska budućnost

Rezime

U radu su dati solarni sistemi za proizvodnju električne energije

Ulaganje u solarne ćelije namenjene dobijanju struje kod nas se i dalje ne isplate.

Jeste da im je rok trajanja nekih 100 godina, ali uz sadašnju cenu struje isplatit će se tek za oko 30 godina.

Sa druge strane investicije u kolektore za dobijanje tople vode su daleko manje, a i daleko isplativije.

Ključne reči: Sunce, solarni sistemi, energija, kolektori.

Uvod

Sve više i više građana shvata da njihovi troškovi za grejanje mogu biti smanjeni uz pomoć solarne energije, istakao je direktor BSW Karsten Kernig. Profesor Joahim Luter, iz prestižnog i instituta za solarne energetske sisteme Graunhofer, ukazuje, međutim, da je solarna industrija sada “u stepenu razvoja u kojem je bila industrija automobila oko 1920. godine”. Cena jednog kWh solarne struje mogla bi da do 2020. godine opadne za 0,23 evra dok bi privatni potrošači morali da plate 0,28 evra po kWh konvencionalne struje, prognozirala je fondacija “Fridrih Ebert”. “Obnovljivi izvori energije biće na duži rok osnova za održive globalne isporuke energije”, smatra profesor Luter.

Sunce kao fuzioni reaktor svake sekunde pretvori oko 600 miliona tona hidrogena u helijum pri čemu oslobodi ogromnu količinu energije koju pošalje u Svemir u vidu elektromagnetnog, svetlosnog, toplotnog, rentgenskog i drugih vidova zračenja. Od ukupno $3,8 \times 10^{26}$ W energije koju Sunce zrači u kosmos, Zemlja primi $1,7 \times 10^{17}$ W.

Kod svih proračuna solarnih kolektora, Sunčeva energija, se mora posmatrati kroz tri njene komponente zračenja i to:

1. direktno,
2. raspršeno i
3. reflektovano zračenje.

Toplotni solarni kolektori (TSK) su uređaji koji sakupljaju sunčevu energiju i pretvaraju je u toplotnu.

Postoje tri vrste TSK:

1. Ravni solarni kolektori \
2. Selektivni solarni kolektori
3. Koncentrirajući solarni kolektori

Tehnološki sistem koji koristi energiju sunca i u nekoliko faza je pretvara u električnu energiju zove se solarna elektrana.

O energiji Sunca

Od ukupno $3,8 \times 10^{26}$ W energije koju Sunce zrači u kosmos, Zemlja primi $1,7 \times 10^{17}$ W. Oko 30% primljene energije Zemlja reflektuje nazad u kosmos, oko 47% zadrži kao u toplotu, oko 23% ide na proces kruženja vode u prirodi dok se ostatak „potroši“ na fotosintezu.

Različiti su interesi za eksploataciju sunčeve energije. U hladnijim krajevima ona se koristi za grejanje prostora i dobijanje tople vode te dobijanje električne energije, a u toplijim krajevima (osunčanim) za rashlađivanje prostorija, dobijanje električne energije, hidrogena.

⇒ energija

U fizici elementarnih čestica se upotrebljava manja i mnogo prikladnija jedinica za energiju - elektronvolt [eV], koji iznosi $1.602176462 \times 10^{-19}$ J. 1 elektronvolt je definisan kao ona energija koju ima čestica naboja kad je iz stanja mirovanja ubrzan napon od 1 V.

Elementi zračenja Sunca

1. Tok zračenja (Flow) $F = dS/dt$ [W],
2. Gustina toka (tzv. Iradijacija): $I = dF/dA$ [W/m^2].

$$E = \int_{t_1}^{t_2} Idt \left[\frac{J}{m^2} \right]$$

3. Sveukupna Iradijacija u određenom vremenskom razdoblju

Kod svih proračuna, Sunčeva energija, se mora posmatrati kroz tri njene komponente zračenja i to:

1. direktno,
2. raspršeno i
3. reflektovano zračenje.

Kod proračuna solarnih kolektora četiri faktora su bitna za proračun:

1. faktor apsorpcije

$$\alpha = \frac{F_a \leftarrow \text{apsorbovani tok}}{F_u \leftarrow \text{upadni tok}}$$

2. faktor refleksije (albedo)

$$\varphi = \frac{F_r \leftarrow \text{reflektovani tok}}{F_u \leftarrow \text{upadni tok}}$$

3. faktor transmisije (provođenja)

$$\tau = \frac{F_i \leftarrow \text{tok koji prodje kroz površinu}}{F_u \leftarrow \text{upadni tok}}$$

4. emisijski faktor

$$\varepsilon = \frac{F_e \leftarrow \text{emisija date površine}}{F_{ct} \leftarrow \text{emisija crnog tela}}$$

Proračun energije dobijene sunčevim zračenjem

Bitan podatak je tok Sunčeva zračenja po jediničnoj površini upravnoj na smer sunčevih zraka na srednjoj udaljenosti Zemlje od Sunca ($1,5 \times 10^{11}$ m) tzv. Sunčeva konstanta ili Ekstraterestička iradijacija, koja iznosi $EI = SK = 1353 \pm 21 W/m^2$.

Sledeći bitan podatak je geografska širina koju posmatramo (φ), deklinacija $\delta = (-23,45^\circ \div 23,45^\circ)$, ugao izlaska i zalaska sunca $\omega_s = \arccos(-\text{tg}\varphi \times \text{tg}\delta)$ visina Sunca (ugao između sunčevih zraka i horizontalne površine $\sin\alpha = \sin\varphi \sin\delta + \cos\varphi \cos\delta \cos\omega$).

Na osnovu ω_s računa se trajanje „sunčeva dana“ $D = 2/15\omega_s$. Kada izračunamo sve navedene elemente moguće je izračunati dnevnu iradijaciju ravne ploče upravne na sunčeve zrake:

$$EI_{dn} = \frac{86400}{\pi} SK \left[1 + 0,034 \cos \frac{360^\circ n}{365} \right]$$

$$\left[\frac{2\pi}{360^\circ} \varpi_x \sin\varphi \sin\delta + \sin\varpi_x \cos\varphi \cos\delta \right]$$

Ipak za proračun praktičnog primera kolektora kose površine, kako smo ranije rekli, moramo uzeti sve tri komponente zračenja: $DIK = DIK_{dir} + DIK_{ras} + DIK_{ref}$ gdje su:

$$a = 0,409 + 0,516 \sin(\varpi_x + 60^\circ)$$

$$b = 0,6609 - 0,4767 \sin(\varpi_x + 60^\circ)$$

$$DIK_{dir} = DI \frac{\cos\theta_{kos}}{\cos\theta_{nor}} = DI \cdot R, R \equiv$$

$$Ratio, DI \equiv \text{dozemna iradijacija} =$$

$$= EI(a + b \cdot D)$$

$$DIK_{ras} = DI \frac{1 + \cos\beta}{2}; \beta \equiv$$

$$\equiv \text{ugao meren od juga.}$$

$$DIK_{ref} = \varphi DI \frac{1 - \cos\beta}{2}$$

Toplotni solarni kolektori (TSK)

To su uređaji koji sakupljaju sunčevu energiju i pretvaraju je u toplotnu.

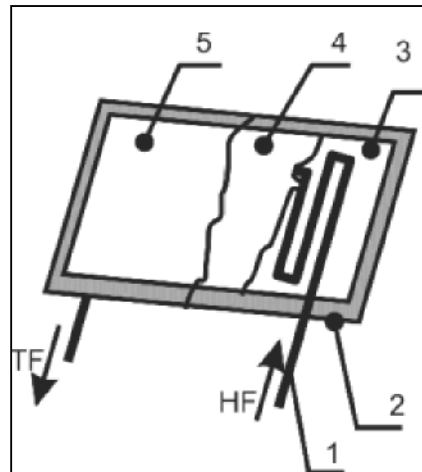
Postoje tri vrste TSK:

Ravni solarni kolektori

Ravnim TSK mogu se dobiti temperature fluida do $100^\circ C$, jednostavne su konstrukcije i veoma su često u upotrebi. Elementi ovog kolektora su:

Cev obično bakarna kroz koju struji fluid (HF = ulaz hladnog fluida, TF = izlaz zagrejanog fluida).

1. Kućište (Drvo, metal, plastična masa).



2. Termoizolacija (najčešće mineralna vuna ili PU pena).
3. Apsorber - bakarna crno obojena ploča čvrsto vezana sa cevi (1).
4. Staklena ploča (često sa antirefektujućim slojem).

Selektivni solarni kolektori

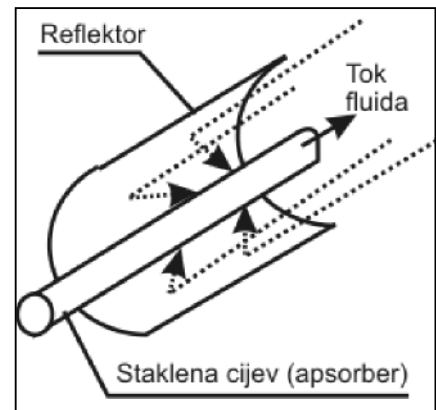
Su posebno konstruisani kolektori koji se rade od hroma ili nikla sa specijalnim crnim premazima koji primaju samo svetlosne zrake određene talasne dužine a faktor refleksija mu je približno = 0.

Ovi kolektori mogu postići temperature fluida i do $500^\circ C$. Najčešće se koriste kod Solarnih elektrana za dobijanje suve vodene pare.

Koncentrirajući solarni kolektori

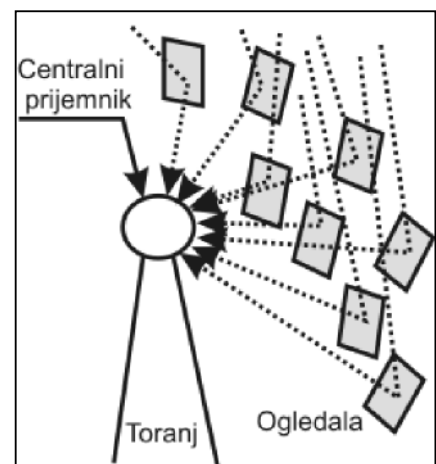
Rade se u dve varijante. Princip je da se veća površina sunčevih zraka prihvati i usmeri na male površine prijemnika sa fluidom.

Prva varijanta ima parabolična ogledala u čijoj se žiži nalazi staklena cev (prijemnik-apsorber) sa fluidom.



