

Uporedna analiza energetskeg bilansa iskorišćenja biogasa pri primeni konvencionalnih sistema i sistema kogeneracije

Comparative analysis of the energy balance of biogas utilization when applied in conventional systems and cogeneration systems

Miroslav STANOJEVIĆ*, Dušan TODORVIĆ, Nikola KARLIČIĆ,
Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet, Beograd

Ključne reči:
biogas; digester;
energetski bilans;
kogeneracija

Biogasna postrojenja mogu biti izvedena kao mali pogoni za proizvodnju energije za sopstvene potrebe ili veliki energetske sistemi gde se proizvodjeni biogas koristi za proizvodnju toplotne i električne energije koja se predaje u javnu elektrodistributivnu mrežu. U poslednje vreme sve veću primenu imaju tehnologije kombinovane proizvodnje toplotne i električne energije, sistem kogeneracije (engl. combined heat and power, CHP) iz biogasa. U radu je prikazana uporedna analiza energetskeg bilansa iskorišćenja biogasa pri primeni konvencionalnih sistema i sistema kogeneracije za istu količinu ulazne energije. U drugom delu rada dat je primer proračuna energetskeg bilansa biogasnog postrojenja za anaerobni tretman tečnog stajnjaka sa farme svinja kapaciteta 5000 tovljenika u turnusu.

Key words:
biogas; digester;
energy balance;
cogeneration

Biogas plants can be implemented as small power generation plants for their own needs or large energy systems where the produced biogas is used for the production of heat and electricity that is transferred to the public electricity distribution network. Recently, the use of combined heat and power generation (CHP) from biogas has been increasingly used. This paper presents a comparative analysis of the energy balance of biogas utilization when applied in conventional systems and cogeneration systems for the same amount of input energy. In the second part of the paper, an example of the calculation of the energy balance of a biogas plant for anaerobic treatment of liquid manure from a pig farm with a capacity of 5000 fatling in a turn is given.

Uvod

U vremenu kada se fosilna goriva potiskuju iz upotrebe i potrebe za energijom konstantno rastu, a životnu sredinu ugrožava neadekvatno zbrinjavanje otpada, korišćenje organskih otpadnih materijala, koji nastaju pri obradi otpadnih voda i čvrstog otpada organskog porekla, sve više dobija na značaju u procesu proizvodnje energije. Težnja za smanjenjem zavisnosti od fosilnih goriva i dobijanjem energije iz drugih izvora dovela je do značajnih ulaganja u razvoj tehničkih rešenja za iskorišćenje alternativnih izvora energije.

U poslednje vreme sve više se razvija biogasna industrija gde se kao produkti anaerobne digestije dobijaju biogas koji se koristi kao energent u različitim oblastima čovekove delatnosti i prevreli supstrat (biođubrivo) za potrebe poljoprivrede.

Pored toga što je relativno jednostavan za skladištenje i što ima visoku toplotnu moć biogas je prihvatljiv kao gorivo sa aspekta emisije gasova koji izazivaju efekat staklene bašte. U zavisnosti od vrste primene potrebno je obezbediti odgovarajući kvalitet kao i pouzdano snabdevanje krajnjih korisnika biogasom.

Za tretman organskog otpada najčešće se primenjuju biološki procesi kao što su anaerobna digestija (A/D) i aerobna razgradnja (kompostiranje). Prednosti anaerobne digestije

su jednostavnije upravljanje organskim otpadom sa velikim udelom vlage, dobijanje biogasa kao energenta i kontrola emisije neprijatnih mirisa. Anaerobna digestija je višestepeni biohemijski proces koji se može primeniti na različite vrste organskih materija.

