

## ENERGETSKI ASPEKT ANAEROBNOG PREČIŠĆAVANJA OTPADNIH VODA

**SAŽETAK:** Anaerobni proces tretiranja otpadnih voda sa korišćenjem biogasa za proizvodnju toplotne energije je prikladan za tretiranje visoko opterećenih otpadnih voda. U ovom radu dat je sistem kriterijuma za ocenu uspešnosti ove vrste procesa. Ocena je zasnovana na potrošnji supstrata, količini proizvedenog biogasa, efikasnosti proizvodnje i koncentracije metana u biogasu. Ovi kriterijumi mogu značajno pomoći u kontroli anaerobnog procesa. Pokazano je da energija iz biogasa, proizvedena iz anaerobnog tretmana otpadne vode, može zadovoljiti deo zahteva producenta otpadnih voda. Ova količina nije zanemarljiva i ponekad može biti veoma značajna. Dvostepeni anaerobni proces tretiranja sa posebnim korišćenjem biogasa iz prvog i drugog stepena je jedna od varijanti procesa podesna za tretman visoko opterećenih otpadnih voda.

**KLJUČNE REČI:** anaerobno prečišćavanje, otpadne vode, biogas, proizvodnja energije.

### Uvod

Industrijska revolucija u 19. veku imala je za posledicu intenzivan porast industrijske proizvodnje i brz porast gradova sa koncentrisanjem velikog broja stanovnika na relativno malim prostorima zbog čega je problem opšteg zagađenja, a posebno zagađenja otpadnih voda, postao veoma značajan. To je zahtevalo i brz razvoj postupaka za zaštitu životne sredine, a naročito postupaka za prečišćavanje otpadnih voda.

Između ostalih postupaka, za prečišćavanje naročito sanitarnih otpadnih voda, posebno mesto su zauzimali anaerobni postupci obrade. Povećan interes za anaerobne procese podstaknut je opštom svetskom sirovinskom i energetskom krizom kao i sve većim razvojem prehrambene i fermentacione industrije koje su karakteristične po visokoj zagađenosti otpadnih voda.

Anaerobni postupci obrade ne zahtevaju utrošak energije za prenos kiseonika, a više od 80% hemijski vezane energije se prevodi u metanski gas koji se može koristiti kao energetski izvor za pokrivanje energetskih potreba u samom postrojenju ili drugde. U posebnim slučajevima, organski i termički visoko zagađenih voda i muljeva, energetski bilans rada anaerobnog postrojenja može biti i pozitivan, tj. iz postrojenja se može izvlačiti i korist. Takvi su npr. bioenergetski postupci anaerobne obrade. Od posebnog je značaja što anaerobni postupci nisu ograničeni opterećenjem otpadnih voda što je inače slučaj sa aerobnim postupcima.

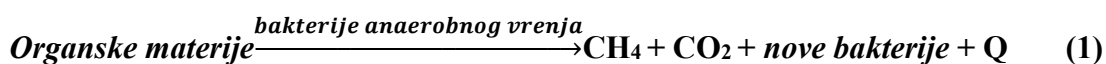
---

\*bn.vukovic@gmail.com

Treba imati na umu da anaerobni postupci imaju i niz mana. Pre svega, organsko zagađenje se u anaerobnim postupcima razlaže znatno manjom brzinom od one u aerobnim, a iz toga proističe potreba za ugradnjom postrojenja velikih zapremina pa prema tome i velika finansijska ulaganja. Međutim, ovo ulaganje se, naročito u „Bioenergetskim postrojenjima“ postepeno vraća što nikada nije slučaj kod aerobnih postrojenja. Zbog ovoga se sa sigurnošću može očekivati dalji razvoj anaerobnih postupaka obrade i izvesno je da će oni postati ozbiljna konkurencija aerobnim postupcima.