Druga varijanta ima centralni prijemnik (toranj) oko kojeg se nalazi polje pokretnih, automatski upravljanih, ravnih ogledala (heliostata) koji usmeravaju sunčeve zrake na prijemnik.

Prijemnik kod obe varijante je selektivni TSK.



energija

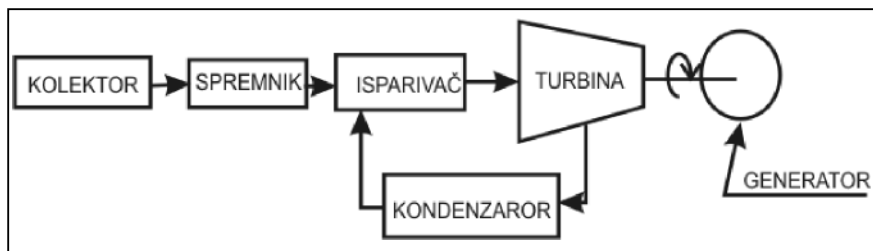
Solarni sistemi za proizvodnju električne energije

Solarne elektrane

Tehnološki sistem koji koristi energiju sunca i u nekoliko faza je pretvara u električnu energiju zove se solarna elektrana.

koriste kristali silicija sa primjesama zbog dobrog stepena iskorištenja i termičke postojanosti-teoretski od -50°C do 200°C .

Solarne elektrane - energetska budućnost

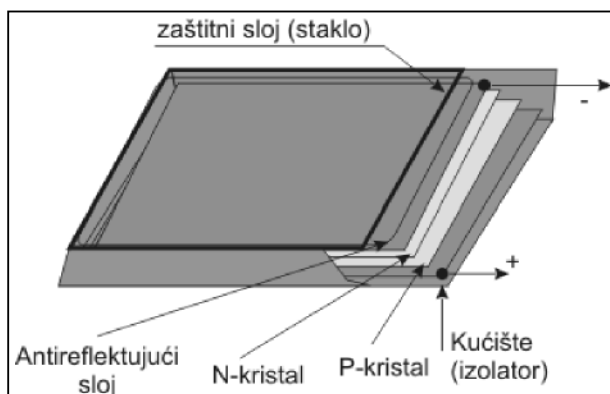


ovaj sistem čine:

1. Koncentrirajući solarni kolektori sa selektivnim apsorberom
2. Rezervoar (spremnik) energije koji može biti:
 - čisto toplotni (skladištenje na račun latentne toplote), $Q = Vc_p\Delta t = mc\Delta t$..(voda, glauberova so, kamen...)
 - hemijski (reverzibilne hemijske reakcije)
 - termo-hemijski (izolovani kapaciteti vode i kristala)
 - mehanički (zamajci velikih inercija)
3. Turbina sa kondenzatorom i isparivačem
4. Generator sa regulacijom napona
5. Sistem za distribuciju električne energije

Foto naponski paneli

Kada na dva sloja poluprovodničkih kristala (N i P) postavljenih tako da je N tip okrenut prema izvoru svjetlosti te jačina svetlosti većeg intenziteta od kritične $h_f > E_z$ doći će do pojave EMS.



Količina energije koja se dobije iz FNP direktno zavisi od površine panela, Iradijacije, kvaliteta konstrukcije panela (proizvod $\tau \times \eta$ koji je $< 13\%$). Karakteristične vrijednosti FNP su: Unutrašnji otpor $R_s = 0.95\Omega$, EMS = 0.58 V , stepen iskorišćenja $\eta = 10\%$. $E_{sp} = A \times \tau \times \eta \times DIKdn^{pr}$ (najčešće se

Na jugu Španije trenutno nastaje jedan od najvećih solarnih pogonskih kompleksa sveta. Eksperti smatraju da će za 20 godina cena solarne struje biti ista kao i cena energije, dobijene eksploatacijom uglja.

Alternativni, odnosno obnovljivi izvori energije, poput sunčeve energije postaju u vremenu klimatskih promjena sve važniji. Najviše obećavaju takozvane "solarne elektrane", koje bi mogle potencijal pustinja iskoristiti za snabdevanje svetskog stanovništva električnom energijom.

U Španiji se izgradnja solarnih elektrana već sada pokazala rentabilnom. "Andasol 1" je prva od tri solarne elektrane koje bi se trebale sljedećih godina izgraditi u podnožju Sierra Nevade.

Jedna vrsta solarnog akumulatora omogućava da se i noću proizvodi struja - dovoljno za opskrbu električnom energijom za oko 600 000 ljudi. Andasol 1 bi trebao biti dovršen na leto 2008. Najveći problem je, međutim, finansiranje jednog takvog projekta.

Samo ovaj pogon košta 260 miliona eura. Oliver Vorbrugg iz fabrike Solarmillennium, koja je koncipirala ovaj projekt, tvrdi da se solarna energija više isplati nego bilo koja druga i dodaje: "Zbog toga su ovdje prisutni i privatni investitori,

koji žele upravljati tim elektranama.

Kada jednom ulože veliki kapital, kasnije imaju ogromnu korist od toga.

Elektrana je tek puštena u rad i Španci se nadaju

da će ona moći strujom da napaja ceo grad Sevilju.

Visoka kula opkoljena poljem od 600 ogledala. Ogledala usmeravaju sunčeve zrake na izmenjivač toplote na vrhu kule i zagrevaju vodu. Vodena para okreće turbine.

Krajem zime ove godine, počela je sa radom jedna od najvećih solarnih električnih centrala na svetu, smeštena na sunčanim pašnjacima Serpe, grada u istočnoj Portugaliji.

Elektrana je vlasništvo korporacije "General Electric" (GE), a njome rukovodi "PowerLight", velika firma iz kalifornijskog Berkeleya.

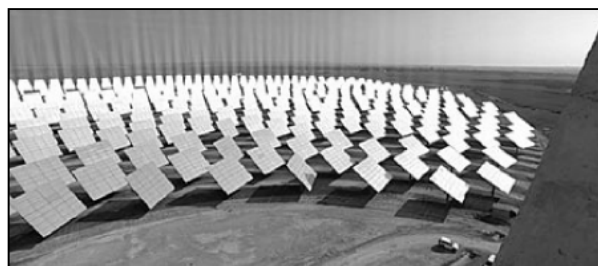
U špicevima, oko podneva sunčanih dana, ovaj solarni park će proizvoditi preko 11 megavati električne energije - dovoljno za potrebe 8.000 (zapadnjačkih) domaćinstava.

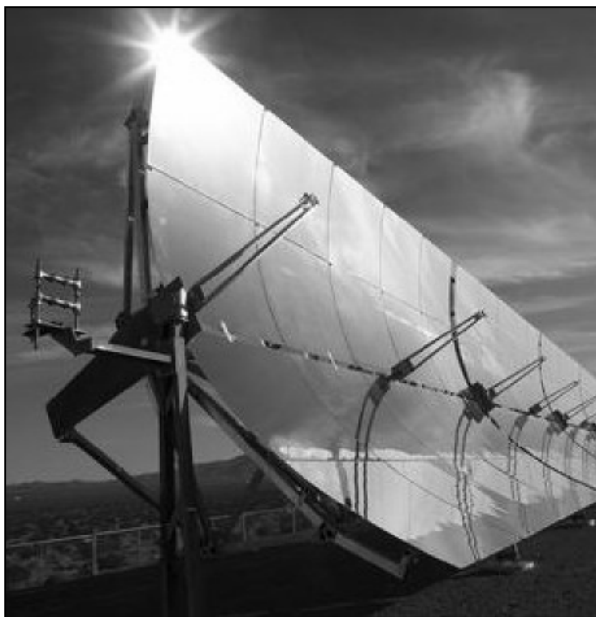
Serpina elektrana, koja pokriva oko 37 hektara ($0,37\text{ km}^2$), sadrži 52.000 panela u koje je ugrađeno skoro četiri miliona solarnih ćelija (crni kvadrati). Howard Wenger, izvršni podpredsednik "PowerLighta", izjavio je da izgradnja ovako velikog solarnog parka iziskuje manja ekonomska izdvajanja nego instalacija istog broja solarnih kolektora u manjim skupinama odn. na krovovima individualnog stanovanja ili poslovnih objekata.

Ovaj park je firmu GE koštao \$75 miliona i oni s pravom očekuju da se to vrati kroz profit. Portugalski korisnici imaju potrebu da kupuju električnu energiju iz ove centrale, a federalna vlada će pomoći sa svega par centi po kilovat-času potrošnje.

Na taj način, konačni korisnici će imati uvećane mesečne račune za elektrodistribuciju za manje od jedne desetine procenta. Wenger očekuje da će centrala godišnje proizvoditi oko 21.340 megavati struje, što će smanjiti regionalno zagađenje ugljen-dioksidom za oko 13.000 tona za isti period.

Serpa ima sunca kao i centralna Kalifornija ili Afrika, ali će elektrana moći da radi čak i za vreme kišovito perioda. Brojni senzori, poput ovih koji su prikazani na gornjoj slici, prate vremenske prilike i položaj Sunca, i lako kontrolišu uglove čitavih grupa solarnih panela.





Kalifornijska kompanija "Pacific Gas Electric" potpisala je ugovor s partnerima o izgradnji najveće solarne elektrane u svetu.

Instalisana snaga elektrane će biti 800 megavata i prikupljaće sunčevu energiju sa površine od 32,5 kvadratnih kilometara, objavljeno je u San Francisku.

Kompanija PGE namerava da podizanjem te solarne elektrane do kraja ove decenije poveća udeo obnovljivih vrsta energije, u ukupnim vlastitim energetske kapacitetima, na 20 odsto.

Firma "Optisolar", koja je prema ugovoru izvođač radova, će prvo izgraditi solarnu elektranu kapaciteta 550 megavata, koristeći tanke solarne panele, a kasnije i drugi objekat, sa dodanih 250 megavata, na površini

koja je ranije bila farma, u blizini mesta San Luis Obispo, koje je podjednako udaljeno od San Franciska i Los Anđelesa.

Realizacija ovog projekta trebalo bi da omogući godišnju proizvodnju električne energije od 1,65 milijardi kilovat-časova, što je dovoljno za uredno snabdevanje strujom 239.000 kalifornijskih domaćinstava prosečne veličine, u periodu od 12 meseci.

Kalifornija, koja je privredno najjača u SAD-u i na sedmom mestu u svetu po ekonomskom potencijalu, nastoji da što pre zauzme vodeće mesto na globalnoj listi korisnika elektroenergije dobijene iz obnovljivih izvora.

Španija je zasad na vrhu te liste, jer ima 23 takozvane solarne farme na kojima se struja dobija pretvaranjem sunčeve u električnu energiju.