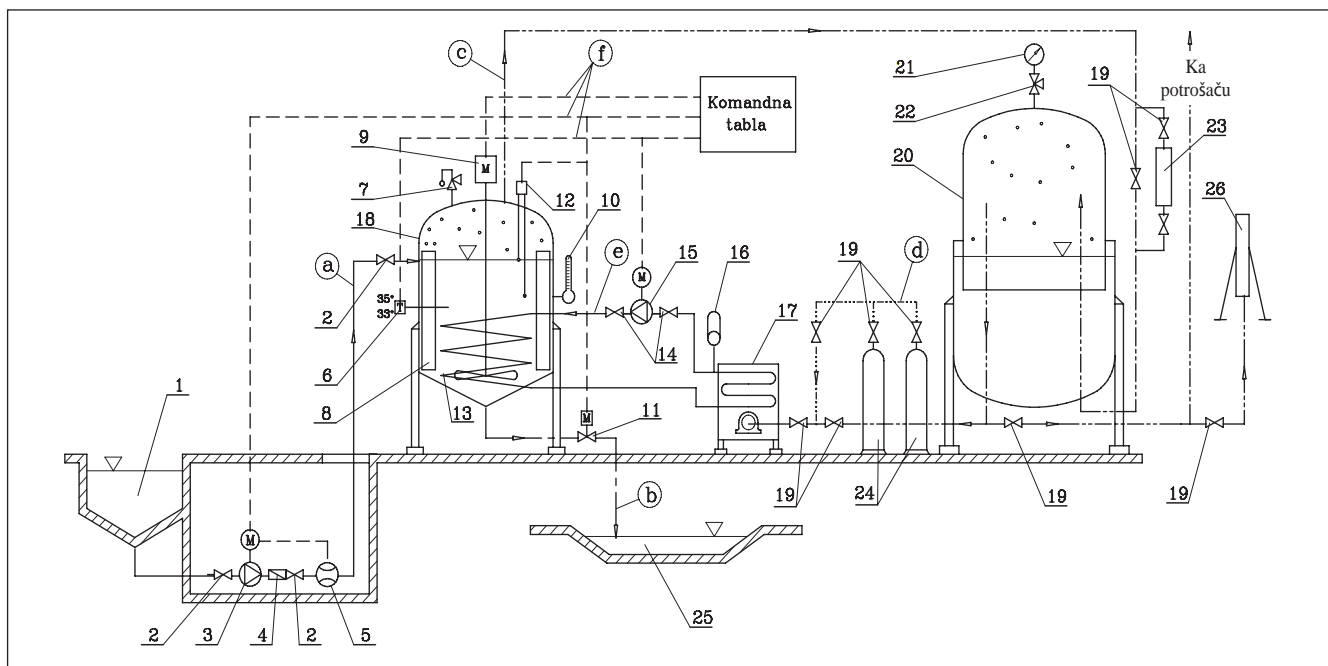
Da bi se postigla što veća efikasnost procesa anaerobne digestije potrebno je da budu ispunjeni određeni tehnološki uslovi, kao što su: kvalitet metanskih bakterija, konstantnost temperature i pritiska u toku procesa, pH vrednost, kontinualno mešanje i homogenizacija sirovine koja se obrađuje, atmosfera sredine bez kiseonika, potrebno vreme za odvijanje procesa, odnos organske suve materije i vode u digestovanoj masi i dr.

Biogas se dobija razgradnjom organskih materija u anaerobnim uslovima, pri čemu njegov sastav i svojstva zavise od vrste sirovine i tehnoloških uslova procesa. To je gorivo gas koji se sastoji od metana, ugljen-dioksida, a monijak, vodonik, azot, vodonik-sulfid, ugljen-monoksid i vodena para se nalaze u tragovima. U zavisnosti od uslova primene, vrši se prečišćavanje biogasa da bi se povećala njegova toplotna moć i dobio gas standardnog kvaliteta.

Proizvodni proces biogasnih postrojenja najčešće se odvija u sledećim fazama: priprema sirovine za obradu, anaerobna digestija, skladištenje i upotreba prevrele tečnosti (digestata), i skladištenje, prečišćavanje i korišćenje biogasa.

