

TEHNIČKI I EKOLOŠKI ASPEKTI PRELASKA KOTLOVSKOG POSTROJENJA SA UGLJA NA BIOMASU

TECHNICAL AND ENVIRONMENTAL ASPECTS TRANSITION BOILER PLANT FROM COAL ON BIOMASS

Toni OSMANOSKI,
JKP „Beogradske elektrane“, t.osmanoski@beoelektrane.rs

Dragoslav VALDEVIT,
JKP „Beogradske elektrane“, d.valdevit@beoelektrane.rs

Nikola KARLIČIĆ,
Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet, nkarlicic@mas.bg.ac.rs

Cilj ovog rada je da se uporede aspekti tehničke i ekološke karakteristike rada kotlovske postrojenja kada se umesto sagorevanja uglja sagoreva biomasa, tačnije energetske brikete od drveta.

Na grejnom području Karaburma JKP „Beogradske elektrane“ postoji pet kotlovske postrojenja koje rade na čvrsto gorivo namenski konstruisanih za sagorevanje kamenog uglja, a koriste se za proizvodnju toplotne energije.

U svih pet kotlovske postrojenja došlo je do zamene goriva, uglj je zamenjen energetskim briketima od drveta, pri čemu je upoređena vrednost emisije gasova, čime se dobija ekološki benefit, upoređen je stepen korisnosti kotlovske postrojenja i analizirana je investicija prelaska postrojenja na novo gorivo.

Ključne reči: biomasa, briketi, sagorevanje, ekologija, toplotna energija, daljinsko grejanje

The aim of this study is to compare aspects of technical and environmental performance characteristics of the boiler plant when instead of burning coal burning biomass, specifically energy briquette of wood.

In the heating area Karaburma JKP „Beogradske elektrane“, there are five boiler plants operating on solid fuel designed for dedicated combustion of coal, which are used for program production of thermal energy.

In all five boiler plants, there was a replacement fuel, coal has been replaced by energy briquettes made of wood, with the value compared emissions, resulting in a ecologic benefit, compared the efficiency of the boiler plant and an analysis of the changes in plant investments on new fuel.

Key words: biomass, briquettes, combustion, ecology, heat energy, district heating

I. Uvod

Na osnovu savremenih svetskih trendova i rastom cena fosilnih goriva, sve veća pažnja se posvećuje povećanju energetske efikasnosti i ekologiji tražeći se mogućnost za primenu obnovljivih izvora energije.

U procesu proizvodnje toplotne energije potrebne za grejanje u Beogradu uzimaju se u obzir problemi koji nastaju globalnim zagrevanjem kao posledica sagorevanja fosilnih goriva. U poslednjih 30 godina u Beogradu je ugašeno više od 1000 individualnih kotlovskih postrojenja, koje su kao gorivo koristile ugalj, mazut i naftu. Korisnici toplotne energije ugašenih kotlovskih postrojenja su priključeni na daljinski sistem velikih toplana, koje kao gorivo koriste prirodni gas, što značajno poboljšava kvalitet vazduha u Beogradu. Zbog tehničke neizvodljivosti da se sva kotlovska postrojenja priključe na daljinski sistem grejanja, određeni broj postrojenja je ostao u daljem radu. Za njih je potrebno pronaći kvalitetno tehničko rešenje koje bi zadovoljilo energetske, ekonomske i ekološke aspekte.

U radu se razmatraju kotlovska postrojenja gde se ugalj koristi kao primarno gorivo. Ugalj je fosilno gorivo koje pri sagorevanju proizvodi znatnu količinu štetnih produkata. S obzirom na to da su investiciona sredstva ograničena, kao najbolje rešenje se nameće promena goriva ali tako gorivo da njegove karakteristike budu slične uglju.

Pelet i briket od drvene biomase su potencijalno dobro rešenje. U periodu 2005. do 2008. godine u Srbiji je izgrađeno više postrojenja za proizvodnju energetskog peleta i briketa od biomase, što je stvorilo i ekonomske uslove isplativosti ovakve promene.

Za naša kotlovska postrojenja izabran je energetski briket od drvene biomase, što je značilo da u realnim uslovima mogućnost direktne supstitucije uglja briketom nema tehničkih modifikacija sistema.