U Nemačkoj je u toku gradnja solarne centralne kapaciteta 40 megavata, a u Australiji se gradi još veći takav kapacitet, instalisane snage od 154 megavata.

Postavljanje ogromnih instalacija za solarnu energiju u Saharu i gradnja 45 milijardi evra vredne visokonaponske mreže za istosmernu struju koja bi je mogla transferovati iz solarnih

instalacija u Sahari i u regiji severne Afrike do Evropske unije novi su predlozi koje podupiru Francuska i Velika Britanija.

Gradnja nove mreže nužna je budući da većina postojećih radi na osnovi izmenične struje i kao takve nužno gube previše struje na velike udaljenosti da bi bile isplative.

Pokaže li se uspešnim, projekat gradnje supermreže u Sahari mogao bi podmiriti kompletnu potražnju za električnom strujom u EU, tvrdi čelnik instituta EU za energiju Arnulf Jeger-Valden.

Ta je zamisao tek u povojima i evropski naučnici rade na njoj, uz političku potporu francuskog predsednika Nikolasa Sarkozyja i britanskog premijera Gordona Brauna.

Evropska unija pokušava da kreira novu energetske politiku koja bi ublažila zavisnost Evropljana o stranim fosilnim gorivima i istovremeno smanjila emisiju ugljen-dioksida iz evropske industrije, ublažavajući bojazni od promene klime.

Glavni je deo novog paketa predlog da se udeo obnovljivih izvora energije u ukupnoj potrošnji poveća na 20 odsto do 2020., u odnosu na postojećih osam odsto.

Iako se u planovima Brisela ne spominje supermreža koja bi prebacivala solarnu energiju iz Sahare na tržišta EU, Komisija ohrabruje istraživanja i razvoj novih tehnologija utemeljenih na obnovljivim izvorima.

Za sada ni privatni i javni ulagači na nivou EU ni u zemljama članicama nisu najavili finansijsku potporu projektu supermreže u Sahari.

Evropa je počela odbrojavati dane preostale nafti i ostalim gorivima koja su dovela do najveće pretnje današnjem svetu – globalnim klimatskim promenama.

IEA je pozvala na odlučniju akciju – do sredine stoljeća, dakle u sledećih 40 godina, 50 posto ukupne svetske proizvodnje strujom treba dolaziti iz obnovljivih izvora želimo li izbjeći najgore posledice klimatskih promena. IEA inače savetuje vlade 28 zemalja, a trenutni rad agencije usredsređen je na najveće potrošače zemlje OPEC-a i Kinu, Indiju i Rusiju.

Nemački pionirski "Zakon o obnovljivim izvorima energije", usvojen 2000. godine i dopunjen aprila 2004, propisuje da svaki proizvođač solarne energije, uključujući privatne, dobija novčanu nadoknadu za količinu struje koju isporuči nacionalnoj mreži.

U slučaju centrale u Borni, operateri garantuju potrošačima 0,43 evra po utrošenom kilovat-času (kWh) do 2025.

"PowerLightov" zarstupnik upoređuje redove svojih panela sa svima nama poznatim "venecijanerima": jedna dugačka metalna osovina je povezana sa redom panela i malim elektromotorom podešava njihov ugao preko dana.

Ujutro, paneli su okrenuti ka istoku da bi uhvatili jutarnje Sunce; kada je Sunce najjače, paneli su paralelni sa zemljom, a kako Sunce zalazi, tako se i paneli okreću ka zapadu.

Kolektori su dovoljno visoko od tla da ovce slobodno mogu da pasu ispod, tako da će Serpin park ubirati prihode i od stočarstva.

Krajnja faza konstrukcije solarnog parka uključuje proveru orijentacije panela uz pomoć inklinomera, i merenje maksimalne snage svakog solarnog panela.

Čitava centrala je planirana tako da nema stalno zaposlenih ljudi na terenu. Kiša će povremeno oprati panele i to je to. "PowerLight" i GE preko Interneta prate proizvodnju pojedinih grupa panela, a "PowerLight" po potrebi šalje majstore, ili jednom godišnje vrši rutinsku kontrolu i održavanje. "PowerLight" će do kraja ove godine u blizini Las Vegasa napraviti jednu sličnu ali još veću elektranu.

godine. Nasuprot tome, potrošači u Berlinu plaćaju 16,5 do 19 centi po kWh za konvencionalnu struju, dobijenu uglavnom uz pomoć nafte, gasa i nuklearne energije.

Takva velikodušnost je podstakla američkog funkcionera Endija Karsnera, odgovornog za obnovljive izvore energije, da solarnu struju oceni kao "luksuz za bogate nacije, koji plaćaju da bi imali čistiju i zdraviju okolinu".

Svako domaćinstvo koje na svom krovu instalira solarne ploče može sa sigurnošću očekivati da će mu godišnje biti vraćeno 5,6 odsto početnog ulaganja (koje iznosi 27.500 evra), objavilo je nedeljno izdanje nemačkog dnevnika "Frankfurter Allgemeine Zeitung". Nemačke firme se utrkuju da profitiraju na "bumu" sunčevog izvora neograničene, čiste energije.

Jedan od najvećih svetskih proizvođača solarnih ćelija "Solarworld", sa sedištem u Bonu, nedavno je postao najveći učesnik na tržištu solarne energije SAD kupovinom gubitakših poslova "Sela" sa silicijumom. Silicijum je glavna komponenta solarnih ćelija i fotogalvanskih modula koji "hvataju" sunčevu svetlost i pretvaraju je u električnu struju.

"Solarworld", osnovan pre sedam godina, treća je po veličini solarna kompanija na svetu, posle japanskog "Hitachi" i multinacionalne Britiš petroleum (BP), firme koja je lani bila vodeća figura na nemačkom tržištu akcija. Tri solarne firme su prošle godine debitovale na tržištu akcija, uključujući "Ku-sels" (Q-Cells), čija je inicijalna javna ponuda izazvala ogromno interesovanje.

Većina novih solarnih kompanija se nalazi u ekonomski manje razvijenom istočnom delu Nemačke kojem one donose gotovinu i obezbeđuju radna mesta. Prema podacima nemačkog udruženja za solarnu energiju (BSW), u solarnoj industriji cele Nemačke zaposleno je oko 40.000 radnika.

Cifra bi mogla porasti na 200.000 ljudi u narednih 20 godina, kada se očekuje da se udeo solarne energije upetostruči i dostigne pet odsto ukupnih nemačkih energetskih potreba.

dipl. inž Mladen Furtula, dr Gradimir Danon, dr Vojislav Bajić

Šumarski fakultet Beograd

UDC: 662.63 (497.11)

Supstitucija fosilnih goriva drvnom biomasom u planinskim turističkim centrima – primer Goč (Dobre Vode)

Rezime

Većina planinskih turističkih centara u Srbiji za grejanje koristi fosilna goriva ili električnu energiju dok drvna biomasa iz okolnih šuma ostaje delimično neiskorišćena i propada. Korišćenje šumske biomase kao goriva za grejanje turističkih kapaciteta na planinama ima ekološke i ekonomske prednosti. Kroz pilot projekat, čiji je inicijator Šumarski fakultet, trebalo bi da se, na konkretnom primeru nastavne baze Šumarskog fakulteta na Goču, proveri ispravnost ove pretpostavke, odnosno ekonomska, tehnološka i ekološka opravdanost korišćenja drvne biomase za proizvodnju toplotne i električne energije. Izgradnjom nove kotlarnice i proširenjem toplovodne mreže obezbedila bi se toplotna energija za sve proizvodne, nastavne i turističke objekte na lokalitetima „Gvozdec“ i „Dobre vode“ na planini Goč. Radi se o ukupno 10.000 m² pokrivenog prostora objekata Šumarskog fakulteta (nastavna baza i turističko naselje „Gvozdec“ sa 125 ležaja), hotela „Dobre vode“ sa 100 ležaja, planinarskog doma „Dobra voda“ sa 60 ležaja, dečijeg odmarališta sa 146 ležaja i ostalih pratećih objekata. Potrebe nastavne baze za toplotnom energijom, koje se obezbeđuju iz postojeće kotlarnice, iznose oko 3.000.000 kWh za šta se godišnje troši oko 3.000 m³ prostornog drveta. Priključenjem novih potrošača potrošnja toplotne energije bi se povećala za još približno 2.000 kWh, za šta bi bilo potrebno dodatnih 2.000 m³ prostornog drveta kao zamena za oko 300 tona uglja koji se sada koristi za gejanje u ovim objektima. Sve navedene količine drvne biomase bile bi obezbedene iz šume kojom gazduje Šumarski fakultet. Svi objekti se snabdevaju električnom energijom iz Kraljeva uz česte prekide i nedovoljan napon u mreži. U cilju smanjivanja zavisnosti objekata nastavne baze od snabdevanja električnom energijom iz Kraljeva predviđa se i mogućnost izgradnje kogeneracijskog postrojenja za paralelnu proizvodnju električne i toplotne energije.

ključne reči: supstitucija fosilnih goriva, drvna biomasa, toplotna energija, električna energija

Abstract

Most of the tourist centers in Serbia are using fossil fuels or electricity for heating while wood biomass from local forests is partly used and mostly collapsing in forest. Using wood biomass from forest as a fuel in tourist facilities on mountains has ecological and economical benefits. Through pilot project, which initiator is Faculty of Forestry from University of Belgrade, should confirm, on existent example on their own scientific base on mountain Goč, correctness of theory for economical, technical and ecological adequacy for production of thermal and electric energy from wood biomass. Building a new boiler and extension existing heating system have to ensure enough thermal energy for productive, and tourist facilities on "Gvozdec" and "Dobre vode" on mountain Goč. It is in total of 10.000 m² of covered space of constructions of Faculty of Forestry, Hotel "Dobre vode" with 100 beds, Alpine house "Dobre vode" with 60 beds, Children roost "Goč" with 146 beds and others objects. Present demands for thermal energy, which comes from existing boiler, are app. 3.000.000 kWh, and for that purpose it is used 3.000 m³ of stack wood. Addition of new users of thermal energy consumption would be growing up for app. 2,000 kWh or it would spend 2,000 m² more of stack wood and this amount would replace usage of 300 tons of fossil fuels. All stated amounts of wood biomass would be ensuring from economy forests of Faculty of Forestry. All facilities are supplying with electric energy from city of Kraljevo with frequent discontinuity and unstable main voltage. To provide less dependency from present suppliers, it is calculate in project goals installation of CHP for parallel production of thermal and electric energy.