Reaktori (digestori) koji mogu biti sa pokretnom ili nepokretnom kupolom predstavljaju glavni deo biogasnog postrojenja i oni su obično izrađeni od betona, visokokvalitetnog čelika

* Autor za korespondenciju: miromstan@gmail.com



Slika 1. Tehnološka šema biogasnog postrojenja: a – linija svežeg stajnjaka, b – linija prevrelog stajnjaka, c – linija za biogas, d – linija za snabdevanje butan-propan gasom, e – linija vode za zagrevanje, f – komandno regulaciona linija; 1 – sabirna jama, 2 – ručni ventil, 3 – muljna pumpa, 4 – nepovratna pregrada, 5 – elektromagnetni merac protoka, 6 – kontaktni termometar, 7 – ventil sigurnosti, 8 – razbijač mlaza, 9 – turbinska mešalica, 10 – termometar, 11 – elektromotorni ventil, 12 – merac nivoa, 13 – cevna zmija, 14 – ručni ventil, 15 – cirkulaciona pumpa, 16 – ekspanziona posuda, 17 – gasni kotao, 18 – digestor, 19 – ventil, 20 – rezervoar za biogas, 21 – manometar, 22 – trokraka slavina, 23 – merac protoka gasa, 24 – butan-propan boce, 25 – laguna, 26 – gasna baklja [1]

ili različitih vrsta plastičnih materijala otpornih na dejstvo hemijskih jedinjenja, koroziju i udare. Kontinuirano se razvijaju nova konstrukciona rešenja digestora, sistemi za punjenje digestora sirovinom i ostala prateća oprema u cilju povećanja efikasnosti procesa anaerobne digestije.

Danas energija dobijena korišćenjem biogasa ima određen udeo u energetskom bilansu većine zemalja i u narednom periodu će rasti naročito u oblastima gde se pojavljuju otpadni materijali organskog porekla.

Energija dobijena iz biogasa

Intenzivan razvoj biogasne tehnologije započinje šezdesetih godina prošlog veka. U zemljama u razvoju, gde nisu bili razvijeni sistemi prenosa energije, građena su biogasna postrojenja radi zadovoljenja energetskih potreba sa malim ulaganjima. Povećano interesovanje za biogasnu tehnologiju u razvijenim zemljama javilo se sa početkom energetske krize sedamdesetih godina. Interesovanje se povećalo zbog globalnih napora usmerenih na zamenu fosilnih goriva obnovljivim izvorima, kao i pronalaženju ekološki prihvatljivog rešenja za obradu životinjskih ekskremenata i ostalog organskog otpada. U tabeli 1 prikazan je sastav biogasa koji se uobičajeno postiže.

Uopšteno govoreći, biogas se sastoji iz gorivih i negorivih komponenti. Od gorivih je najznačajniji metan, a od negorivih gasnih komponenti najizraženije je prisustvo ugljen-dioksida. Gustina biogasa je oko $1,2 \text{ kg/m}^3$ odnosno oko 10% niža u odnosu na vazduh. Temperatura paljenja mu je u rasponu od $650 \text{ }^\circ\text{C}$ do $700 \text{ }^\circ\text{C}$. To je gas bez boje i jakog mirisa. Kada sagoreva, gori čisto plavim plamenom, slično prirodnom gasu. Vrednost toplotne moći biogasa se kreće u rasponu $20\text{--}30 \text{ MJ/m}^3$.

Na kvalitet biogasa se može uticati njegovom doradom posle izlaska iz digestora, popravkom njegovih gorivih svojstava koja se sprovodi radi smanjenja udela negorivih sastojaka

