Dr Vanja Šušteršič,
Fakultet inženjerskih nauka, Kragujevac
Milan Plavšić,
student doktorskih studija, Fakultet inženjerskih nauka, Kragujevac
dr Milun Babić,
Fakultet inženjerskih nauka, Kragujevac
dr Dušan Gordić,
Fakultet inženjerskih nauka, Kragujevac

UDC: 628.85.004

Kogeneracija u sistemu za tretman otpadnih voda

COGENERATION SYSTEM IN THE WASTEWATER TREATMENT PLANT

REZIME

Danas svi gradovi, bez obzira na veličinu i stepen razvijenosti države, dele iste probleme i zabrinutost za kvalitet svoje životne sredine. Ova okolnost je značajna jer interesovanje za stanje životne sredine uglavnom započinje u urbanim sredinama u kojima promene ekoloških uslova imaju direktni uticaj na zdravlje ljudi. Kanalisanje naselja i prečišćavanje upotrebljenih voda se može smatrati jednim od važnijih urbanih problema i direktno zavisi od brojnosti populacije, društvenih odnosa i razvijenosti zemlje i regije.

Obzirom da je potrošnja energije svakim danom u porastu javlja se potreba za novim izvorima za proizvodnju električne i toplotne energije, kako u sektoru industrije tako i u opštoj potrošnji. Osnovna prednost kogeneracije je povećana iskoristivost energenata u odnosu na konvekcionalne elektrane koje služe samo za proizvodnju električne energije, kao i u odnosu na toplane koje služe samo za proizvodnju toplotne energije u tehnološke svrhe ili za proizvodnju tople vode.

U ovom radu izvršena je analiza mogućnosti korišćenja kogenerativnog postrojenja u centralnom postrojenju za tretman otpadnih voda grada Kragujevca. Urađen je proračun kompletnog postrojenja i digestora koji su neophodni za dobijanje biogasa i na osnovu dobijenih parametara urađen je 3D model celokupnog postrojenja.

Ključne reči: *kogeneracija, tretman otpadnih voda*

ABSTRACT

Today, all cities, regardless of their size and the level of country development, share the same problems and concerns about the quality of their environment. This fact is significant because the interest for the state of the environment generally starts in urban areas where changes in ecological conditions have a direct impact on human health. Channelling settlements and used water treatment may be considered as one of the most important urban problems and is directly related to population abundance, community relations and development of country and the region.

Since the energy consumption increases every day, there is a need for new sources of electricity and heat, not only in the industrial sector but also in general consumption. The main advantage of cogeneration is the increased energy efficiency compared to conventional power plants whose only purpose is to produce electricity, as well as to plants that are only used for production of thermal energy for technological purposes or for production of hot water.

This paper analyzes the possibilities of using a cogeneration system in the central system for wastewater treatment in Kragujevac. Calculation of the whole plant and digesters that are necessary for obtaining biogas was made, as well as the 3D model of the entire plant after obtaining the parameters.

Keywords: *cogeneration, wastewater treatment*

1. UVOD

Ubrzanim rastom broja stanovnika i razvojem industrije, neslućenom brzinom su počele da rastu potrebe za vodom. Danas je voda za piće sve nekvalitetnija, a postojeća izvorišta se iscrpljuju ili su izložena stalnom zagađivanju. Ako se nastavi sa ovakim bezobzirnim odnosom prema vodama, a naročito otpadnim vodama koje se ispuštaju u vodotoke, možemo doći do situacije da ćemo da zagadimo sve vodotoke i na taj način ugrozimo floru i faunu vodotoka.

Industrijski objekti locirani u urbanim zonama ispuštaju otpadne vode uglavnom u gradske kanalizacione sisteme, najčešće bez predtretmana. Veći industrijski objekti koji su smešteni izvan naselja, obično na obalama reka ili u njihovoj neposrednoj blizini, takođe svoje otpadne vode direktno izlivaju u vodotoke bez prethodnog prečišćavanja.