### 1. Biohemija procesa

Proces anaerobnog razlaganja organskih materija može se prikazati sledećom jednačinom:



Iz jednačine (1) može se videti da se pod dejstvom bakterija anaerobnog vrenja, u odsustvu kiseonika, organsko zagađenje razlaže u gasovite produkte metana i ugljen-dioksida,  $\text{CH}_4$  i  $\text{CO}_2$ , a da istovremeno nastaje izvesna količina nove bakterijske mase u kojoj je ugrađena ekvivalentna količina organske materije. Uporedo sa ovim, jedan deo organskog zagađenja se prevodi u toplotnu energiju koja se rasipa u okolni prostor doprinoseći održavanju procesa na potrebnom temperaturnom nivou. Posmatrano sa aspekta prečišćavanja otpadnog organskog zagađenja iz jednačine (1) sledi da se uklanjanje organskog zagađenja anaerobnim postupcima obrade svodi na njegovo prevođenje u gasovite produkte koji napuštaju sistem, toplotu koja se rasipa u okolni prostor i bakterijsku biomasu koja se mora izdvojiti iz efluenta da bi se postigao željeni stepen prečišćavanja. U praktičnim uslovima, tj. u radu postrojenja za anaerobnu obradu, osnovni je cilj da se transformacije prikazane jednačinom (1) izvedu što brže i što potpunije. Pošto su ove transformacije posledica dejstva bakterijskih ćelija, radnih mikroorganizama, jasno je da je za efikasno izvođenje razlaganja organskog zagađenja potrebno ostvariti optimalne uslove za njihovo delovanje, a to znači da ekološki uslovi za funkciju mikroorganizama moraju biti optimalni ili se moraju nalaziti u granicama ekološke valence. Ekološki uslovi su određeni specifičnim fiziološkim i biohemijskim karakteristikama radnih mikroorganizama. Radni mikroorganizmi u procesima za anaerobnu obradu su bakterije anaerobnog vrenja koje se dele prema konačnom produktu delovanja na bakterije kiselinskog vrenja i bakterije metanskog vrenja. Za ostvarivanje optimalne funkcije postrojenja za anaerobnu obradu neophodno je, prema

tome, dobro poznati osobine navedenih mikroorganizama. U praktičnim uslovima primene anaerobnih postupaka obrade izrađuju se posebne vrste bioreaktora, digestora, u kojima se specifičnim konstruktivnim rešenjima ostvaruju što optimalniji uslovi za funkcionisanje bakterija anaerobnog vrenja. Mehanizam biološkog delovanja biohemijske transformacije organskih materija tj. organskog zagađenja do kojeg dolazi u toku anaerobne obrade uslovljen je fiziološkim karakteristikama radnih mikroorganizama. Osnovna zajednička karakteristika bakterija anaerobnog vrenja jeste sposobnost transformacije materije i energije u odsustvu kiseonika. Pri tome su bakterije kiselinskog vrenja u odnosu prema kiseoniku fakultativne, a bakterije metanskog vrenja su striktno anaerobne. Pod dejstvom bakterija anaerobnog vrenja složene organske materije kao što su belančevine, lipidi, skrob, celuloza, lignini itd. razlažu se složenim putem koji se može podeliti u tri faze.

U prvoj fazi razgradnje se složene, u vodi nerastvorne materije, hidrolizom prevode u rastvoren oblik. Ova hidroliza je katalizovana ekstracelularnim enzimima koji izlučuju u okolni prostor bakterije anareobnog vrenja. Tako se, npr. polisaharidi razlažu do prostijih šećera, belančevine do aminokiselina i peptida, lipidi do masnih kiselina i glicerola itd. Pošto se u ovoj fazi razgradnje u vodi nerastvorne materije prevode u rastvoreni oblik, ona se često naziva fazom likvefakcije. Prevođenje složenih materija u oblik rastvoren u vodi je neophodan uslov za dalju razgradnju jer mikroorganizmi mogu potpuno razložiti samo onaj oblik hrane koji je rastvoren u vodi. Nažalost, u praktičnim uslovima, rastvaranje složenih organskih materija retko je potpuno, zbog čega iz postupka obrade uvek izlazi manja ili veća količina nerazgrađene organske materije. Takav je npr. lignin koji se razlaže veoma sporo i nepotpuno. Produkti njegove razgradnje ulaze u sastav mulja koji se izdvaja iz bioreaktora čineći kasnije osnovne komponente humusa. Ova biološka neefikasnost posledica je brojnih faktora.