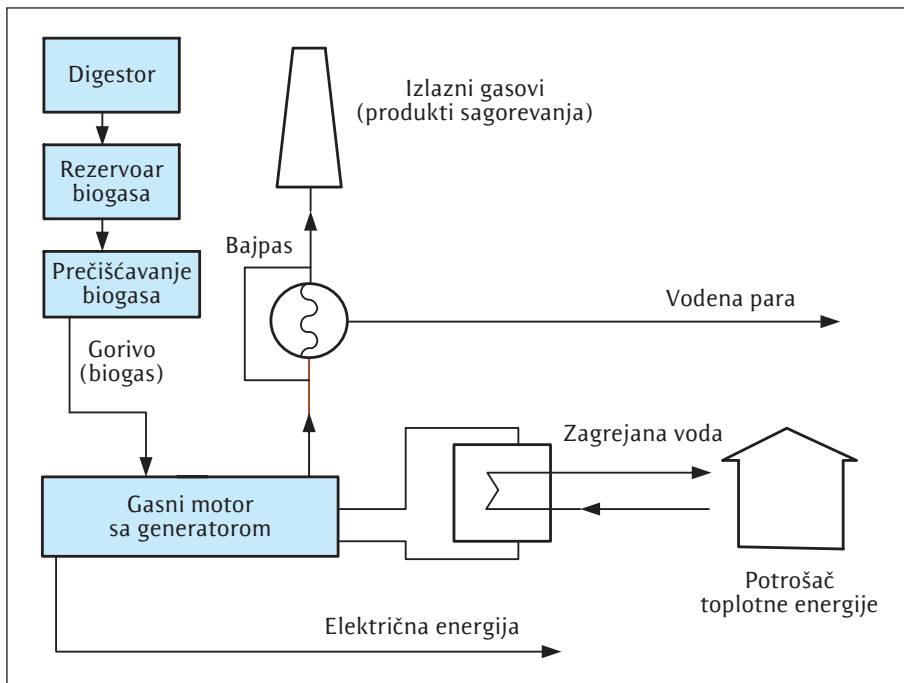
i eliminacije štetnih gorivih sastojaka. Prisustvo inertnih gasova (ugljen-dioksid, azot) smanjuje toplotnu moć biogasa; vodena para, odnosno vlaga, vodonik-sulfid i amonijak, takođe, nisu poželjni u sastavu biogasa za konačnu upotrebu, pa ih treba ukloniti. To se najčešće čini primenom keramičkih i šljunčanih filtera i regenerativnih odvajča vodonik-sulfida sa ispunom na bazi gvožđe-oksida.

Tabela 1. Sastav biogasa [1]

Gorivi sastojci biogasa		
Naziv gasa	Oznaka	Zapreminski udeo [%]
Metan	CH_4	55÷75
Vodonik	H_2	0÷1
Vodonik-sulfid	H_2S	0÷1
Negorivi sastojci biogasa		
Naziv gasa	Oznaka	Zapreminski udeo [%]
Ugljen-dioksid	CO_2	25÷45
Azot	N_2	0÷2
Kiseonik	O_2	0÷0,5
Vodena para	H_2O	0÷2
Amonijak	NH_3	0÷2

Biogas koji se dobija u digestorskim postrojenjima većih kapaciteta danas se sve više koristi za proizvodnju toplotne i električne energije. Na slici 1 prikazana je tehnološka šema manjeg biogasnog postrojenja koje koristi otpad sa farme svinja.

Pri korišćenju biogasa u sistemu kogeneracije utvrđivanje proizvodnje električne energije se vrši tako da se ukupno dobijena energija pomnoži sa efikasnošću sistema (efikasnost sistema za dobijanje električne energije se kreće u intervalu od 30–42% u zavisnosti od tipa sistema, preporuka je da se usvaja za proračun oko 35%). Utvrđivanje proizvodnje toplotne energije se vrši tako da se ukupno dobijena energija



Slika 2. Šematski prikaz biogasnog kogenerativnog postrojenja

Energetski bilans digestorskog postrojenja

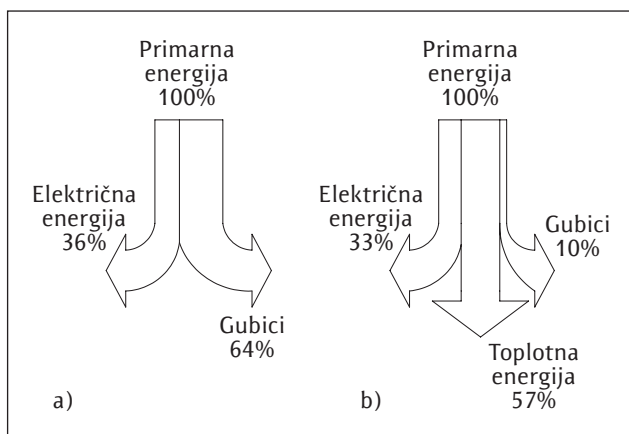
Za rad digestorskog postrojenja potrebno je obezbediti određenu količinu toplotne i električne energije. Toplotna energija se koristi za održavanje potrebne temperature procesa u digestoru, a električna za transport, mešanje i homogenizaciju supstrata. Na slici 5 prikazan je ukupan energetski bilans za konvencionalni tip digestora sa kontinualnim mešanjem i vremenom zadržavanja supstrata od 20 dana.