Upoređujući našu situaciju nalazimo se pri dnu lestvice evropskih zemalja u pogledu komunalne opremljenosti. U većini evropskih gradova više od 95% stanovnika je povezano na kanalizacioni sistem, dok Beograd zaostaje sa svega 85% priključenih stanovnika. Situacija je još nepovoljnija na nivou zemlje, tako da je u Vojvodini priključeno 45%, a u centralnoj Srbiji, bez Beograda, svega 37% od ukupnog broja stanovnika. Ovo su pokazatelji da u urbanim sredinama nastaju mnogobrojni ekološki problemi izazvani neadekvatnim prikupljanjem, evakuacijom i prečišćavanjem otpadnih voda. Što se tiče postrojenja za prečišćavanje gradskih otpadnih voda, u Srbiji su izgrađena u 37 mesta, sa ukupnim kapacitetom od 1 000 000 ES (ekvivalentnih stanovnika). Efekat rada ovih preduzeća je izuzetno loš i u proseku je ispod 50%. U tim postrojenjima se prečišćava svega 7,6% ukupnog organskog zagađenja. [1]

2. KOGENERACIJA I KORIŠĆENJE BIOGASA PRI TRETMANU OTPADNIH VODA

Kogeneracija (CHP) predstavlja proces kombinovane proizvodnje električne i toplotne energije iz jednog energetskog izvora, a u ovom slučaju biogasa. U kogeneracijskom postrojenju energija biogasa se pretvara u mehaničku i toplotnu energiju. Mehanička energija koristi se za proizvodnju električne energije, dok se toplotna energija koristi za proizvodnju pare ili zagrevanje vode. Osnovna prednost ovakvog postrojenja je veća iskoristivost energenta u odnosu na standardne elektrane koje služe samo za proizvodnju struje, i industrijska postrojenja koja služe samo za proizvodnju pare ili vruće vode za tehničke procese.

Prednost kogeneracijskog postrojenja je u tome što se u budućnosti može ostvariti nezavisno zadovoljenje svih energetskih potreba. Ukupan stepen efikasnosti ovih postrojenja u nekim slučajevima može da iznosi i preko 90%, pa se može zaključiti da u odnosu na tradicionalne metode, kogeneracija predstavlja najefikasniji oblik dobijanja energije, kako sa ekonomske tako i sa ekološke tačke gledišta. Kogeneracijskom proizvodnjom smanjuju se štetni uticaji na okolinu, a posebno se smanjuje emisija CO2, SO2 i NOx.

Najznačajnije prednosti kogeneracijske proizvodnje u odnosu na odvojenu proizvodnju električne energije u elektranama i toplotne energije u toplanama ogleda se kroz:

- znatne uštede primarne energije odakle proizlaze i manji troškovi,
- veću pouzdanost u snabdevanju električnom energijom,
- smanjenju štetnog uticaja na okolinu, jer iz visoke energetske efikasnosti i manje potrošnje energenata proizlazi manja emisija štetnih gasova i manja količina otpadne toplote,
- relativno su mala ulaganja u odnosu na dobitke,
- isplativost ulaganja je za nekoliko godina,
- jednostavan put dobijanja raznih dozvola. [2]

Biogas nastaje fermentacijom organskih supstanci pri anaerobnim uslovima. Biogas dobijen iz anaerobne digestije biološkog otpada predstavlja obnovljivi izvor energije. Koristi se za dobijanje toplotne, mehaničke i električne energije i predstavlja značajan potencijal u ostvarivanju energetskih, ekoloških i ekonomskih koristi.

Proizvodnja biogasa se može proceniti na bazi sledećih praktičnih i iskustvenih podataka:

- na uređajima za prečišćavanje komunalnih otpadnih voda prosečna proizvodnja biogasa je 25 l/ES/dan,
- kod industrijskih otpadnih voda (šećerane, prerada melase, prerada krompira, proizvodnja voćnih sokova, mlekare, pivare, papir i celuloza) prosečna proizvodnja metana je 0,20 - 0,40 m^3/kg HPK sa udelom metana u biogasu od 60 - 80%.

3. OPIS POSTROJENJA ZA TRETMAN OTPADNIH VODA I DOBIJANJE BIOGASA

Samo nekoliko većih gradova imaju postrojenja u kojima se tretira mulj koji obezbeđuje dobijanje biogasa i koja imaju mogućnost za primenu kogeneracije. Samo u šumadijskom okrugu se dnevno proizvede 2000 m^3 gasa što je značajan potencijal za primenu kogeneracije. U radu je analiziran grad Kragujevac sa apekta mogućnosti uvođenja kogeneracije jer poseduje Centralno postrojenje za tretman otpadnih voda.