Slika 1. Briket od drvene biomase

Za novu vrstu goriva analizirani su tip kotlovskog postrojenja, snaga kotlovskog postrojenja, način transporta, doziranja goriva u ložište, skladišni prostor i pristupni putevi za velika transportna vozila

Za ovakvu promenu goriva u JKP „Beogradske elektrane“ zaslužan je dr Radmilo Savić, koji je od 2008. do 2012. uspešno izvršio ispitivanja za prelazak na novo gorivo. [1]

II. Kotlovska postrojenja na grejnom području Karaburma

Ugalj se u kotlovskim postrojenjima na grejnom području Karaburma koristi više od 40 godina, rukovaoci postrojenja su morali da se prilagode novom gorivu - briket od drvene biomase.

A. Kotlovsko postrojenje „Diljska 7“

Postrojenje se nalazi u ulici Diljska br. 7, postrojenje poseduje četiri toplovodna kotla koji služe za proizvodnju toplotne energije. Kao gorivo koristi se briket od drvene biomase. U sastavu postrojenja postoji skladišni prostor za gorivo površine 100 m² i prostor za skladištenje šljake. Postrojenje ne poseduje uređaj za smanjenje emisije zagađujućih materija u vazduh. U tabeli 1 su date tehničke karakteristike kotlova.

Tabela 1 Tehničke karakteristike kotlova u kotlovskom postrojenju „Diljska 7“

Proizvođač	„Radijator“ Zrenjanin
Tip	Neo Vulkan 3
Godina proizvodnje	1966
Instalisani kapacitet	4 x 230 kW

Poprečni presek dimnog kanala je pravougaonik, dimenzija 0,4m x 0,2m. Dimni gasovi koji nastaju pri radu kotlova uvode se kroz dimne kanale kotlova u zajednički dimnjak. Dimnjak je zidani visine 30 m.

B. Kotlovsko postrojenje „Mirijeovski bulevar 2“

U postrojenju „Mirijeovski bulevar 2“ se nalaze četiri parna kotla tipa „Neo Vulkan“ snage po 0,226 MW. Proizvođač ovih kotlova je „Radijator“ Zrenjanin, veoma zastupljenih po manjim kotlarnicama širom Srbije, zahtevaju specifičan način rada i nemaju velike mogućnosti regulacije.

Doziranje i punjenje kotlova čvrstim gorivom se obavlja ručno, direktno kroz otvor na gornjoj strani ložišta. Količina vazduha u ložištu se reguliše otvaranjem i zatvaranjem klapni na čeonj strani kotla. Cirkulacija vazduha je putem promaje, odnosno prirodnim putem na bazi temperaturske i visinske razlike kotla i izlaza dimnjaka. Postrojenje se nalazi unutar stambenog objekta. U tabeli 2 su date tehničke karakteristike kotlovskog postrojenja.

Tabela 2 Tehničke karakteristike kotlova u kotlovskom postrojenju „Mirijeovski bulevar 2“

Proizvođač	„Radijator“ Zrenjanin
Tip	Neo Vulkan 3 – 87.14
Godina proizvodnje	1965
Instalisani kapacitet	4 x 226 kW

C. Kotlovsko postrojenje „Maljenska 3“

Postrojenje se nalazi u ulici Maljenska br. 3, poseduje dva toplovodna kotla koji služe za proizvodnju toplotne energije. Kao gorivo se koristi briket od drvene biomase. Postrojenje ne poseduje uređaj za smanjenje emisije zagađujućih materija u vazduh. U tabeli 3 su date tehničke karakteristike kotlovskog postrojenja.

Tabela 3 Tehničke karakteristike kotlova u kotlovskom postrojenju „Maljenska 3“

Proizvođač	„Radijator“ Zrenjanin
Tip	Neo Vulkan 3
Godina proizvodnje	1981
Instalisani kapacitet	2 x 280 kW

Poprečni presek dimnog kanala je pravougaonik, dimenzija 0,2m x 0,4m. Dimni gasovi koji nastaju pri radu kotlova uvode se kroz dimne kanale kotlova u zajednički dimnjak. Dimnjak je zidani visine 40 m.