Energetski bilans na slici 5 je dat za digestor koji kao supstrat koristi tečni stajnjak domaćih životinja. Potrošnja energije za potrebe procesa data je u odnosu na ukupnu proizvodnju energije iz biogasa dobijenog anaerobnom digestijom pri odgovarajućim procesnim uslovima. U digestorskom postrojenju najveća količina energije se troši za zagrevanje svežeg supstrata na radnu temperaturu i održavanje potrebne

pomnoži sa efikasnošću sistema (efikasnost sistema za dobijanje toplotne energije se kreće u intervalu 40–60% u zavisnosti od tipa motora, preporuka je da se usvaja za proračun oko 50%).

Kod klasičnih sistema konvertovanje energije iz biogasa u električnu energiju se ostvaruje sa približno 36%, a 64% energije se gubi najčešće u vidu toplotne energije. Kod sistema kogeneracije (slika 2) toplotna energija se dodatno koristi, pa kod njih ukupni gubici iznose oko 10%.

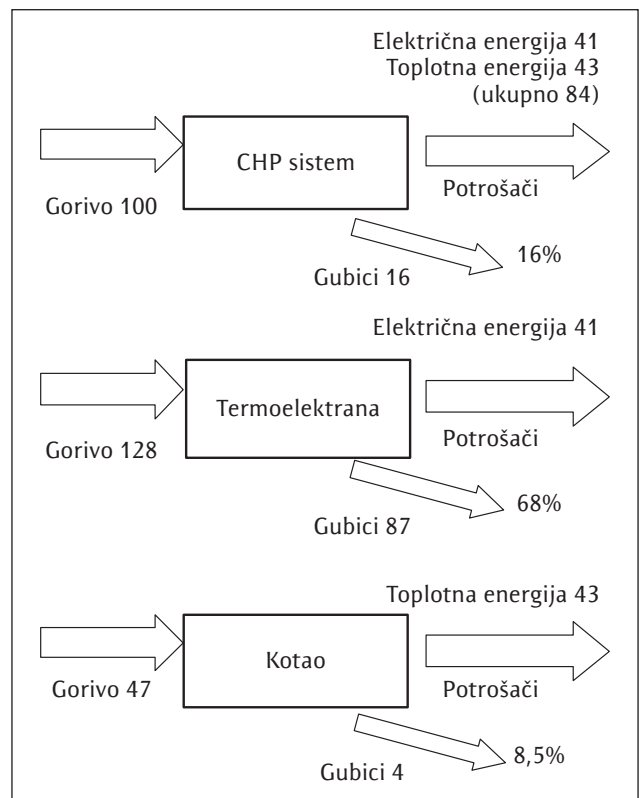
Na slici 3 je prikazana uporedna analiza energetskog bilansa iskorišćenja biogasa u klasičnim sistemima i sistemima kogeneracije za istu količinu ulazne energije.



Slika 3. Senkijevi dijagrami za sisteme termičke konverzije biogasa; a) klasični sistem, b) sistem kogeneracije