Key words: Fossil fuel substitution, wood biomass, thermal energy, electricity

energija

1. Uvod

U Srbiji trenutno postoje pet nacionalnih parkova i svi su istovremeno i turistički centri. Pored toga, Srbija ima i manje više razvijen planinski turizam na više od 30 planina. Većina ovih turističkih centara za grejanje koristi fosilna goriva ili električnu energiju dok drvena biomasa iz okolnih šuma

ostaje neiskorišćena. Korišćenje šumske biomase kao goriva za grejanje turističkih kapaciteta na planinama imalo bi ekološke i ekonomske prednosti za celu Srbiju. Povod za početak ovih istraživanja je situacija u turističkom centru na planini Kopaonik, gde se najveći objekti kao što su hotel „Grand“ i apartmansko naselje „Sunčani

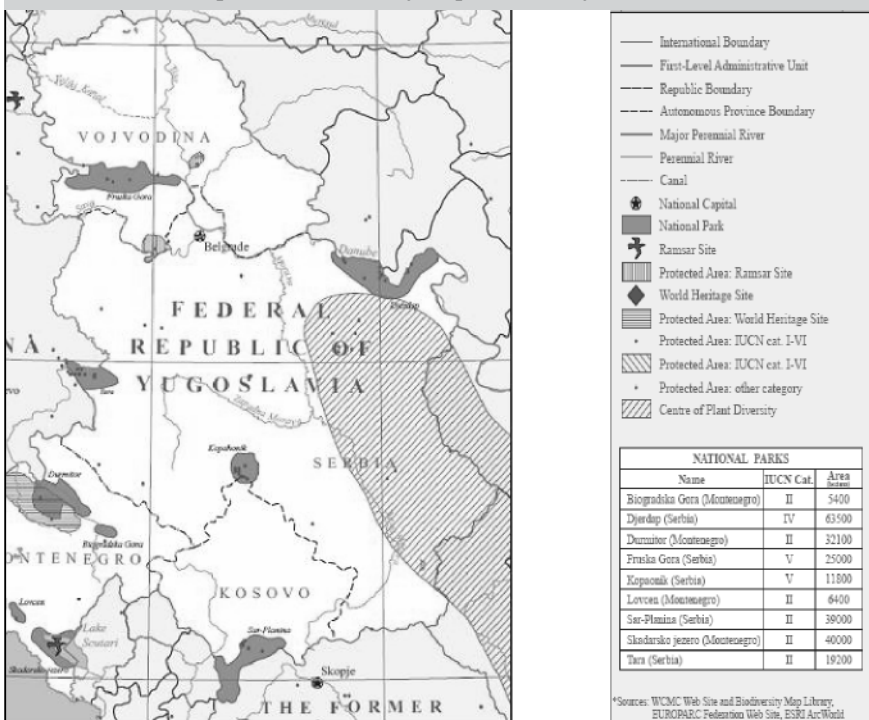
nastavu sa studentima, naučno – istraživački rad, ugledno gazdovanje šumama i uglednu primarnu preradu drveta. Planom razvoja predviđeno je da se izvrši reinženjering svih objekata uključujući i kotlarnicu. Cilj reinženjeringa bio bi da se studentima Univerziteta u Beogradu obezbede još bolji uslovi za edukaciju u gazdovanju prirodnim resursima. Nastavna baza svoje potrebe za toplotnom energijom zadovoljava sagorevanjem prostornog drveta i drvnih ostataka sa sopstvene pilane. Osim objekata Šumarskog fakulteta u neposrednoj blizini, na lokalitetu „Dobre vode“ postoje i turistički objekti, u vlasništvu opštine Kraljevo. Ovi objekti koriste ugalj, kao osnovno gorivo za dobijanje toplotne energije, a u manjoj meri drvo i električnu energiju.

U radu su prikazani detalji iz predloga projekta kojim bi se proverila ekonomska, tehnološka i ekološka opravdanost korišćenja drvene biomase iz lokalne sredine za proizvodnju toplotne (i električne) energije. Projekat predviđa izgradnju nove kotlarnice i proširenje toplotne mreže kako bi se obezbedila toplotna i električna energija za sve proizvodne, nastavne i turističke objekte na lokalitetima „Gvozdač“ i „Dobre vode“ na planini Goč.

2. Goč

Planinski masiv Goča prostire se između reka Ibra i Zapadne Morave, 30 km jugoistočno od Kraljeva i oko 200 km od Beograda. Njegova nadmorska visina kreće se između 300 i 1.154 m. Na istočnoj strani pokriven je bogatim i lepim šumama, a sa zapada sav je u goletima i kamenjaru. Prema severu

Slika 1 Nacionalni parkovi na teritoriji Republike Srbije



Slika 2 Položaj planine Goč u Srbiji



vrhovi“ greju na mazut [2], dok se neki, kao na primer, hotel „Nebeska stolica“ greju na električnu energiju [2]. Centar se nalazi u nacionalnom parku gde postoje dovoljne količine ogrevnog drveta [3,5] koje bi se mogle iskoristiti kao zamena za fosilna goriva koja se trenutno koriste. Ugalj se koristi za dobijanje toplotne energije i u fabrikama za preradu drveta [7], pa ovakvi radovi mogu da pokrenu pitanje potpune supstitucije sa drvnom biomasom. Šumarski fakultet Univerziteta u Beogradu gazduje Nastavno-naučnom bazom na Goču na lokalitetu „Gvozdač“ koja služi za praktičnu i terensku

Slika 3 Vila „Planinka“



Slika 4 Hotel „Dobre Vode“



energija

ovaj masiv je povezan sa planinom Stolovi, a prema jugu se naslanja na masiv Kopaonika. Prostorno pripada dvema opštinama - Kraljevu i Vrnjačkoj Banji.

Na lokalitetu "Dobre vode", koji je od pilane udaljen oko 800 m, nalazi se hotel "Dobre vode" sa 100 ležaja, planinarski dom "Dobra voda" sa 60 ležaja i dečije odmaralište sa 146 ležaja, kao i balon halu za male sportove

3. Energetski potencijal drvnog ostatka

Šumarski fakultet od 1956. godine na Goču raspolaže nastavnom bazom sa ukupno 3.731 ha šuma i šumskog zemljišta. U okviru nastavne baze postoji i pilana kapaciteta 7.000 kubika trupaca godišnje u jednoj smeni. Trenutno se na pilani seče oko 3.000 m³ godišnje (najviše jele) [1].

Lišćara se prosečno seče 8.900 m³ od čega je 5.500 m³ tehničko drvo za dalju mehaničku preradu, a ostatak čini ogrevno drvo (3.400 m³). Četinara se prosečno seče nešto manje (5.100 m³). Od te količine deo se može iskoristiti kao tehničko drvo (2.500 m³), a ostatak kao gorivo u kotlarnici (2.600 m³).

Ukoliko bi se kompletna količina tehničkog drveta (8.000 m³) preradila na pilani Šumarskog fakulteta, dobilo bi se oko 3.000 m³ rezane građe lišćara i oko 1.800 m³ četinara. Ostalo je kora, kao i krupan i sitan drveni ostatak prosečne vlažnosti od oko 60% (računato na suhu osnovu).

Prostorno drvo (6.000 m³), drveni ostatak iz pilane (3.200 m³) i kora (740 m³) imaju zajedno potencijalnu energiju od približno 83 miliona MJ, odnosno oko 23 miliona kWh. Gustina drveta bukve i jele uzeta je kao srednja

vrednost za zadatu vlažnost [8], dok je donja toplotna moć za navedene vrste prema rezultatima ranijih istraživanja [9].

Raspoložive količine prevazilaze sadašnje potrebe za toplotnom energijom parionica i objekata nastavne baze i studentskog naselja „Gvozdac“ za grejanje. Višak prostornog drveta se prodaje, a samo jedan njegov deo bio bi dovoljan za zagrevanje turističkog naselja „Dobre vode“, koje se sada zimi greje uglavnom na ugalj.

4. Energetski bilans potrošača

Sadašnji potrošači toplotne energije, koji se snabdevaju iz postojeće kotlarnice, su:

- Parionice čiji je kapacitet 50 m³, u kojima se može hidrotermički obraditi 3.000 m³ rezane građe godišnje;
- Grejanje pilane i objekata nastavne baze u zimskom periodu čija je ukupna površina oko 2.000 m²;
- Grejanje Centra za smeštaj i ishranu studenata „Gvozdac“ sa ukupno 100 ležaja.

Instalisana snaga izmenjivača toplotne u parionicama je 400 kW. Za njihov rad je potrebno, ukoliko bi radile cele godine, ukupno 1.200.000 kWh toplotne energije [1].

Zgrada pilane i pomoćni objekti se greju 6 meseci godišnje i za to je potrebno oko 200.000 kWh. Instalirana snaga grejnih tela je oko 150 kW [1].

Za grejanje objekata za smeštaj studenata potrebno je ukupno 600.000 kWh, a instalirana grejnih tela je 250 kW. Prema iskustvima iz drugih planinskih centara objekte za smeštaj potrebno je grejati 4.200 h tokom godine [10].

U proračun su, pored toga što se njihova gradnja tek predviđa, uključene i sušare čija je instalirana snaga 1.000 kW. Za njihove potrebe je predviđeno ukupno 1.500.000 kWh godišnje [1].

Trenutno za proizvodnju toplotne energije, za potrebe Šumarskog fakulteta, koriste se dva prepravljena lokomotivska kotla. Ne postoje potpune informacije, ali se zna da su kotlovi skinuti sa otpisanih lokomotiva dobijenih kao reparacija od Nemačke nakon Prvog svetskog rata. Kotlovi su preuređeni dodavanjem novog ložišta za sagorevanje piljevine i sitnijeg drvnog ostatka. Tačni podaci o snazi i stepenu iskorišćenja kotla ne postoje, a prosečna dnevna potrošnja u zimskom periodu iznosi oko 12 m³ krupnog ostatka i oko 2 tone piljevine.

Turistički objekti na lokalitetu „Dobre vode“ trenutno imaju dva kotlovska postrojenja, odnosno tri kotla. Hotel „Dobre vode“ i dečije odmaralište snabdevaju se toplotnom energijom iz dva kotla. Prema dobijenim podacima ova dva objekta, greju se 6,5 meseci 24 časa na dan, dok se balon hala greje po potrebi. Za rad tog kotlovske postrojenja u 2007. godini potrošeno je 250 tona uglja. Drugo kotlovske postrojenje (sa jednim kotlom) služi za zagrevanje skijaškog doma „Dobre vode“, koji ima površinu za zagrevanje od oko 550 m² i za koji se utroši oko 50 tona uglja, uz 60 prostornih metara drva, a po potrebi se koriste i električni kotlovi snage 9 i 18 kW.