U drugoj fazi razgradnje bakterije kiselinskog vrenja koriste u vodi rastvorene komponente organskog zagađenja, bez obzira da li su unete u sistem ili su nastale u prvoj fazi razgradnje, prevode ih delom u svoju biomasu i različite metabolite. Razumljivo je da se većom brzinom razlažu pod dejstvom bakterija kiselinskog vrenja one komponente razgradnje koje su prisutne u rastvorenom obliku jer ne moraju proći kroz prvu fazu razgradnje tj. hidrolizu. Pri razlaganju pod dejstvom bakterija kiselinskog vrenja ne postoji spoljašnji akceptor efektivno oslobođenih razlaganjem supstrata pa bakterije moraju koristiti unutrašnje akceptore koji nastaju u metaboličkim tokovima npr. ketokiseline. Kao krajnji produkt kiselinskog vrenja tj. druge faze razgradnje javljaju se različite organske kiseline.

Pored toga nastaje i određena količina CO<sub>2</sub> i H<sub>2</sub>, kao i novoizgrađena biomasa mikroorganizama. Upravo zbog toga što se kao masovan proizvod ove faze razlaganjem organskih materija pojavljuju organske kiseline, ona se naziva fazom kiselinskog vrenja. Vrsta kao i količina nastalih kiselina zavisi od brojnih faktora, a pre svega od vrste organskog zagađenja, tj. supstrata, vrednosti pH, temperature, koncentracije kiseonika itd. Ova faza razlaganja se može odvijati u prisustvu i bez prisustva kiseonika, pošto su bakterije kiselinskog vrenja. Zavisno od hemijske prirode u drugoj fazi razlaganja se različita jedinjenja razlažu različitom brzinom. Najbrže i praktično potpuno se razlažu ugljeni hidrati, dok se višemasne kiseline razlažu znatno sporije i na kraju obično zaostaju oko 20% u nerazloženom obliku.

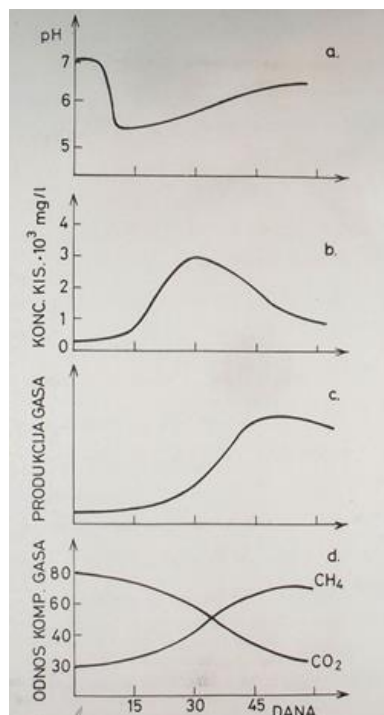
Treća faza razlaganja dešava se pod dejstvom bakterija metanskog vrenja i u njoj se prethodno formirane organske kiseline razlažu u metan (CH<sub>4</sub>) i ugljen-dioksid (CO<sub>2</sub>), uz biosintezu određene količine bakterijske mase. Pored organskih kiselina, bakterije metanskog vrenja mogu razlagati tj. koristiti kao hranu i neka druga jedinjenja npr. niskomolekularne alkohole. One, takođe, koriste i H<sub>2</sub> i pri tome CO<sub>2</sub> služi kao akceptor elektrona, a produkti ove transformacije su CH<sub>4</sub> i H<sub>2</sub>O.



Delovanjem bakterija metanskog vrenja organske kiseline se ne mogu direktno prevoditi u metan, već se njihovo razlaganje odvija postepeno. Metansko vrenje je složen biološki proces u kome učestvuje veliki broj bakterijskih vrsta, a njihovo delovanje može biti paralelno i uzastopno. Ovom reakcijom bakterije metanskog vrenja obezbeđuju energiju za pokretanje fizioloških reakcija, ali ne i potreban ugljenik za sintezu svoje biomase, tj. za reprodukciju. Ugljenik se obezbeđuje razlaganjem drugih supstrata, npr. oksidacijom organskih kiselina. U metanskom vrenju učestvuje veliki broj bakterijskih vrsta i svaka od njih je strogo zavisna od vrste supstrata tj. hrane [1].