D. Kotlovsko postrojenje „Uralska 11“

Postrojenje se nalazi u ulici Uralska br. 11, poseduje dva toplovodna kotla koji služe za proizvodnju toplotne energije. Kao gorivo koristi se briket od drvene biomase. Postrojenje ne poseduje uređaj za smanjenje emisije zagađujućih materija u vazduh. U tabeli 4 su date tehničke karakteristike kotlovskog postrojenja.

Tabela 4 Tehničke karakteristike kotlova u kotlovskom postrojenju „Uralska 11“

Proizvođač	„Radijator“ Zrenjanin
Tip	Neo Vulkan 3
Godina proizvodnje	1981
Instalisani kapacitet	2 x 280 kW

Poprečni presek dimnog kanala je pravougaonik, dimenzija 0,2m x 0,4m. Dimni gasovi koji nastaju pri radu kotlova uvode se kroz dimne kanale kotlova u zajednički dimnjak. Dimnjak je zidani visine 40 m.

E. Kotlovsko postrojenje „Uralska 36“

Postrojenje se nalazi u ulici Uralska br. 36, poseduje dva toplovodna kotla koji služe za proizvodnju toplotne energije. Kao gorivo koristi se briket od drvene biomase. Postrojenje ne poseduje uređaj za smanjenje emisije zagađujućih materija u vazduh. U tabeli 5 su date tehničke karakteristike kotlovskog postrojenja.

Tabela 5 Tehničke karakteristike kotlova u kotlovskom postrojenju „Uralska 36“

Proizvođač	„Radijator“ Zrenjanin
Tip	Neo Vulkan 3
Godina proizvodnje	1981
Instalisani kapacitet	2 x 280 kW

Poprečni presek dimnog kanala je pravougaonik, dimenzija 0,2m x 0,4m. Dimni gasovi koji nastaju pri radu kotlova uvode se kroz dimne kanale kotlova u zajednički dimnjak. Dimnjak je zidani visine 40 m.

III. Tehnička analiza goriva

U tabeli 6 su dati podaci tehničke analize za uglj, a u tabelama 7-9 podaci tehničke analize za briket.

Tabela 6 Tehnička analiza za uglj

Dimenzije, mm	W, % mas	A, % mas	S, % mas	Hd, MJ/kg	Gustina, kg/m ³
kocka	16,35	14,67	1,92	17,836	950

Tabela 7 Tehnička analiza za briket od drvene biomase - strugotina

Dimenzije, mm	W, % mas	A, % mas	S, % mas	Hd, MJ/kg	Gustina, kg/m ³
Ø 80x270	6,28	1,37	0	17,561	1178

Tabela 8 Tehnička analiza za briket od drvene prašine

Dimenzije, mm	W, % mas	A, % mas	S, % mas	Hd, MJ/kg	Gustina, kg/m ³
Ø 75x100	7,56	1,24	0	16,925	880

Tabela 9 Tehnička analiza za briket od agro-biomase (slama)

Dimenzije, mm	W, % mas	A, % mas	S, % mas	Hd, MJ/kg	Gustina, kg/m ³
Ø 60x100	9,65	3,73	0	16,219	690

IV. Primena briketa

Određene su tehničke karakteristike novog goriva, formirani kriterijumi, procenjene potrebne količine za predstojeću grejnu sezonu i sproveden otvoreni postupak nabavke u skladu sa odredbama Zakona o javnim nabavka Republike Srbije. Po okončanju postupka potpisani su ugovori sa proizvođačima.

Početkom grejne sezone 2008/2009 započeo je proces korišćenja briketa od drvene biomase kao zamene za ugalj. Sastavljena su uputstva za rukovaoce kotlovskih postrojenja i obavljena je obuka. Bilo je potrebno vreme da se rukovaoci prilagode na novo gorivo i nove procedure u radu, obzirom da se decenijama pre toga radilo samo sa ugljem.

U početku su rukovaoci radili sa ugljem i sa mešavinom biomase i uglja, naročito u slučajevima hladnog starta postrojenja.