Ukupna potrošnja uglja u objektima na lokalitetu „Dobre vode“ iznosi oko 300 tona na godišnjem nivou. Uglavnom se koristi mrki ugalj iz Pljevaljskih rudnika. Ukoliko pretpostavimo da je toplotna moć za ovu vrstu uglja oko 20 MJ/kg, trebalo bi supstituisati oko 6 miliona MJ, odnosno oko 1,7 miliona kWh toplotne energije na godišnjem nivou. Kada se tome doda dogrevanje električnom energijom i gubici od 10% do 12% pri transportu toplotne energije toplovodom, dobija se da bi za grejanje novopriključenih objekata van nastavne baze bilo potrebno dodatnih 2 miliona kWh.

Smanjenje emisije CO₂, ukoliko bi se izvršila zamena uglja (kao fosilnog

Slika 5 Situacioni plan planine Goč

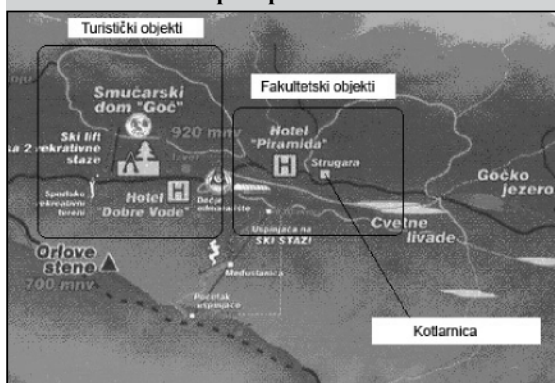


Tabela 1 Raspoložive godišnje količine drveta u NB Goč

Vrsta drveta	Prosečno godišnje posečeno m ³	Tehničko drvo m ³	Prostorno drvo m ³
Lišćari	8.900	5.500	3.400
Četinari	5.100	2.500	2.600
Ukupno	14.000	8.000	6.000

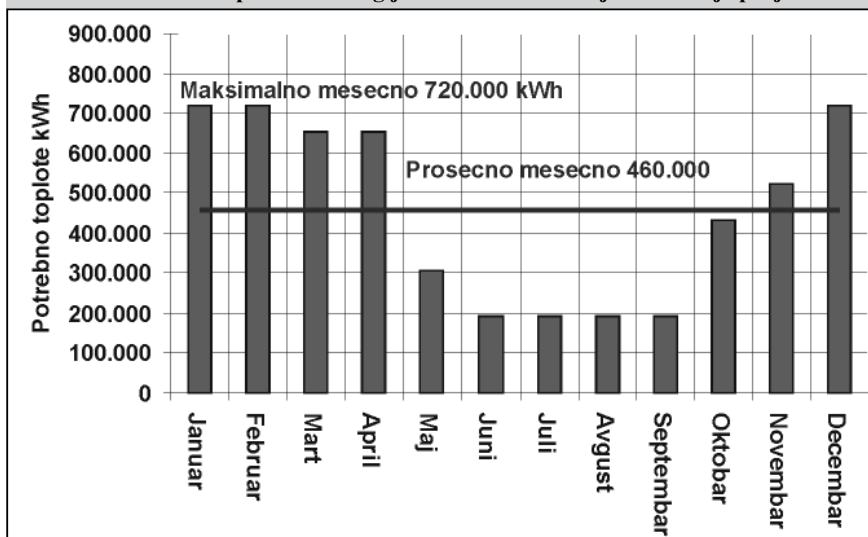
Tabela 2 Raspoložive količine drvnog ostatka na pilani u NB Goč

Vrsta drveta	Drveni ostatak u pilani u m ³	Kora u m ³
Lišćari	2.500	440
Četinari	700	300
Ukupno	3.200	740

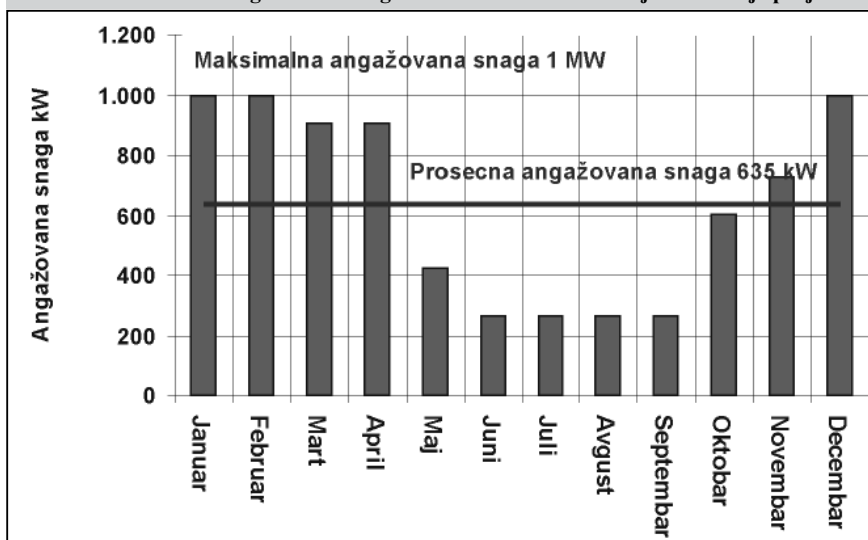
Tabela 3 Proračunata raspoloživa energija iz drvnog ostatka

Vrsta drveta	Drveni ostatak u pilani u m ³	Kora u m ³
Lišćari	2.500	440
Četinari	700	300
Ukupno	3.200	740

Slika 5 Potrebe za toplotnom energijom na Goču u slučaju realizacije projekta



Slika 6 Proračunata angažovana snaga kotlova na Goču u slučaju realizacije projekta



goriva) šumskom biomasom, prema proračunu CDM (Clean Development Mechanism) [4] bilo bi za oko 800 tCO₂ ekvivalentno na godišnjem nivou.

Ukupna proračunata količina energije potrebna za tehnološke potrebe i grejanje postojećih i planiranih objekata u nastavnoj bazi "Goč" iznosi oko

3.500.000 kWh godišnje. Priključenjem novih potrošača snage od oko 700 kW potrošnja bi se povećala za još približno 2.000.000 kWh, odnosno zajedno sa postojećim objektima na ukupno oko 5.500.000 kWh.

Nova kotlarnica i proširena toplovodna mreža bi trebala da obezbedi toplotnu

energiju za oko 10.000 m² pokrivenog prostora koji obuhvata pilanu, rasadnik, objekte nastavne baze i turističko naselje "Gvozdec".

Proračunom je utvrđeno da bi maksimalna mesečna potrošnja toplotne energije bila 720.000 kWh, a prosečna 460.000 kWh.

Prosečna angažovana snaga kotlova u toku zime bila bi oko 1.000 kW, odnosno u ekstremnim situacijama do 1.700 kW.

Novo kotlovsko postrojenje koje bi zadovoljilo sadašnje i buduće potrebe nastavne baze i turističkih objekata na Goču treba da ima dva kotla. Prvi kotao bi bio jačine oko 1 MW i koji bi se koristio za kombinovanu proizvodnju toplotne i električne energije. Drugi kotao bi bio manje snage, tj. oko 700 kW i koji bi služio u ekstremnim uslovima kada kapacitet većeg kotla ne bi zadovoljavao potrebe svih korisnika. Takođe, uparivanje kotlova omogućava neometano održavanje kotlova, kao i neometan rad pri iznenadnim havarijama jednog od ta dva kotla. Ono što je važno napomenuti da postojeće kotlove koji trenutno rade na uglj na lokalitetu „Dobre vode“ treba zadržati kao alternativne i po mogućstvu ih prilagoditi korišćenju drveta kao goriva.

5. Zajednička proizvodnja toplotne i električne energije

Za proizvodnju električne energije sagorevanjem biomase, tj. drvnog ostatka ima nekoliko razloga:

- Prvi bi bio uslovna samodovoljnost u potrebama za električnom energijom objekata na Goču. Nastavna baza je udaljena oko trideset kilometara od Kraljeva i snabdevanje električnom energijom u mnogome zavisi od vremenskih uslova.
- Drugi je potencijalna proizvodnja električne energije za prodaju, koja bi bila isplativa ukoliko se i kod nas uvedu stimulansi, koji inače postoje u zapadnim zemljama, a odnose se na proizvodnju električne energije iz obnovljivih izvora energije.

Kogeneratorska proizvodnja energije može se podeliti po načinu konverzije na:

1. Procese sa parnim ciklusom
2. Procese sa gasnim motorima i turbinama.
3. Kombinovani procesi

Izbor sistema za kogeneraciju u mnogome zavisi od nivoa proizvodnje toplotne i električne energije. Tako razlikujemo velika, srednja i mala i mikro kogeneratorska postrojenja. Kotlarnica na Goču je malog kapaciteta,

Tabela 4 Zbirni prikaz srednjih vrednosti [6]

	Parni motor	ORC	Mikro turbina	Gasni motor
Investicioni troškovi [EUR/kW _{el}]	1500	2300	900	1500
Troškovi održavanja [EUR/kW _{el}]	0,009	0,007	0,006	0,003
Ef. u proizvodnji el. energije [%]	15	15	20	30
Ukupna efikasnost [%]	85	85	80	85
Ukupna energija [kW]	1000			
Proizvodnja el. energije [kW _{el}]	130	130	160	255
Proizvodnja toplote [kW _t]	720	720	640	595

energija

kao i trenutne potrebe za toplotnom energijom, tako da bi pa spadaju u korisnike malih i mikro kogeneratorskih postrojenja. U slučaju kada je kotao ukupne snage oko 1 MW, moguće tehnološko rešenje i odabir sistema za kogeneraciju bi se mogao suziti na četiri vida proizvodnje električne i toplotne energije:

1. Parni motor
2. ORC ciklus
3. Mikro turbina i
4. Gasni motor

Kod svih ovih sistema karakteristika je da se lako varira snaga izlazne toplotne i električne energije i da im je opseg u kome imaju komercijalnu upotrebu do 1 MWel. Sledeći bitan parametar pri izboru je mogućnost uparivanja kotlova ili generatora. Ovaj parametar je bitan zbog razlike u proizvodnji pre svega toplotne u letnjem i zimskom periodu, a zatim zbog remonta. Prema procentu iskorišćenja izdvajaju se postrojenja koja rade na principima gasifikacije drveta. Pored toga, njihovi investicioni troškovi nisu veći od parnih ciklusa.