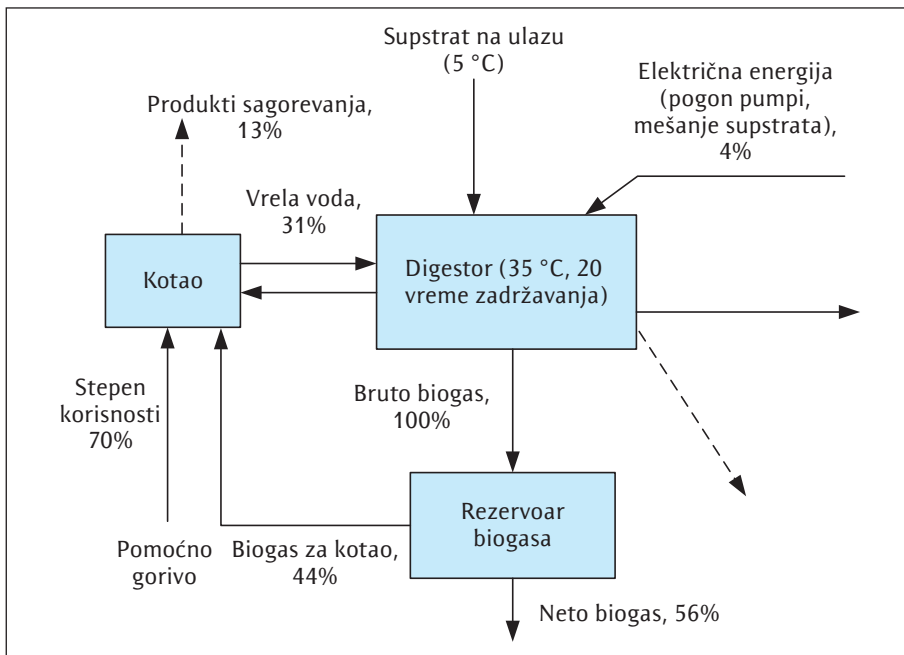
U cilju dalje analize opravdanosti primene kogenerativnih postrojenja, na slici 4 je uporedni prikaz odnosa unete i korisne energije u slučaju proizvodnje isključivo toplotne ili električne energije i jednog kogenerativnog postrojenja.

Veća je energetske efikasnosti snabdevanja energijom iz CHP sistema. Za jednake potrebe konzuma utroši se značajno manje goriva (100:175).



Slika 4. Uporedni prikaz odnosa unete i korisne energije za različita termoelektrična postrojenja [2]

temperature za vreme procesa. Od ukupne energije sadržane u biogasu 44% se koristi za potrebe rada digestora, dok se 56% može iskoristiti za druge svrhe (sopstvena potrošnja, isporuka u distributivnu mrežu i dr). Za mešanje i transport supstrata troši se električna energija što predstavlja ukupno oko 4%. Gubici usled prolaza toplote kroz zidove digestora iznose oko 3%. Potrošnja biogasa za zagrevanje digestora



Slika 5. Energetski bilans tipičnog digestorskog postrojenja

omotača; vrsta i debljina izolacije; potrebna količina toplote za zagrevanje supstrata i toplotni gubici kroz plašt digestora.

Ukupan zapreminski protok tečnog stajnjaka iznosi 21 m³/dan, masa OSM koja se unosi u digestor je 32,86 kg/(SJ·dan), a proizvodnja biogasa 765 m³/dan.

Dobijena potrebna zapremina digestora je 400 m³, odnosno unutrašnji prečnik 6,12 m i visina 13,46 m.

Količina toplote za zagrevanje tečnog stajnjaka (supstrata):

$$\dot{Q}_z = \dot{m}_{ts} c (t_d - t_a) = 25,25 \text{ kW}$$

Toplotni gubici kroz omotač digestora:

$$\dot{Q}_g = (A_d k_d + A_p k_p)(t_d - t_o) = 4,65 \text{ kW}$$

Ukupna potrebna količina toplote za digestor:

$$\dot{Q}_d = \dot{Q}_z + \dot{Q}_g = 25,25 + 4,65 = 29,9 \text{ kW}$$

zavisu od temperature okoline i u toku zime je veća u odnosu na letnji period.

Udeo energije potrebne za transport, mešanje i homogenizaciju supstrata u ukupnoj potrošnji energije digestorskog postrojenja je mali, ali se mora uzeti u obzir pri određivanju ukupnog energetskog bilansa.

Pri određivanju energetskog bilansa, u radu je razmatran slučaj postrojenja za anaerobni tretman tečnog stajnjaka sa korišćenjem biogasa u CHP postrojenju, za farmu svinja kapaciteta 5000 tovljenika u turnusu, odnosno 600 stočnih jedinica (SJ). Tečni stajnjak se sastoji od ekskremenata i sanitarne vode. Svinjski ekskrementi se sastoje od fekalija i urina. U tečnom stajnjaku se u malim količinama nalaze ostaci hrane, slame i neorganske primese. Sanitarne otpadne vode obuhvataju vode iz depoa za stoku i vodu od pranja stajskog prostora. Razmatrani digestor je nadzemni od čeličnog lima. Konstrukcija digestora je vertikalna, a poprečni presek kružni.