Slika 2. Rukovalac kotlovskog postrojenja Maljenska 3

Početni problemi su brzo prevaziđeni. Rukovaoci su dodavali po 10% briketa nakon toga 20% briketa. Iz dana u dan procenat je povećavan, da bi nakon mesec dana bio isključivo korišćen briket.



Slika 3. Sagorevanje briketa u ložištu kotlovskeg postrojenja [1]

Ugalj je korišćen kao osnova za upoređivanje. Briketi od drvene prašine i briketi od slame ne mogu da postignu zahtevane parametre, dok ugalj i briket od strugotine sa lakoćom postižu zahtevane parametre.

Kod briketa od drvene prašine dešava se degradacija osnovnog materijala, propadanje kroz pepeljaru i izrazito loša distribucija vazduha neophodnog za kvalitetno sagorevanje. Briketi od drvene prašine uglavnom su u zoni nepotpunog sagorevanja, što dovodi do povećane emisije CO.

Kod briketa od slame javlja se visoki plamen koji je doseže do dimnog kanala, što nije prihvatljivo. Dolazi do pojave sumpornih oksida u produktima sagorevanja, čije je poreklo iz mineralnih đubriva koja se koriste na njivama. U okviru EU se već godinama u stručnim krugovima vode polemike oko mogućnosti primene ostataka ratarske proizvodnje u procesima dobijanja energije putem sagorevanja, upravo iz razloga visoke toksičnosti materija, pa i kada se nalaze u malim količinama, čije je poreklo iz veštačkih đubriva.

Ugalj se i dalje koristi u kotlovskim postrojenjima koji služi za održavanje žara tokom noći kada kotlovi ne rade, jer briket nema takvu sposobnost.

Prve isporuke briketa su bile u džambo vrećama od 1000 kg, što je dovodilo do lomljenja briketa. Nakon toga, briket je pakovan u vrećama prosečne težine od 30 do 50 kg. Danas se briketi isporučuju u kartonski kutijama mase 20 kg, upakovane na palete, što omogućava lakši transport i maksimalno iskorišćenje ograničenih skladišnih kapaciteta.



Slika 4. Briket u kartonskim kutijama od 20 kg

Na tržištu se svake sezone pojave novi energetske proizvodi od biomase, raznovrsni po geometriji i sastavu. Postoje briketi čiji je sirovinski sastav od ostataka ratarske proizvodnje, briketi od drvene strugotine, briketi od drvene prašine i briketi od slame.

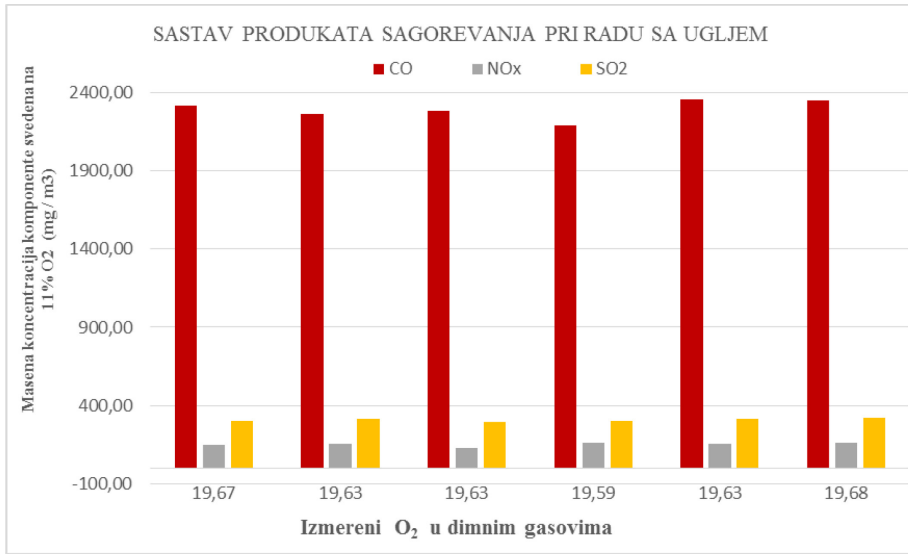
U kotlovskim postrojenjima sa ručnim loženjem postoji izrazita nestacionarnost procesa sagorevanja, jer je faktor uticaja rukovaoca na ceo proces sagorevanja veliki. Količina dodatog goriva se može razlikovati, interval između dva punjenja je različit, kao i kvalitet razgrtanja, raspoređivanja goriva po dubini ložišta. Ove pojave su izraženije kod uglja jer se delimično mogu kod briketa ustaliti, briketi su u pakovanju poznate težine, lakše je raspoređivanje po ložištu.