6. Zaključak

Šumarski fakultet ima potrebu da u skorij budućnosti da revitalizuje ili zameni kotlove u postojećoj toplani. To će biti dobra prilika da se poveća energetska efikasnost postrojenja, mreža proširi na turističke objekte u blizini nastavne baze, kao i da se omogući zajednička proizvodnja toplotne i električne energije.

Novo kotlovsko postrojenje bi doprinelo boljem i većem iskorišćenju drvne biomasa iz Nastavne baze Goč, smanjili bi se troškovi za gorivo, transport i održavanje postrojenja. Samim tim, toplotna energija bi bila jeftinija kao za objekte šumarskog fakulteta, tako i za objekte na lokalitetu „Dobre vode“.

Zamenom fosilnih goriva (uglja) šumskom biomasom za zagrevanje objekata na Goču smanjila bi se i emisija CO₂ u atmosferu. Izračunate količine se odnose samo na količinu koja se smanjuje pri supstituciji uglja sa drvnom biomasom i ne obuhvataju uštedu zbog proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora energije.

Proizvodnja električne energije u ovom sistemu poboljšalo bi redovno snabdevanje korisnika električnom energijom i mogućnost dodatnih prihoda.

Ono što bi trebao da bude osnovna korist od ovakvog postrojenja je mogućnost da studenti u Srbiji, ali i ostali koji se bave istraživanjima u ovoj oblasti, steknu iskustva u radu sa

postrojenjima za zajedničku proizvodnju toplotne i električne energije.

7. Literatura

1. Furtula M.: „Analiza mogućnosti kogeneracije u pilanskoj preradi drveta na primeru pilane Šumarskog fakultetana Goču“, Seminarski rad, Beograd, 2007.
2. Kovačević D., Rožić D., Bogdanov N, Dragaš N.: „Predlog rešenja toplifikacije hotela Neveska stolica, Sunčani vrhovi i Grand, Kopaonik“, Seminarski rad, Beograd 2008.
3. Banković S. i sar.: Nacionalna inventura šuma Republike Srbije, Šumarstvo, 2008. (LX) No 3, pp 1-16.
4. CDM odobrene metodologije za projekte malog obima: <http://cdm.unfccc.int/methodologies/SSCmethodologies/index.html>
5. Ilić M. i sar.: “Energetski potencijal i karakteristike ostataka biomase i tehnologije za njenu pripremu i energetske iskorišćenje u Srbiji”, studija u okviru projekta NP EE611-113A, Beograd, 2003.
6. energytech.at – Cogeneration (CHP), a TechnologyPortrait, Vienna, 2002
7. Danon G.: “Analiza stanja energetskih kapaciteta u drvnoj industriji Srbije”, Šumarstvo, XLVII
8. Šoškić B., Popović Z.: “Svojstva drveta”, udžbenik, Šumarski fakultet, Beograd, 2002.
9. Stevanović Janežić T. i sar: “Unapređenje tehnologija drveta u korelaciji sa svojstvima hemijskih konstituenata drveta”, monografija, Šumarski fakultet, Beograd, 1995.
10. Heidolt F., Hamidović E.: “Toplana na biomasu Kolašin”, Studija izvodljivosti, 2005

Energija pod Kosmajem

Primena obnovljivih izvora energije u Mladenovcu

“Ima asimetričnih dolina, čija je jedna strana ravna i niska, a druga brežuljkasta i ona je pod uticajem sunčanih zrakova skoro od izlaska do zalaska sunca, osobito ako je na južnoj strani reke. Gotovo ništa dakle ne sprečava insolaciju preko celoga dana. Na takvoj obali su se skoro uvek nalazili nizovi praistorijskih naselja, a ako je spadala u oblast rimske kolonizacije, zvala se kadšto “Zlatna obala” (Mons aurens). Takva je cela obala od Šarengrada i Iloka u Sremu, do Smedereva u severnoj Šumadiji”.

Jovan Cvijić

Uvod

Grad Mladenovac, najmlađi je među gradovima koji ga okružuju. Počev od 1882. godine, kada je proglašen za varoš, pogodnosti položaja i saobraćajnih veza (evropski Koridor 10) bili su presudni činiooci njegovog privrednog uspona. U odnosu na susedne varoši (Sopot, Arandelovac, Topolu i Smederevsku Palanku), Mladenovac zauzima središnje mesto i važna je raskrsnica svih ekonomskih tokova.

Zbog toga, do sredine XX-og veka, ovde se nalazilo jedno od železničkih čvorišta Srbije. Dok je glavna pruga iz Mladenovca nastavljala na istok put Palanke i Niša, sporednim kolosekom šine su lagano okretale prema zapadu. Tim drugim železničkim krakom, popularni “Ćira” je svakodnevno saobraćao preko Arandelovca, Lazarevca, sve do Lajkovca, i dalje, ka Valjevu, odnosno Milanovcu, Čačku i Užicu. Bila je to najprirodnija veza

Rezime

Poslednjih godina, evidentan je brz razvoj primene solarne energije u Mladenovcu: izgrađeno je 5 privatnih pasivnih solarnih kuća: dograđeno je više desetina staklenika na različitim građevinskim objektima; instalirano je preko 100 m² solarnih kolektora za grejanje vode domaćinstava; ugrađena je toplotna izolacija na preko 500 novih i starih kuća i zgrada, i kao najnovije - postavljen je prvi “solarni” semafor (pokretan strujom iz solarnih ćelija). Pored iskorišćenja sunčeve energije, važni početni koraci ostvareni su u oblasti primene geotermalne energije. Jednostavnom dogradnjom toplotnih izmenjivača, vruća mineralna voda “Selters” (53°C) iskorišćena je za hlađenje plivačkih bazena i grejanje vode u tuševima soba Rehabilitacionog centra “Selters”. Mesečne uštede električne energije po ovom osnovu iznose oko 30.000 kWh, uz planove o postepenom povećanju korišćenja geotermalnog potencijala Selters Banje, ugradnjom novih toplotnih izmenjivača, kao i upotrebom toplotnih pumpi. Konačno, valjan izbor za održivu energetsku budućnost ovog regiona (Severna Šumadija i Pomoravlje), trebalo bi da bude energija vetra. Opština Mladenovac leži u vetrovitom košavskom području južne obale Dunava (max. 25 m/s). Na brojnim, dobro “provetrenim”, lako pristupačnim a nenastanjenim bregovima podno Kosmaja, moguće je postaviti nekoliko farmi modernih vetrogeneratora, čija bi ukupna snaga prelazila 20 MW. Sasvim dovoljno za pokriće vršnih perioda potrošnje električne struje tokom hladnog (i vetrovitog) dela godine.

KLjučne reči: Obnovljivi izvori energije, Kosmaj, Mladenovac

Energy Under Kosmaj

Renewable energy sources implementation in Mladenovac

Kosmaj and Mladenovac are situated 50 km south from Beograd (Serbia). The city of Mladenovac lies at the east side of Kosmaj mountain, on important traffic route Beograd-Nis-Sofia. In latest years, rapid development of renewable energy sources implementation in Mladenovac became evident: 5 private passive solar houses were built; over 100 m² domestic hot water solar collectors were installed; thermal insulation at over 500 old and new buildings was added; and most recently, first traffic-light, powered with solar cells, was mounted. Beside Solar energy, important initial growth was realised in Geothermal energy. Using heat exchangers, the hot mineral water “Selters” (53°C) is utilised for swimming pools (cooling) and showers baths (heating) in the rooms at Mladenovac department of Institute for rehabilitation. Monthly savings of expensive electrical energy are about 30.000 kWh today, but there is a plan to increase utilisation of geothermal potential in Selters Spa, with new heat exchangers and implementation of heat pumps. Finally, energetic choice for future of these region (North Shumadia and Pomoravlje) would be the wind. The Municipality of Mladenovac lies at south banks of Dunav river, in windy “kosava” areas (max. 25 m/s). On many empty slopes and hills under Kosmaj is possible to install number of modern wind generators, with total electric power of 20 MW and more.

Key words: Renewable Energy Sources, Kosmaj, Mladenovac

energija

Šumadije i Zapadne Srbije.

Nažalost, zbog "perspektivnih" kolubarskih ugljenokopa, ova pruga je krajem šezdesetih godina, najpre zatvorena, a potom i izmeštena.

Njena naslednica, pruga Beograd-Bar, izgrađena deceniju kasnije, svojom neprirrodno vijugavom trasom kroz bespuća Zapadne Srbije, nikad nije uspela da nadoknadi korisnost stare "lajkovačke" pruge.

Poslednjih godina, među ovdašnjim domaćinima sazreva ideja o restauraciji i oživljavanju ukinutih koloseka. Najpre ravnicom do Topole i Aranđelovca, a potom, između masiva Bukulje i Rudnika, ka dolinama Kolubare, Zapadne Morave i Drine.

Ako Srbija zaista namerava da stane u red modernih evropskih država - ona mora razvijati železnički saobraćaj.

I to ne samo na međunarodnim koridorima, već i na regionalnim pravcima, posebno onim u smeru istok-zapad. Gradovi iz Istočne i Zapadne Srbije (Bor i Valjevo, na primer) moraju biti saobraćajno neuporedivo bolje povezani. Time bi cela Šumadija „živnula“, rasteretili bi se Beograd i Kragujevac, manje bi se trošili naftni derivati, a posredno bi budućim naraštajima kako gradskih naselja tako i urbanizovanih sela bili stvoreni uslovi za prirodniju i zdraviju budućnost.

Vratimo se na temu. Što se potrošnje energije tiče, Mladenovac se već više od dvadeset godina u zimskom periodu dominantno greje na prirodni gas. Trenutno se gasifikuju i veća okolna sela. Time je stanovništvo pošteđeno nekadašnjih problema sa aerzagadaenošću usled pojedinačnih kotlarnica na ugalj. Međutim, visoke cene prirodnog gasa, primoravaju Mladenovčane da se okreću obnovljivim izvorima energije. Budući da od države ne dobijaju nikakav direktan podstrek (osim povećanja cena), ljudi se snalaze svako na svoj način. Naredna priča posvećena je dostignućima na polju primene obnovljivih izvora energije.

Sunčeva energija

Za razliku od Beograda, koji je otvoren ka Panonskoj niziji, Mladenovac je geografski okrenut prema dolini Morave i nalazi se na obodu pomenute Cvijićeve *Mons aurens* oblasti (južna obala Dunava).