Centralno postrojenje za preradu otpadnih voda (CPPOV) za grad Kragujevac - Cvetojevac projektovano je za prečišćavanje mešanih komunalnih i pred-tretiranih industrijskih otpadnih voda. Ovo postrojenje locirano je desetak kilometara od grada Kragujevac, na levoj obali korita reke Lepenice. Postrojenje je projektovano za 250 000 ekvivalentnih stanovnika, a instalirani kapacitet je 125 000 ES. Kako dotok otpadne vode na postrojenju za prečišćavanje varira kako po količini tako i po sastavu, za dimenzionisanje postrojenja primenjene su prosečne vrednosti opterećenja. Za specifičnu potrošnju vode uzeta je vrednost od qsp=250 l/st×dan. Srednji protok otpadne vode u toku dana je Qsr = 4,166·104 m^3/dan.

Anaerobna digestija mulja je višestepeni biohemijski proces koji se odvija u tri stupnja. U prvom stupnju, čvrsti ogranski kompleksi, celuloza, proteini i masti razlažu se na isparljive organske kiseline, alkohole, CO2 i amonijak. U drugom stupnju, proizvodi iz prvog stupnja se prevode u acetatske kiseline, proteinske kiseline, vodonik, CO2 i ostale nisko molekulske organske kiseline. U trećem stupnju deluju dve grupe metanskih bakterija. Jedna grupa pretvara vodonik i CO2 u metan. Druga grupa pretvara acetate u metan i bikarbonate. Obe grupe bakterija su anaerobne, pa je to jedan od razloga što se koriste zatvoreni digestori u stabilizaciji mulja. [3]

Kao rezultat anaerobne digestije u ovom postrojenju nastaje biogas, koji predstavlja značajan izvor energije. Biogas predstavlja smešu gasova i sastoji se (u zapreminskim %) od 50-65% metana (CH4), 30-45%

ugljen-dioksida (CO2) i male količine azota, vodonika, vodonik-sulfida (H2S) i kiseonika. Specifična težina biogasa je 0,86 u odnosu na vazduh [4]. Jedan deo proizvedenog biogasa koristi se za održavanje optimalne temperature mulja u digestorima, a ostatak se koristi za pogon gasnih motora u cilju proizvodnje električne energije.

Produkcija gasa varira u zavisnosti od sadržaja isparljivih materija, sadržaja mulja i biološke aktivnosti u digestoru i kreće se u opsegu 17-28 l/s.

Ukupna količina biogasa se računa na sledeći način:

$$25\frac{\mathrm{l}}{\mathrm{ESdan}}\cdot 125000 = 3125000\frac{\mathrm{l}}{\mathrm{dan}} = 3125\frac{\mathrm{m}^3}{\mathrm{dan}}$$

Usvojeno je da je sadržaj metana (CH4) 65 %:

$$3125000\frac{\mathrm{l}}{\mathrm{dan}}\cdot 0{,}65 = 2031250\frac{\mathrm{l}}{\mathrm{dan}} = 2031{,}25\frac{\mathrm{m}^3}{\mathrm{dan}}$$

Analize toplotne moći biogasa se donekle razlikuju od autora do autora, ali se uglavnom kreću oko 20 MJ/m^3. Radi poređenja u tabeli 1. su navedene toplotne moći biogasa i nekih drugih vrsta gasova koji su najčešće u upotrebi.

Vrsta gasa	Donja toplotna moć		
	kJ/m^3	kcal/m^3	kWh/m^3
Biogas	22000	5200	6,1
Čisti metan	35880	8571	9,9
Prirodni gas	38500	9200	10,7

Tabela 1 Donje toplotne moći nekih vrsta gasovitih goriva i biogasa

Toplotna moć biogasa može se povećati ukoliko se odstrani CO2. Takođe, može biti korisno odstraniti vlagu iz biogasa, tj. osušiti ga. Sušenjem biogasa vodonik-sulfid (H2S) koji se u njemu nalazi prestaje da bude korozivan, ali zadržava i dalje svoj karakterističan upozoravajući miris.