Kao jedinica mere uobičajeno se koristi, već pomenuta SJ u odnosu na koju se vrši prikaz svih značajnih podataka i rezultata vezanih za proces. Vrednost SJ se određuje pomoću ukupnog broja tovljenika i faktora brojnosti, koji predstavlja odnos prosečne mase životinje i mase koja odgovara jednoj stočnoj jedinici. Ona označava meru priliva stajnjaka i predstavlja životinju ili životinje ukupne mase $m_{sj} = 500 \text{ kg}$.

Polazni podaci obuhvataju sledeće veličine: dnevni priliv tečnog stajnjaka pri masenom udelu organske suve materije u tečnom stajnjaku 8% je 35,75 kg/(dan·SJ); gustina tečnog stajnjaka je $\rho_{ts} = 1025 \text{ kg/m}^3$; prosečno hidrauličko vreme zadržavanja (HRT)_{pr} = 15 dana; prosečan prinos biogasa $V_{bg} = 0,446 \text{ m}^3/\text{kg OSM}$ (pri ostvarenom stepenu razgradnje organske suve materije od 55%); temperatura odvijanja procesa u digestoru $t_1 = 37 \text{ °C}$ (mezofilni proces); temperatura okoline u zimskom periodu (projektna temperatura) $t_{3zim} = -20 \text{ °C}$ i prosečna ambijentalna temperatura $t_a = 11,7 \text{ °C}$.

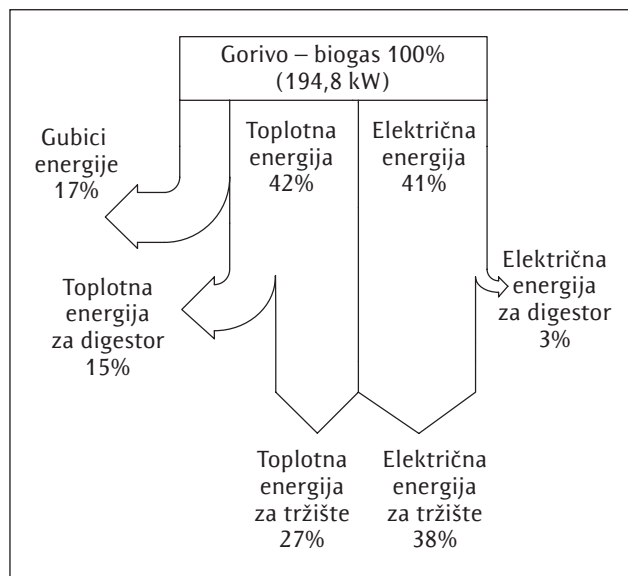
Pri definisanju energetskog bilansa prethodno se određuje sledeće: dnevni maseni priliv organske suve materije i tečnog stajnjaka; dnevna produkcija biogasa; zapreminu digestora sa fiksnom kupolom koji ima zaseban rezervoar za smeštaj biogasa; prečnik i visina digestora; debljina zida cilindričnog

Prema toplotnoj moći biogasa $H_d = 22000 \text{ kJ/m}^3$ (za sadržaj $\text{CH}_4 = 61\%$) količina toplote sadržana u biogasu iznosi:

$$\dot{Q} = \dot{V}_{bg} H_d = 194,79 \text{ kW}$$

Definisano CHP postrojenje je sledećih karakteristika: toplotna snaga $P_t = 82 \text{ kW}$, električna snaga $P_e = 80 \text{ kW}$ i energetski stepen korisnosti $\eta_{\text{CHP}} = 83\%$.

Senkijev dijagram za razmatrano postrojenje prikazan je na slici 6.



Slika 6. Senkijev dijagram spregnutog CHP i biogasnog postrojenja

Zaključak

Sve veća primena biogasa za kombinovanu proizvodnju toplotne i električne energije (sistem kogeneracije, CHP) dovela je do uvođenja sistema kogestije u biogasnim postrojenjima u kojima se pored osnovnih sirovina (otpadnih voda iz poljoprivrede – tečnog stajnjaka, otpadnih voda iz gradova i industrije) koriste i dodatne sirovine (energetski

usevi, silaža kukuruza i dr.) da bi se povećala i obezbedila stabilnost produkcije biogasa.