Od jačeg prodora hladnih severnih vetrova ovaj deo Šumadije zaštićen je bedemima Parcanskih visova (409 m), Avale (506 m), Kovione (399 m) i Varovnice (406 m). Sa severozapada, prirodnu prepreku za vlažna strujanja, kao i aerzagadenja iz kolubarskih ugljenokopa predstavlja prostrana i šumovita planina Kosmaj (628 m). Sam grad je podignut na južnoj padini, koja se blago spušta u poprečnu dolinu rečice Veliki Lug i celom površinom je visoko osunčan. Srednja godišnja suma globalnog sunčevog zračenja iznosi 3.850 Wh/m² na dan.

Dobrim delom zbog ovako štedrih prirodnih uslova, a naročito zahvaljujući informisanosti preduzimljivih Mladenovčana, primena sunčeve energije pod Kosmajem se veoma brzo širi. Do danas je izgrađeno pet pasivnih solarnih kuća (dve "Penelope", dve "Lire" i jedna "Afrodita"). Opisaćemo jednu od njih.

Primer 1.: „Afrodita“ sa Debeljaka

Izlaz iz Mladenovca prema Smederevu, poput velikog livadskog cveta, ukrašava pasivna solarna kuća „Afrodita“. Svako ko je prolazio tim putem, ako nije zastao, zadivljen vitkim linijama neobične kuće, morao se bar za trenutak osvrnuti da je bolje osmotri. Pogled sa mesta na kojem je kuća podignuta (obronak brega zvanog Debeljak) obuhvata gotovo ceo grad. Pasivna solarna kuća „Afrodita“, tipski je projekt savremene solarne kuće, prilagođene tradicionalnom šumadijskom načinu gradnje. Odlikuje se svojom prizemnošću, krovom „na četiri vode“, zacrepljenim središnjim dimnjakom i nezaobilaznom staklenom verandom. Prema rečima njenog vlasnika, osnovna prednost ove kuće je u njenoj funkcionalnosti, omogućenoj prizemnom osnovom, uz pogodnosti koje proizlaze iz odlične hidro i termoizolacije.

Toplotni gubici kroz krov sprečeni

Slika 1 Solarna kuća "Afrodita"



su slojem staklene vune debljine 10 cm, dodatno obloženog zaštitnim aluminijumskim i PVC folijama. Za razliku od potkrovlja, podovi i zidovi „Afrodite“ iz Mladenovca izolovani su presovanim stiroporom, debljine 10 cm, takođe obloženi aluminijumskim folijama. Svi otvori na kući (vrata, prozori, svetlarnici, veranda) snabdeveni su dvostrukim, termoizolacionim staklom i jako dobro zaptiveni. To znači da su ukupni toplotni gubici kuće svedeni na minimum. Glavni solarni element je staklenik, površine 20 m², koji dominira južnom stranom kuće. Bočne strane staklenika su zatvorene, čime je veranda zaštićena od jakih udara košave i većeg gubitka toplote tokom hladnih zimskih noći. Time je **žiteljima kuće omogućeno da staklenik koriste ne samo za grejanje, već i za gajenje ranog povrća (zelene salate i mladog luka) i to usred zime.**

Pored staklenika, kao akumulatori prikupljene toplote važni su i unutrašnji betonski zidovi. Naime, međuspratna konstrukcija je iskorišćena za provođenje toplog vazduha iz staklenika do skladišta toplote, koje se nalazi ispod poda. Kanali za topli vazduh provode prikupljenu toplotu kroz masivan šuplji zid u dnevnoj sobi, zagrevajući ga, što povećava toplotnu inerciju kuće i doprinosi temperaturnoj ravnoteži u celom objektu.

Za dopunsko grejanje tokom oblačnih i maglovitih perioda, koriste se dve peći na prirodni gas. Zahvaljujući solarnim elementima i termoizolaciji, **prosečna mesečna potrošnja prirodnog gasa u ovoj kući tokom zime iznosi svega oko 140 m³, što je četiri do pet puta manje od običnih kuća sličnih dimenzija.** To praktično znači da se mesečne uštede gasa kreću na nivou između 420 i 560 metara kubnih. Izražene u novcu (cena prirodnog gasa za domaćinstva trenutno iznosi 34,61 din/m³) ove uštede vrede između 14.536 i 19.381 dinara, odnosno između 161 i 215 evra (po kursu od 90 dinara za 1 evro). Dodamo li tome obavezni porez na dodatnu vrednost, po sniženoj stopi od 8%, mesečne uštede se povećavaju na 173 i 232 evra. Nadalje, tokom tri najhladnija meseca (pola grejne sezone) ovako ostvarene kumulativne uštede prirodnog gasa

energija

u solarnoj kući „Afrodita“ vrede između 519 i 697 evra. Dakle, **za celu grejnu sezonu od šest meseci, posmatrane solarne uštede (po sadašnjim cenama) prelaze iznos od 1.000 evra.** Ako ovaj iznos, naposljetku pomnožimo sa 10, 20 ili 50 godina, vrednost očekivanih ušteta u evrima, izražava se brojevima sa pet cifara. Da li je to za potcenjivanje? Naprotiv. Ovdje se jasno može uočiti veza između visokih cena gasa i ubrzane pasivne primene solarne energije. Mladenovac je u potpunosti gasifikovan pre desetak godina, i za to vreme, skokovi cena prirodnog gasa (sa 4 na 12, pa sve do preko 30 din po m³) primorali su ljude da ozbiljno poveru računa o svojoj energetskej potrošnji. Sunčevo zračenje, dopunjeno toplotnom izolacijom, pokazalo se kao jedno od najlakših rešenja. Pored pasivnih solarnih kuća, u Mladenovcu je energetski rehabilitovano nekoliko stotina privatnih, porodičnih kuća. Te kuće sada imaju dobru termoizolaciju (stiropor, tarolit, mineralna vuna, kamen, fasadna cigla i sl.), a većina njih raspolaže povećanom zastaklenošću južnih i jugoistočnih strana. Tako se na nivou grada godišnje ostvaruju osetne uštede prirodnog gasa, reda veličine nekoliko stotina hiljada metara kubnih ili nešto manje od upola isto toliko hiljada evra (zavisno od odnosa dinar-evro).

Osim stambenih, u Mladenovcu poslednjih godina niču nove poslovne i školske zgrade sa ugrađenim arhitektonskim sklopovima koji omogućuju pasivnu primenu sunčeve energije. Na taj način, neposredno ostvarene energetske uštede bivaju dopunjene budućim inicijativama na tom polju, zahvaljujući zarazno- edukativnom dejstvu „efekta ugledanja“.

Neizbežno solarno grejanje sanitarne vode, zasad je primenjeno kod 12 individualnih domaćinstava, sa ukupnom instalisanom površinom solarnih kolektora od oko 60 kvadratnih metara. Pri tome, brojne vikendice po Kosmaju i okolini nisu razmatrane. Obuhvaćene su samo stambene zgrade u kojima ljudi prebivaju. Reč je uglavnom o povratnicima iz inostranstva, koji su dugogodišnjim pečalbarenjem po belom svetu dobro naučili kako da troše svoj teško zarađeni novac. Dobar primer predstavlja sistem za grejanje sanitarne vode pomoću sunčeve energije u Kusadku.

Prikazani solarni sistem za grejanje vode u selu Kusadku (na putu od Mladenovca ka Smederevskoj Palanci) **najstariji je u kosmajskom kraju.** Iako instaliran sredinom sedamdesetih godina prošlog veka (u vreme domaćeg privrednog uzleta a istovremene energetske krize u svetu¹), ovaj solarni sistem (uvezen iz Nemačke)

dobijeni iznosi su posve drukčiji. Ilustrovaćemo to sledećim primerom.

Primer 2. : „Solarac“ naspram „jugića“

Zub vremena je i u ovom slučaju odradio svoj posao, iz čega se mogu izvući očigledne pouke. Primer se odnosi na poređenje dve suprostavljene investicione opcije: *održive* (solarni sistem za grejanje vode u domaćinstvu) i *neodržive* (putnički automobil YUGO 55). Obe su realizovane 1991. godine, u istom domaćinstvu (mladenovačko naselje Rajkovac) i još uvek su u funkciji.

Naredna tabela pojednostavljeno prikazuje ekonomske efekte ovih investicija po kućni budžet, po isteku 15 godina korišćenja:

Predznak minus kod iznosa varijabilnih i ukupnih troškova za solarni sistem znači da taj iznos u stvari predstavlja negativan trošak, tj. **neto uštedu**. Ako se računa sa prosečnom cenom motornog benzina od 1 evro za litar, kao i prosečnom cenom električne energije od 0,05 evra po kilovat satu, može se zaključiti da je **malolitražni automobil, za 15 godina korišćenja, prouzrokovao preko dvadeset puta veće ukupne konvencionalne troškove od solarnog sistema za grejanje vode.** Misli se na one troškove koji se mogu direktno izraziti u novcu, budući da se radi o dve, sa stanovišta načina upotrebe, neuporedive opcije. Ako bi u prethodnu računicu uključili nekonvencionalne troškove (aerozagađenje, istrošeno motorno ulje, saobraćajno zagušenje i buku), uočena korist od primene solarnog zagrevanja vode bi se znatno povećala.

Osim navedenih malih solarnih sistema za grejanje vode pojedinačnih domaćinstava, **nedavno je puštena u rad i prva veća solarna instalacija ovog tipa, namenjena kolektivnoj potrošnji.** Reč je o novoj zgradi privatnog staračkog doma „Lug“, na čijem krovu je razmešteno **dvadeset toplovodnih kolektora, neto solarne površine od oko 40 m².**

Vlasnik ovog staračkog doma, izgrađenog na sunčanoj padini sela Kovačevca, udaljenog tri kilometra od Mladenovca, očekuje prosečnu godišnju uštedu električne energije od oko 25.000 kWh. Zavisno od tarifnog stava kojim se obračunava potrošnja struje u ovom objektu, kao i

Slike 2 i 3 Staklenici zgrada Gimnazije (levo) i Centra za socijalni rad (desno)



Slika 4 Seoska kuća sa kolektorima i verandom u Kusadku



još uvek radi. Na taj način **već dvadeset i petu godinu donosi svom vlasniku čistu energetskeu uštedu** (ako računamo sa bagatelnim cenama struje iz sedamdesetih i prostim rokom nadoknade uloženog kapitala od deset godina). Međutim, ako računamo sa današnjim cenama električne energije,

¹ Čudna podudarnost sa aktuelnom teškom finansijskom krizom u svetu, a istovremeno finansijskom ekspanzijom u Srbiji.

Slika 5 Kuća sa solarnim kolektorima u Rajkovcu



od tekućeg odnosa dinar-evro, novčani iznos navedenih solarnih ušteda može dostići i preko 3.000 evra godišnje.