Ukoliko je polazni supstrat tj. zagađenje složenije po hemijskom sastavu, tok njegovog razlaganja je kompletniji. Složeni tok biološkog razlaganja različitih supstanci pod dejstvom bakterija metanskog vrenja, ispitivali su mnogi autori. U složenom toku bioloških transformacija najznačajnija reakcija je razlaganje sirćetne kiseline u metan i ugljen-dioksid.

Zbog značajne razlike u fiziološkim osobinama između bakterija kiselinskog i metanskog vrenja u takvim reaktorima nije moguće postići optimalne uslove funkcionisanja. Jedan od najboljih načina da se ovi problemi reše jeste razdvajanje sredine u kojoj deluju ove dve vrste mikroorganizama. To je postignuto u tzv. dvostepenom postupku anaerobne obrade. Kao posledica opisanih hemijskih transformacija izazvanih delovanjem bakterija anaerobnog vrenja, dešava se niz hemijskih i fizičko-hemijskih izmena u bioreaktoru. Na slici br.1 je prikazan karakter promene nekoliko najznačajnijih parametara do kojih dolazi u toku anaerobnog vrenja. Analizom dijagrama prikazanog na slici br.1 može se zaključiti da u prvih 15 dana dolazi do pada pH vrednosti sa 7 na 5,5, a nakon toga pH postepeno raste i nakon



Slika 1. Karakter promene nekoliko najznačajnijih parametara do kojih dolazi u toku anaerobnog vrenja

45 dana dostiže 6,5. Što se tiče koncentracije isparljivih kiselina, u prvih 15 dana polako raste, dok je intenzitet porasta značajno izražen u periodu od 15-tog do 30-tog dana boravka u bioreaktoru. Produkcija gasa raste polako u periodu do 30 dana, dok je izuzetno intenzivna u periodu od 30-tog do 45-tog dana. Porast produkcije CH<sub>4</sub> je neprestano kontinuirana dok je promena CO<sub>2</sub> neprekidno u padu.

### 1.1. Efikasnost razlaganja organskih materija

Pošto je osnovni zadatak u anaerobnoj obradi redukovanje sadržaja organskih materija, razumljivo je što se kao osnovni parametar efikasnosti funkcionisanja postrojenja uzima koncentracija organskih materija u ulaznom i izlaznom toku reaktora tj. u influentu i efluentu.

Za merenje koncentracije organskih jedinjenja koriste se standardne metode kao i u slučaju

drugih bioloških postupaka obrade. U dobro vođenim aerobnim postupcima može se postići redukcija organskih materija i do 95%, a u anaerobnom procesu koji funkcioniše pod optimalnim uslovima u toku 30 dana boravka organske materije u bioreaktoru može se postići stepen redukcije koji retko kada iznosi više od 75%. Stepenn redukcije organske materije u anaerobnim procesima u praktičnim uslovima varira od reaktora do reaktora. Promenljivost u efikasnosti delovanja anaerobnih postrojenja uslovljena je mnogim faktorima, a najčešće promenama koncentracije ulaznog zagađenja, tj. promenama organskog opterećenja reaktora, promenom temperature i pH vrednosti, promenama u intenzitetu i efikasnosti rešenja itd.

Efikasnost delovanja anaerobnog procesa u velikoj meri zavisi od vrste organske materije koja se obrađuje. Najlakše i najefikasnije se razlažu komponente zagađenja koje se nalaze rastvorene u vodi u molekulskom ili jonskom obliku, znatno sporije se razlažu makromolekulska jedinjenja i koloidni rastvori, a najsporije one materije koje se nalaze u suspednovanom stanju. Brzina kojom se složena makromolekulska jedinjenja mogu prevoditi u rastvoren oblik zavisi od njihove hemijske građe i osobina bakterija anaerobnog vrenja. Pod dejstvom bakterija najlakše će se razlagati one materije na koje su bakterije priviknute i imaju potrebne hidrolizne enzime konstitutivnog karaktera dok je znatno teže razlagati materije na koje bakterije tek treba da se prilagode. Kako je sposobnost prilagođavanja bakterija na pojedine supstrate ograničena, jasno je da se pojedina jedinjenja neće uopšte razlagati ili će se razlagati u malom stepenu.