Razvoj koncepta centralizovanih postrojenja za obradu sirovina sa više lokacija u okruženju obezbedio je povećanje kapaciteta proizvodnje biogasa, uvođenje sistema prečišćavanja, i efikasnije iskorišćenje energije biogasa odnosno primene CHP postrojenja.

U radu je na određenom primeru, za otpadne vode sa farme svinja i njihovu anaerobnu biološku obradu u digstorskom postrojenju, prikazan energetski bilans za korišćenje proizvedenog biogasa u CHP postrojenju.

Literatura

- [1] **Stanojević, M., S. Simić, A. Jovović, D. Radić, M. Obradović, D. Todorović,** Biogas: dobijanje i primena, Biogas: production and application, Univerzitet u Beogradu Mašinski fakultet, Beograd, 2014.
- [2] **Jankes, G., M. Kostić, M. Saleta, N. Petković, M. Radosavljević,** Kogeneracija u industriji korišćenjem gasnih motora, The use of gas reciprocating engines in industrial cogeneration, Procesna tehnika, v. 29, n. 1, p. 40-45, ISSN 2217-2319., juli 2017.
- [3] **Deublein, D., A. Steinhäuser,** Biogas from Waste and Renewable Resources, WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim 2008.
- [4] **Gerardi, M.,** The Microbiology of Anaerobic Digesters, John Wiley & Sons, Inc. 2003.
- [5] **Mitchell, D., N. Krieger, M. Berovic,** Solid-State Fermentation Bioreactors, Fundamentals of Design and Operation, Springer-Verlag 2006.
- [6] **Werner, U., U. Stohr, N. Hees,** Biogas Plants in Animal Husbandry, Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH, Eschborn 1989.

kgh

sokoing.rs

KOMPLETNA REŠENJA

INŽINJERING
Projekovanje i izvođenje radova bazirano na najsavremenijim svetskim iskustvima i sopstvenom istraživačkom razvoju.

PROIZVODNJA
Savremena oprema, obučeni kadrovi i dobra organizacija proizvodnje, procesa garantuju vrhunski kvalitet i poštovanje rokova.

ISPORUKA I MONTAŽA
Širok asortiman ugrađujemo naše klima uređaje stvarajući udobno okruženje za boravak ljudi u objektima, bez obzira na spoljne uslove.

SERVIS
Pouzdana, kvalitetna i izuzetno efikasna servisna služba raspoloživa u bilo koje vreme svih 365 dana u godini.

Direkcija, Bul. Arsenija Černojevića 125,
11070 Novi Beograd, Srbija
Tel: +381 11 635 19 20
Email: office@sokoing.rs

Proizvodnja, Druga industrijska 1/1/1,
22314 Krnješevci, Srbija
Tel: +381 22 215 07 19
Email: proizvodnja@sokoing.rs



mabosol
Split AC

Sredstvo za odmašćivanje i čišćenje klima uređaja

Opšte karakteristike

Koncentrisani proizvod za odmašćivanje i čišćenje klima uređaja, koji eliminiše prljavštinu koja se formira u postrojenjima za klimatizaciju.



Odstranjuje masne supstance, naslage praha i strane supstance koje se formiraju na sistemima filtracije, distribucije i recirkulacije u postrojenjima za klimatizaciju. Onemogućuje širenje bakterije legionele, jer eliminiše njen supstrakt rasta. Odličan odmašćivač kod raznih drugih korišćenja za čišćenje.

Opseg primene

Indikovano za čišćenje filtera, baterija za razmenu toplote, kondenzatora, posuda za skupljanje kondenzata, isparivača, ventilatora, školjki, kanala, otvora za ventilaciju, spoljnih jedinica, rashladnih grupa, jedinica za obradu vazduha i svega drugog što se odnosi na distribuciju vazduha.

- ✓ za sve delove klima uređaja: kondenzatore, isparivače, filtere i baterije

KONTAKTIRAJTE NAS VEĆ DANAS!

office@mabolab.rs
+381-16-231-151