Računajući sa budućim daljnim povećanjima cena električne energije u Srbiji, ovaj novi solarni sistem za grejanje vode na privatnom staračkom domu, donosiće sve vrednije i vrednije uštede. Znajući to, vlasnik ovog staračkog doma je ozbiljno zainteresovan i za postavku mini vetrogeneratora na svom zemljištu. Time bi svom objektu i njegovim korisnicima obezbedio dodatnu energetska sigurnost, odnosno nezavisnost.

Završavajući deo rada posvećen primeni sunčeve energije, osvrnućemo se na najnoviji mladenovački „sunčani krik“ – solarni semafor.

Semafor, pokretan strujom iz solarnih ćelija, površine nekih 1,2 m² u kombinaciji sa akumulatorskom baterijom, postavljen je na ulazu u Mladenovac iz pravca Kragujevca. Pošto ovaj opterećeni magistralni put nije pogodan za postavku klasičnih „ležećih“ policajaca, pokazalo se da je uočljivi solarni semafor najbolje rešenje za usporavanje gustog

saobraćaja na frekventnom pešačkom prelazu između dečjeg obdaništa i osnovne škole kod Selters banje. Rešenje za svaku pohvalu. Od ostalih obnovljivih energetskih izvora, pored **konvencionalne biomase** (ogrevno drvo, otpaci šumskih i poljoprivrednih kultura), **koja vekovima saturira većinu potreba za toplotnom energijom razuđenih seoskih domaćinstava**, realne šanse za širu primenu imaju **energija vetra** i naročito **geotermalna energija**.

Energija vetra

Zbog svoje okrenutosti prema dolini Morave, Mladenovac većim delom godine oseća svu prevrtljivost košave, čija prosečna jačina na ovim prostorima najčešće prevazilazi potrebnih 5 m/s (sa udarima i do 25 m/s). Naravno da to nije uporedivo sa jačinom košave kod Golupca ili Bele Crkve, ali nije ni za *a priori* odbacivanje.

Prema neposrednim iskustvima autora ovih redova (koji je, budući zaljubljenik u prirodu, biciklom prokstaro sve ove predele), za

primenu vetroenergije, pored istočnih obronaka Kosmaja, naročito su pogodni nenastanjeni delovi pojedinih sela, locirani na grebenima okolnih pobrđa, viših od 300 metara nadmorske visine, koja gravitiraju ka Dunavu, poput Šepšina, Vlaške, Rajkovca, Dubone, Velike Krsne, Velikih Granica i Kovačevca. Zemljišta na ovim vetrovitim mestima su slabijeg kvaliteta, jeftinija za otkup, dok im je prilaz, usled dobre putne mreže prilično lak. To znači da bi troškovi održavanja vetrenjača bili niski, tako da se teoretski može postaviti nekoliko manjih farmi aerogeneratora srednje pojedinačne snage (100 do 500 KW). Ukupna snaga ovih „kosmajskih“ vetroparkova, prelazila bi 20 MW, što bi bilo dovoljno za pokrivanje vršnih opterećenja u potrošnji struje tokom najhladnijih delova godine.

Do sada su, u privatnoj režiji, na kosmajskim vikendicama, početkom osamdesetih godina prošlog veka, postavljene dve mini-vetrenjače, ukupne električne snage od oko 25 KW. Na žalost, danas ni jedna od njih nije u funkciji. Ne ulazeći u razloge zašto je to tako, konstatovaću da su početni koraci u ovoj perspektivnoj oblasti primene obnovljivih izvora energije već učinjeni. Dalje bi sve trebalo da se odvija prirodnim tokom. Generalno gledano, ovde se očekuje brz porast **tržišne primene** energije vetra već u bliskoj budućnosti. I to kako od strane imućnijih preduzetnika na svojim reprezentativnim objektima, tako i na imanjima situiranih povratnika iz inostranstva i njihovih naslednika, čiji je ekonomski uticaj poslednjih godina na lokalnoj ravni sve prisutniji.

Slika 6 Sistem solarnih kolektora na zgradi staračkog doma „Lug“



Tabela 1 Poređenje ušteda od solarnog grejanja vode, sa troškovima korišćenja malolitražnog putničkog automobila

Oblik investicije	Početno ulaganje	Varijabilni troškovi za 15 godina upotrebe	Ukupni troškovi za 15 godina
	1	2	1+2
Automobil benzinac (1.100 cm ³ , 8 lit. na 100 km)	Oko 5.000 €	oko 15.000 € *)	oko 20.000 €
Solarni sistem (3 kolektora, 6 m ² Bojler od 300 lit.)	Oko 1.700 €	oko – 2.500 € **)	oko – 800 €

*) **automobil** je prešao 150.000 km; gume su menjane pet puta; svake godine se događao par krupnijih kvarova; na pređenih 120.000 km urađena je generalna popravka motora; takođe su uračunati troškovi zamene svih vrsta mazivih i rashladnih tečnosti, godišnje registracije, drumarine i parkinga.

) **solarni sistem je godišnje štedeo u proseku po 3.700 kWh električne struje; četiri puta je menjana nesmrzavajuća tečnost; po jednom su zamenjeni cirkulaciona pumpa i termoizolacija prenosnih cevi; takođe, u 14-oj godini rada, bojler je zamenjen drugim.

Izvor: Originalni podaci autora

Geotermalna energija

Zahvaljujući činjenici da je gotovo potpuno gasifikovan, Mladenovac danas u zimskom periodu ne kuburi sa aerozagađenošću pepelom, čađu i sumpordioksidom, poput većine gradova središnje Srbije. Ipak, stalno rastuće cene prirodnog gasa i električne energije primoravaju Mladenovčane da

Slika 7 Solarni semafor kod „Seltersa“



kg u sekundi, ulazne temperature od 53°C, izlazne temperature od 25°C. Do nedavno je ova voda korišćena isključivo u balneologiji i to za fizikalnu terapiju i inhalaciju respiratornih organa, uz energetski ekvivalent od 70 TJ godišnje. **Od nedavno, Selters voda se direktno koristi i za energetske svrhe.** Naime, domišljatošću inženjera Gorana

Slika 8 Stara vetrenjača u dvorištu vikendice na Kosmaju



Matića iz toplane Mladenovac (odeljenje Beogradskih elektrana) i njegovih kolega iz Rehabilitacionog centra „Selters“, jednostavnom **dogradnjom toplotnih izmenjivača za geotermalnu vodu, isključena su iz upotrebe tri električna grejača od po 33 KW (ukupno 99 KW).**

Toplotni izmenjivači ovde vrše dvostruku ulogu: višak toplote koriste za dogrevanje obične sanitarne vode u tuševima hotelskih soba, dok se preostala niska temperatura koristi za rashlađivanje pretople „Selters“ vode u bazenima rehabilitacionog centra. Na taj način, smanjena je potrošnja električne struje, dok je istovremeno pacijentima sa

visokim krvnim pritiskom olakšana hidroterapija u bazenima i kadama napunjenim doskora vrućom, a odskora prijatno mlakom banjском vodom. Podstaknuti prvim rezultatima ove jednostavne novine, nadležni u Seltersu za blisku budućnost planiraju zamenu još nekoliko starih električnih grejača toplotnim izmenjivačima za geotermalnu vodu. Međutim to nije sve. Radi povećanja izdašnosti, koja je trenutno manja od potrebnih 25 kilograma u sekundi, u toku je čišćenje postojećih bunara, tako da je javna česma sa Selters vodom, koju su građani godinama slobodno koristili, već nekoliko meseci „presušila“. Istovremeno se razmatraju planovi o eventualnom otvaranju novih bušotina u cilju primene toplotnih pumpi. To su već projekti koji zahtevaju mnogo više specijalizovane opreme i znanja i vremena i para. Ali nisu neostvarivi.

istražuju nova rešenja za grejanje. Jedno od njih je geotermalna energija. Od više različitih izvorišta na području opštine, sa energetskog stanovišta najinteresantnije je ležište slane termomineralne vode „Selters“.

P r i m e r 3. : Selters banja - usnuli geotermalni džin?

Važno odeljenje čuvenog Instituta za rehabilitaciju iz Sokobanjske ulice (Beograd), nalazi se u Mladenovcu. Nosi naziv Odeljenje za rehabilitaciju „Selters“ i nastavlja tradiciju poznate Banje „Selters“, koja je proglašena za lečilište krajem 19-og veka. Prošle godine je proslavljeno 110 godina korišćenja slane termalne vode „Selters“ u medicinske svrhe. Selters voda, saliniteta 8%, leži na dubini od 800 metara i vodi poreklo od nekadašnjeg Panonskog mora. Izdašnost postojećeg nalazišta je 19

Prema proceni Prof. dr Mihajla Miliivojevića sa Rudarsko-geološkog fakulteta iz Beograda, na dubini od 2.000 metara, temperatura „Selters“ vode bi trebalo da iznosi oko 90°C. To znači da postoji izgledna prilika za intenzivniju primenu geotermalne energije za grejanje ne samo banjског kompleksa, već obližnjih zgrada Gerontološkog centra, Osnovne škole i Dečjeg obdaništa, kao i postojećih i budućih okolnih stambenih naselja. A ukoliko bi se realizovao davnašnji projekt o spajanju Selters banje i obližnje, decenijama zapostavljene, Koraćičke banje (locirane dva kilometra uzvodno, ka Kosmaju) u jedinstveni i veliki banjско-rekreativni sistem, izgledi za ostvarenje prethodnih zamisli se eksponencijalno povećavaju.

Zaključak

Razvoj Mladenovca, u pogledu primene obnovljivih izvora energije može predstavljati primer, koji bi trebalo da slede i ostali bliski gradovi središnje Srbije. Pri tom je važno naglasiti da sve što je postignuto, postignuto je „na mišiće“, tj. pregnućima i dovitljivošću pojedinaca. Državne mere, ako su i postojale, nisu u tome imale nikakvog (pozitivnog) udela.

Kada vas put nanese kroz Šumadiju, predahnite na Kosmaju. Iznenadićete se utiskom da ova pitoma planina, sa svojim raznolikim šumama, manastirima (Pavlovac, Tresije i Kastaljan), neobičnom crkvom u Nemenikućama, istorijskim spomenicima, blagim padinama, uređenim stazama, čestim proplancima i vidikovcima, po lepoti prevazilazi daleko poznatiju Frušku Goru. Dva sata šetnje po Kosmaju dovoljna su da ispraznjene životne baterije ponovo postanu pune. To je možda jedna od najvažnijih primena obnovljive energije.