V. Uporedni pregled sagorevanja uglja i briketa

U tabelama 10 i 11 i slikama 5 i 6 su dati sastavi produkata sagorevanja pri radu sa ugljem, odnosno pri radu sa briketom.

Tabela 10 Sastav produkata sagorevanja pri radu sa ugljem [1]

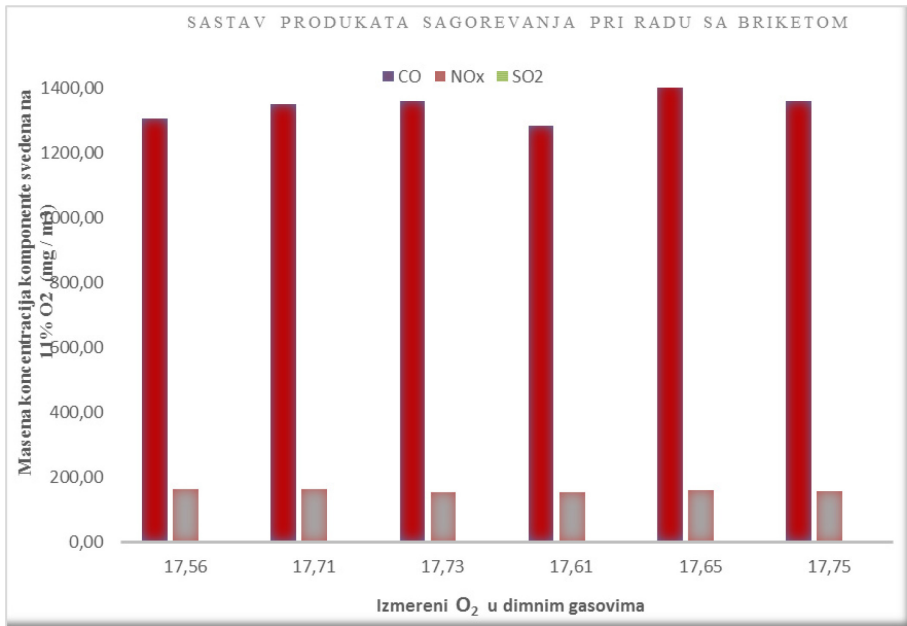
O ₂	%	19,67	19,63	19,63	19,59	19,63	19,68
CO	mg/m ³	2312,03	2262,77	2281,03	2189,72	2354,01	2348,48
NO	ppm	7	7	6	8	7	7
NO ₂	ppm	0	0	0	0	0	0
NO _x	mg/m ³	149	157	132	164	157	163
SO ₂	mg/m ³	301,05	313,14	292,96	304,26	313,14	325
λ	-	15,81	15,36	15,29	14,88	15,38	15,92
CO ₂	%	1,16	1,2	1,2	1,24	1,2	1,16
t _{dg}	°C	87	87,7	87,9	88,4	88,4	87,9



Slika 5. Sastav produkata sagorevanja pri radu sa ugljem

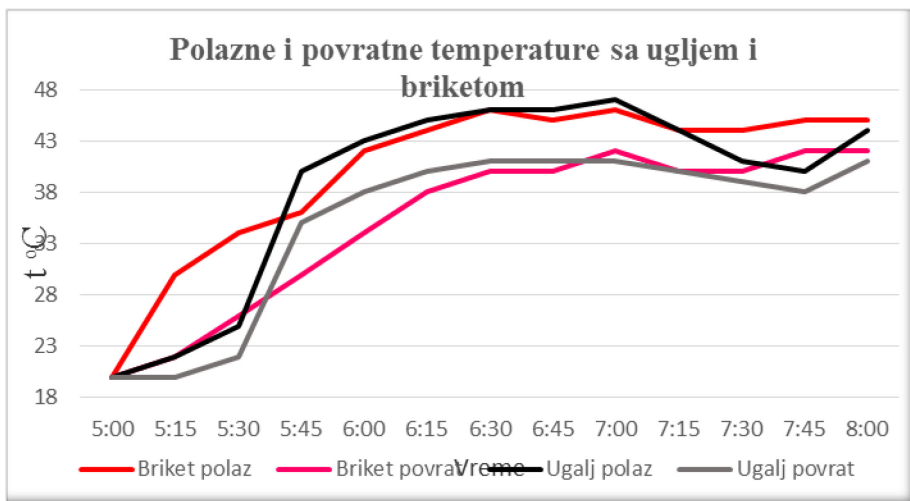
Tabela 11 Sastav produkata sagorevanja pri radu sa briketom [1]