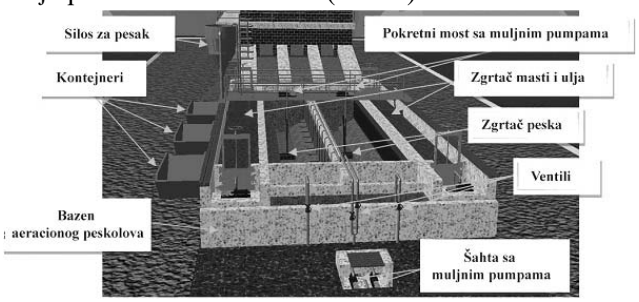
Koristeći iz tabele 1. podatak za toplotnu moć biogasa može se izračunati energetska vrednost gasa:

$$2031250\frac{\mathrm{l}}{\mathrm{dan}}\cdot 22\frac{\mathrm{kJ}}{\mathrm{l}} = 44687500\frac{\mathrm{kJ}}{\mathrm{dan}}$$

Operacije koje se odvijaju u digestoru obuhvataju pumpanje sirovog mulja, odvod mulja, zagrevanje, mešanje, skupljanje gasa i njegovo korišćenje. Projektovana zapremina digestora je od 4 000 m3, a u ovom postrojenju se nalaze dva digestora (slika 1) od po 2 000 m^3. Projektovani temperaturni opseg u digestoru je od 34 - 37 oC.

4. 3D MODEL CENTRALNOG POSTROJENJA ZA TRETMAN OTPADNIH VODA I KOGENERACIJSKOG POSTROJENJA

Otpadna voda se pomoću dovodne cevi dovodi do postrojenja za prečišćavanje otpadne vode. Dovedena voda se pomoću pužnih pumpi podiže na hidraulički nivo kako bi se obezbedilo gravitaciono proticanje otpadne vode kroz kompletno postrojenje. Posle podizanja otpadne vode na hidraulički nivo, voda se delimično prečišćava pomoću kose automatske rešetke. Otpad izdvojen pomoću rešetke se transportuje pomoću trakastog transportera do kontejnera. Nakon ovog prečišćavanja otpadna voda se dovodi do aeracionog peskolova, u kome se taloži pesak i vrši uklanjanje masti i ulja pomoću hvatača masti (slika 1).

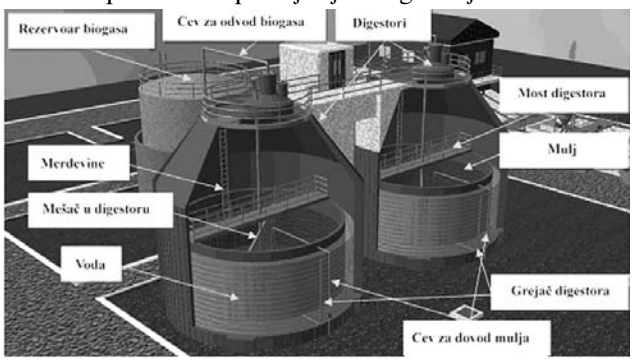


Slika 1. Aerisani peskolov

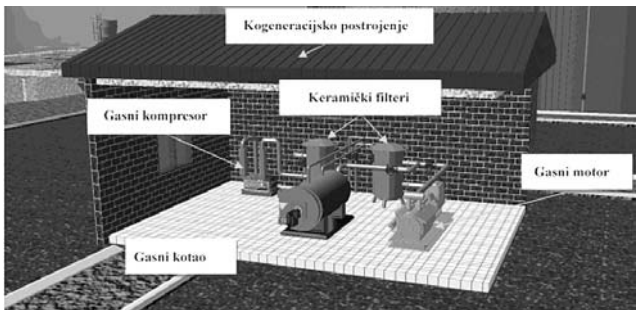
Pesak istaložen na dnu se pomoću muljnih pumpi odvodi u silos za pesak. Sledeći korak u prečišćavanju otpadne vode je taloženje u primarnim taložnicima, gde će se istaložiti najveći deo organskog zagađenja. Mulj se, zatim iz primarnog taložnika odvodi u primarni ugušćivač pomoću muljnih pumpi radi izdvajanja viška vode, a sve to u cilju vršenja anaerobne digestije. Nakon izvršene anaerobne digestije mulj se iz digestora (slika 2) muljnim pumpama odvodi u sekundarni ugušćivač radi formiranja minimalne zapremine mulja koji je iste konstrukcije kao i primarni ugušćivač. [5]

Osnovni delovi kombinovanog postrojenja za proizvodnju toplotne i električne energije sačinjavaju:

- postolje,
- gasni motor,
- gasna instalacija,
- sinhroni generator,
- izmenjivači toplote,
- oprema za upravljanje i regulaciju.