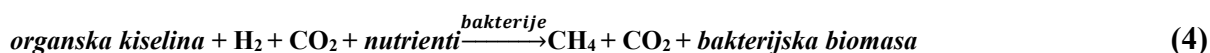
## 1.2. Produkcija bakterijske biomase

U metabolizmu živih organizama uvek postoji stroga integracija procesa razlaganja supstrata tj. hrane i procesa biosinteze u kojima nastaje nova biomasa i niz metabolita. Posmatrano na ovaj način faze kiselinskog i metanskog vrenja u anaerobnim postupcima obrade mogu se prikazati sledećim jednačinama:

a) Kiselinsko vrenje



b) Metansko vrenje



Iz prethodnih jednačina za kiselinsko i metansko vrenje se vidi da u oba slučaja nastaje određena količina nove bakterijske biomase [2]. Ukupna produkcija biomase u anaerobnom procesu predstavlja zbir produkovanih biomasa u jednoj i drugoj fazi procesa i veoma je mala. Vrednosti za produkciju biomase koje se mogu naći u literaturi najčešće se kreću između 0,03 i 0,08 grama biomase po gramu razloženog BPK<sub>5</sub> što je deset puta manje nego u aerobnim postupcima obrade.

### 1.3. Proizvodnja gasa

Kao i proizvodnja biomase tako i proizvodnja gasa direktno zavisi od operativnih parametara procesa i vrste supstrata koji se razlaže. U analizama se uzimaju optimalni uslovi funkcionisanja procesa anaerobne obrade. Za sirćetnu kiselinu koja je centralni metabolit metanskog vrenja može se izračunati teorijski prinos metana po jedinici supstrata. Sirćetna kiselina se razlaže prema jednačini:



Molekulske težine                      60              16      44

Iz jednačine (5) sledi da na svaki gram sirćetne kiseline nastaje 0,26 grama metana.

Iz jednačine (6) za potpunu oksidaciju sirćetne kiseline sledi da jedan gram sirćetne kiseline odgovara 1,07 g HPK.



Na osnovu podataka dobijenih iz prethodnih jednačina sledi da se na svaki gram HPK može dobiti  $\frac{0,26}{1,07} = 0,25$  l metana, što ako se prevede na normalne uslove, iznosi 0,35 l. U navedenim proračunima nije uzeta u obzir produkcija biomase bakterija pa prema tome produkcija gasa po jedinici HPK mora biti nešto niža. Izračunati prinos metana niži je iz razloga što efikasnost korišćenja supstrata u praktičnim uslovima čak i pri normalnom funkcionisanju postrojenja nije stoprocentna [3].

Iz jednačina (5) i (6) može se zaključiti da su glavne komponente proizvedenog gasa CH<sub>4</sub> i CO<sub>2</sub>. Odnos ovih komponenti izražen u zapreminskim vrednostima najčešće je 70% CH<sub>4</sub> i 30% CO<sub>2</sub>. U praktičnim uslovima ovaj odnos može da se menja zavisno od mnogih faktora ali najčešće iznosi 65-70% CH<sub>4</sub> i 30-45% CO<sub>2</sub>. Razlog za variranje zapreminskih odnosa gasnih komponenti leži i u činjenici da je CO<sub>2</sub> rastvorljiviji u vodenoj fazi od metana pa izvesna količina CO<sub>2</sub> izlazi iz sistema sa tečnom fazom. Izvesna količina CO<sub>2</sub> ulazi u

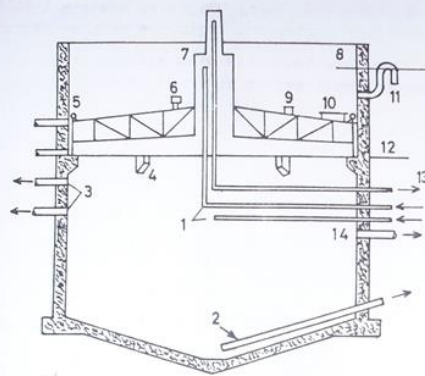
ravnotežni sistem karbonati-bikarbonati. Ovo pomeranje u korist metana je od značajne koristi, pošto se time povećava energetska vrednost proizvedenog gasa.