O ₂	%	17,56	17,71	17,73	17,61	17,65	17,75
CO	mg/m ³	1308,14	1352,58	1360,86	1283,19	1417,91	1361,54
NO	ppm	34	33	31	32	30	32
NO ₂	ppm	0	0	0	0,2	0,5	0
NO _x	mg/m ³	164	163	155	154	161	159
SO ₂	mg/m ³	0	0	0	0	0	0
u _{dg}	%	47,5	48,7	48,3	46,8	49,8	48,2
λ	-	6,11	6,39	6,42	6,19	6,67	6,46
CO ₂	%	3,32	3,18	3,16	3,28	3,058	3,14
t _{dg}	°C	241,7	238,1	235,1	235,8	233,5	232,7



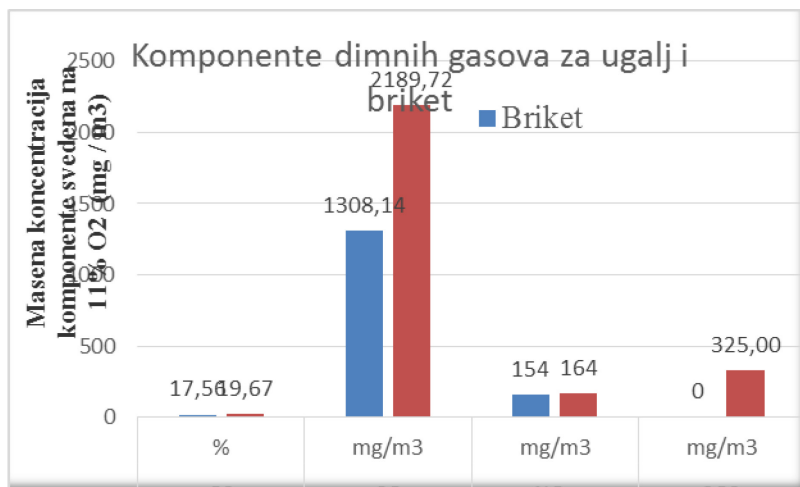
Slika 6. Sastav produkata sagorevanja pri radu sa briketom

Na slici 7. je prikazano uporedno izmerene vrednosti polaznih i povratnih temperatura grejnog sistema pri radu sa ugljem i briketom, u funkciji vremena. Uočava se da briket u početku brže oslobađa toplotu i ima manje temperaturske oscilacije.



Slika 7. Uporedni prikaz karakterističnih temperatura pri radu sa ugljem i briketom[1]

Sagorevanjem briketa potpuno je eliminisana emisija sumpornih oksida, smanjena je emisija azotovih oksida i ugljen-monoksida. Na slici 8 dat je uporedni pregled zagađujućih komponenti pri radu sa ugljem i briketom.



Slika 8. Uporedni prikaz komponenti dimnih gasova za uglj i briket svedeno na kiseonik

Uglj se može uspešno zameniti briketima od drvene biomase većeg prečnika i dužina. Pri tome se mora voditi računa o količini dodatog goriva, jer briket formira, usled većeg sadržaja volatila, visok plamen, a sam proces sagorevanja se brže odvija.