Slika 2. Digestori za prozvodnju biogasa u centralnom sistemu za tretman otpadnih voda



Slika 3. Kogeneracijsko postrojenje

Gasni motor (slika 3) je osnovno pogonsko sredstvo postrojenja i reč je o četvorotaktnom motoru sa unutrašnjim sagorevanjem biogasa. Pouzdan i optimalan rad gasnog motora se obezbeđuje pomoću mikroprocesorskog upravljačko-regulacionog sistema koji obezbeđuje start gasnog motora, regulaciju temperature ili brzine obrtanja i nadzor svih vitalnih parametara kao i zaštitnu funkciju sa zaustavljanjem. Gas iz digestora je potrebno osloboditi od mehaničkih nečistoća, tragova H2S i vlage. Filtriranje se vrši u dva stepena: između digestora i rezervoara za gas i između rezervoara za gas i kotla/gasnog motora. Gasni kotao (slika 3) se koristi za grejanje prostorija postrojenja i za održavanje potrebne temperature mulja u trulištu. 3D model datog postrojenja za tretman otpadnih voda je urađen u programskom paketu DASSAULT SYSTEMS - CATIA V5R16.

5. ZAKLJUČAK

Potrošnja energije je u porastu pa će uskoro biti potrebni novi izvori za proizvodnju električne i toplotne energije, kako u sektoru industrije tako i u opštoj potrošnji. Osnovna prednost kogeneracije je povećana iskoristivost energenata u odnosu na konvekcionalne elektrane koje služe samo za proizvodnju električne energije, kao i u odnosu na toplane koje služe samo za proizvodnju toplotne energije koja služi za tehnološke svrhe ili za proizvodnju tople vode.

Primena kogeneracijskih postrojenja prvenstveno se razmatra zbog njihove velike efikasnosti koja u pojedinim slučajevima može da dostigne i do 90%, a samim tim postiže se velika ekonomska dobit. Glavni razlog izgradnje kogeneracijskog postrojenja u okviru postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda je mogućnost proizvodnje jeftinije struje u odnosu na cenu struje u električnoj mreži, čime kogeneracijsko postrojenje samo sebe isplaćuje. Osim toga kogeneracijsko postrojenje omogućava autonomiju u slučaju ispada glavne elektrodistributivne mreže.

6. ZAHVALNICA

Ovaj rad je nastao kao rezultat istraživanja na projektu "ISTRAŽIVANJE KOGENERACIONIH POTENCIJALA U KOMUNALNIM I INDUSTRIJSKIM ENEREGANAMA REPUBLIKE SRBIJE I MOGUĆNOSTI ZA REVITALIZACIJU POSTOJEĆIH I GRADNJU NOVIH KOGENERACIONIH POSTROJENJA (III 42013)" koje je finansiralo Ministarstvo za nauku i tehnološki razvoj.

7. LITERATURA

1 www.sepa.gov.rs/download/Studija_otpadnih_voda_Srbije.pdf

2 ***"Opportunities for and Benefits of Combined Heat and Power at Wastewater Treatment Facilities", U.S. Environmental Protection Agency Combined Heat and Power Partnership, April 2007

3 Energoprojekt: "Centralno postrojenje za prečišćavanje otpadnih voda Kragujevca", knjiga XII, sveska 2, glavni izvođački projekat, Beograd,1989

4 Benjamin Reinhard: "Valorisation Concepts for Biodigestor Effluent", Diploma thesis, HSW University of applied science, Zurich, 2002

5 Mark J. Hammer, Mark J. Hammer, Jr.: "Water and Wastewater Technology", Upper Saddle River, New Jersey Columbus, Ohio, 2004

6 Peter Simoès, Harmen Veldman: "ECOSTILER - cogeneration with biogas in the district heating system of Amsterdam, Netherlands", 1st European Conference on Polygeneration, Tarragona (Spain), 16-17 October 2007