Praktično, postrojenje za anaerobnu obradu ostvaruje sledeću produkciju gasa (smeša  $\text{CH}_4, \text{CO}_2$  i male količine drugih gasova): 500 - 750 l gasa/kg organske materije unete u reaktor.

## 2. Vrste postupaka anaerobne obrade

Postupak anaerobne obrade se može vršiti diskontinualno i kontinualno. Osnovne prednosti kontinualnih ili polukontinualnih postupaka su veća efikasnost procesa, veća brzina, tj. vreme obrade, mogu se postići veći kapaciteti, a u vezi s tim je i veća ekonomičnost [5].

Savremeni postupci anaerobne obrade izvode se u uređajima koji omogućavaju održavanje optimalnih uslova za delovanje mikroorganizama kao i dobijanje efluenta koji je maksimalno rasterećen. Za ovo su izrađene specifične konstrukcije bioreaktora kojima su pridodati uređaji za bistrenje efluenta i sakupljanje gasa. Ovi bioreaktori koji se u praksi nazivaju digestori, deluju polukontinualno ili kontinualno. Sadržaj digestora se može mešati i zagrevati do željene temperature čime je efekat anaerobne obrade znatno povećan [6]. Digestori se izrađuju u raznim formama. Mogu biti okrugli, četvrtasti i pravougaoni ili heksagonalni. Okrugla forma je najčešća. U cilju očuvanja toplote često se ukopavaju u zemlju. Kao konstrukcioni materijal koristi se čelik, a često i beton. Mogu biti otkriveni ili pokriveni, pri čemu poklopac može biti fiksiran ili pokretan. Pokretni krov je konstrukciono složeniji i skuplji, ali je bezbedniji jer može kompenzovati nagle



Slika 2. Šematski prikaz jednospratnog digestora sa pokretnim krovom. Oznake: 1. Dovod influenta, 2. Odvod mulja, 3. Odvod efluenta, 4. Oslonci, 5. Vođica krova, 6. Ventilator, 7. Odvod gasa, 8. Maksimalno punjenje, 9. Uzimanje uzoraka, 10. Manhol, 11. Preliv, 12. Minimalno punjenje, 13. Odvod gasa, 14. Odvod u sistem spoljašnjeg zagrevanja.

promene zapremine usled neravnomernog izdvajanja gasa, kompenzuje promene dotoka i sprečava formiranje eksplozivne smeše gas – vazduh. Na slici (2) je šematski prikazana konstrukcija savremenog anaerobnog bioreaktora – digestora. Mešanje sadržaja digestora



može se vršiti na jedan od sledećih načina: prepumpavanjem sadržaja, barbotiranjem gasa i mehaničkim mešanjem. Prepumpavanje sadržaja digestora je najpovoljniji oblik mešanja, posebno kada se prepumpavanje poveže sa sistemom za zagrevanje. Zagrevanje sadržaja digestora se može vršiti ugradnjom izmenjivača toplote u digestoru ili spoljašnjim sistemom za zagrevanje. Za zagrevanje se najčešće koristi gas koji nastaje u toku funkcionisanja sistema ili se koriste termički zagađene vode proizvodnih pogona. Ako je moguće ostvariti ovaj drugi oblik zagrevanja, anaerobna obrada može postati izvor toplotne energije. Kapacitet digestora zavisi od niza radnih parametara procesa, a pre svega od opterećenja i vremena boravka. Kapacitet se izražava zavisno od vrste materijala koji se obrađuje i ako je to biološki mulj iz anaerobne obrade, kapacitet se izražava po glavi stanovnika (per capito). Ako se digestor primenjuje u obradi industrijskih i drugih otpadaka, kapacitet se izražava zapreminom digestora po jedinici mase materijala koji se obrađuje. Za izračunavanje zapremine koristi se sledeća formula:

$$V = \frac{V_1 - V_2}{2} \cdot t_1 - V_2 \cdot t_2 \quad (7)$$

gde je:  $V$  – zapremina digestora  $m^3$ ,  $V_1$  – zapremina influenta  $\frac{m^3}{dan}$ ,  $V_2$  – zapremina digestiranog mulja  $\frac{m^3}{dan}$ ,  $t_1$  – vreme potrebno za obradu (dan),  $t_2$  – vreme zadržavanja digestiranog mulja (dan).