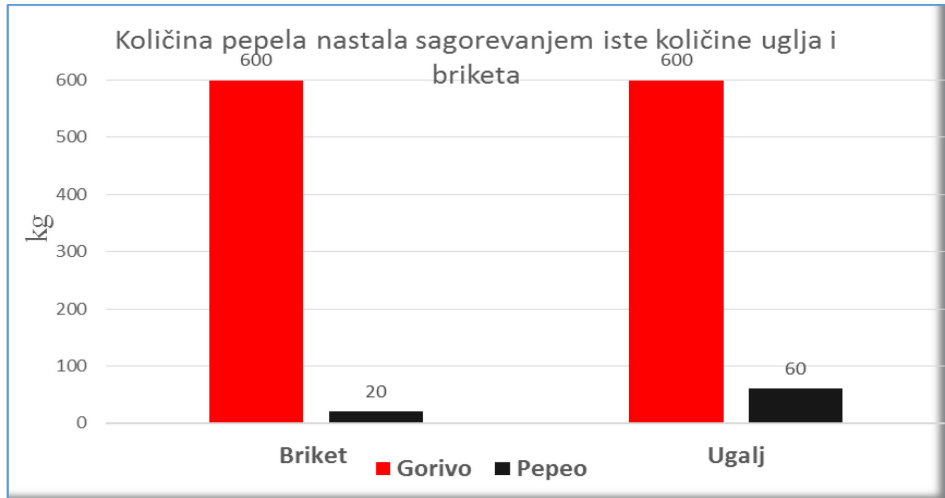
Pri sagorevanju energetskih briketa od drvene biomase formira se viši plamen u odnosu na uglj. Nakon svakog punjenja je potrebno ručno razgrtanje goriva u ložištu, kako bi se obezbedili kvalitetni uslovi za sagorevanje i jednako temperatursko opterećenje postrojenja. Temperaturski režim se postiže na vreme, i sa periodičnim dopunjavanjem jednakih količina goriva održavan sa odstupanjem od jednog stepena.

Sagorevanjem briketa količina suvog ostatka - pepela se značajno smanjuje, u odnosu na sagorevanja uglja.

Korišćenje drveta i otpadne biomase za proizvodnju briketa opravdano sa aspekta zaštite životne sredine i sa energetskog aspekta iz razloga što proizvod poseduje minimalni sadržaj štetnih materija koje nastaju njegovim sagorevanjem. Ono što je posebno značajno istaći jeste da je učešće sumpora zanemarljivo, a što nije slučaj kod sagorevanja uglja. Energetski briket je ekološki čist, i poželjno je u budućnosti izvršiti zamenu energenata koji su ekološki nepovoljni, gde god je to moguće.

Na slici 9 prikazana je količina suvog ostatka nakon sagorevanja 600 kg uglja i nakon sagorevanja iste količine briketa od drvene biomase.

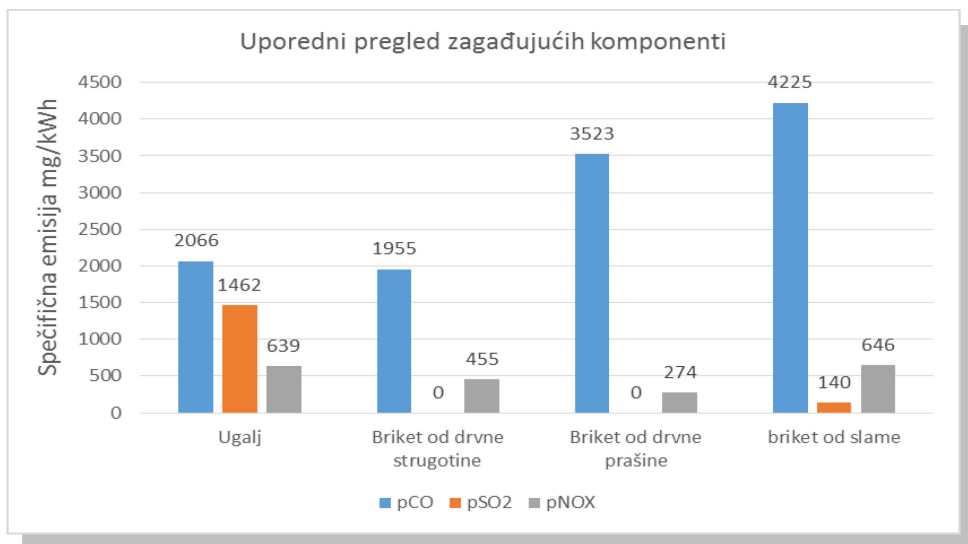
Prema uputstvu koje je dao proizvođač briketa, pepeo koji ostane posle sagorevanja briketa potpuno je ekološki i može se koristiti kao đubrivo za cveće, bašte itd.



Slika 9. Količina suvog ostatka nakon sagorevanja iste količine goriva

Tabela 12 Srednje vrednosti specifičnih emisija za 4 različita goriva [1]

Specifična emisija	Jedinica	Ugalj	Briket od drvne strugotine	Briket od drvne prašine	Briket od slame
pCO	mg/kWh	2066	1955	3523	4225
pSO ₂	mg/kWh	1462	0	0	140
pNO _x	mg/kWh	639	455	274	646
	°C	201,1	189,6	201,0	225,3



Slika 10. Srednje vrednosti specifičnih emisija za 4 različita goriva

VI. ZAKLJUČAK

U realnim uslovima dokazano je da direktna zamena uglja sa čvrstom biomasom moguća, bez rekonstrukcija i finansijskih ulaganja, uz pravilan izbor oblika prerađene otpadne drvene biomase, uz prilagođavanje osnovnih parametara - količine doziranog goriva i rasporeda vazduha u ložištu kotlovskog postrojenja.

Gorivo od biomase se može primeniti na veliki broj kotlovskih postrojenja i toplana u Srbiji koje kao gorivo koriste ugalj, ovime bi se značajno doprinelo smanjenju lokalnog zagađenja, smanjenju emisije CO₂.

U kotlovima sa manuelnim doziranjem goriva treba koristiti brikete od drvene biomase odgovarajućeg oblika i tehničkih karakteristika.

U bilo kom tipu kotla, inicijalno i naknadno paljenje čvrste biomase drvnog porekla u formi briketa je veoma lako.

Manipulacija briketom od drvene biomase, u odnosu na ugalj je laka, nema značajnijeg podizanja prašine ili zagađenja okoline.

Uslovi rada i rizik po zdravlje rukovaoca u kotlarnicama je značajno poboljšano kada rade sa čvrstim biogorivom u odnosu na ugalj.

Prema rečima rukovaoca koji rade i tim postrojenjima dugi niz godina, oni su se veoma brzo navikli na novo gorivo, koje je danas lepo spakovano u kartonske kutije što znači da je mnogo čistije od uglja, nema prašine koja im je smetala pri disanju. Novo gorivo im je u mnogo čemu olakšalo rad. „Ne bih se ovako razboleo da sam ceo život ložio briket“, ovo su reči jednog od rukovaoca u Diljskoj 7, koji radi u tom postrojenju 30 godina.

Literatura

- [1] **Savić, R.**, *Mogućnost primene peleta i briketa od biomase za proizvodnju toplotne energije u sistemima daljinskog grejanja Beograda*, doktorska teza, Beograd, Republika Srbija, 2013.
- [2] **Todorović, B.**, Zagrevanje u Beogradu od praistorije do početka ovog veka, *Klimatizacija grejanje hlađenje*, 1981, broj 2
- [3] **Vasiljević, P., Savić, R.** *Rehabilitation of District Heating in Serbia, Euroheat & Power, Enlarged Working Group Energy Policy*, Budapest, Hungary, 2008.
- [4] **Glavonjić, B., Pajović Lj.**, *Biomass Energy resource in Serbia, Regional Conference*, „Harmonization of methodologies for estimation and sustainable incorporation of biomass and other RES in municipal and national strategies for energy development“, Skoplje, Makedonija, 2010
- [5] **Brkić M., Tešić M., Furman T., Martinov M., Janić T.**, *Studija „Potencijali i mogućnosti briketiranja i peletiranja otpadne biomase na teritoriji pokrajine vojvodine“*, Novi Sad, 2007.
- [6] **Adžić, M., Jovanović, M. Gavrilović M.**, NOx Emissions from large Combustion plants of South Eastern Europe, *Energetika*, Srbija, Vrnjačka banja, 2006.