Kod dvostepenog procesa koristi se visokopterećeni anaerobni bioreaktor – digestor, kome je pridodat taložnik u kome se izbistrava efluent iz digestora. U taložniku se procesi anaerobne obrade skoro u potpunosti zaustavljaju i efekat biološkog delovanja u njemu je mali. Dodavanjem taložnika ovom sistemu obrade omogućeno je stalno mešanje u digestoru, a to znači održavanje uniformnosti i raspodele mase i toplote po ukupnoj zapremini digestora. Zbog ovih poboljšanja u odnosu na konvencionalni proces, često se ovaj način obrade naziva i „brza“ digestija.

Anaerobni kontakt proces je namenjen anaerobnoj obradi visokozagađenih industrijskih otpadnih voda ili otpadnih voda stočnih farmi, mada se koristi i u obradi bioloških i drugih muljeva. Osnovna karakteristika ovog procesa je recirkulacija mikroorganizama anaerobnog vrenja koji su izdvojeni taloženjem u taložniku efluenta iz digestora.

## Zaključna razmatranja

Čovečanstvo je suočeno sa ozbiljnom energetsom krizom koja pretili ratom velikih razmera. Danas je sigurno da se ona u budućnosti neće prevazići, a teško će se i ublažiti. Zbog toga se kao imperativni zadatak postavlja usavršavanje svih oblika izvora i korišćenja toplote, a posebno onih koji nisu konvencionalni. Poznato je da se u anaerobnim postupcima obrade razvija značajna količina gasa koji je nosilac toplotne energije. Korišćenje ovog gasa kao toplotnog izvora u dosad razvijenim postupcima anaerobne obrade, sem za zagrevanje samog procesa obrade, nije dolazilo u obzir. U konvencionalnim postupcima anaerobne obrade razvijena je količina gasa koja je obezbeđivala u najboljem slučaju potrebe samog postrojenja i viškova gasa, tj. energije praktično nije ni bilo. Osnovni problem je bio u tome što je za efikasno odvijanje anaerobne obrade potrebno održavati znatno veću temperaturu sistema u odnosu na okolni prostor, naročito u zimskom periodu.

Detaljnija izučavanja procesa anaerobne obrade koja su izvršena poslednjih godina dovela su do niza novih saznanja i uvođenja znatno efikasnijih postupaka kao što je dvostepeni, odnosno dvofazni anaerobni proces kod kojeg je moguće postići i pozitivan energetski bilans. Pri tome je od posebnog značaja i vrsta materije, supstrata, koji se obrađuje jer od njegove biorazgradljivosti zavisi i količina gasa koja se oslobađa po jedinici obrađivanog supstrata. Ukoliko je supstrat biorazgradljiviji i ukoliko sadrži manje inertnog materijala, energetski bilans rada anaerobnog postrojenja je pozitivniji. Pozitivnost energetskog efekta će biti utoliko veća ukoliko je količina toplote tj. gasa koja se troši na zagrevanje anaerobnog postrojenja manja. Jasno je da će ovaj utrošak toplote biti utoliko manji ukoliko je supstrat tj. influent u anaerobnoj obradi na višoj temperaturi. Takve su, npr. visokozagađene otpadne vode mnogih postupaka prehrambene, fermentacione i drugih industrija pa i otpadne vode stočnih farmi.

Pozitivan energetski efekat rada postrojenja za anaerobnu obradu se može postići i na taj način što će se za zagrevanje ovog postrojenja koristiti termički zagađene vode kojih u prethodno navedenim industrijama često ima u izobilju. U ovom slučaju se energija gasa formiranog u anaerobnom procesu može koristiti za pokrivanje energetskih potreba proizvodnog procesa ili u druge svrhe. Ozbiljno se razmatraju i mogućnosti postavljanja anaerobnih postupaka obrade u blizini postrojenja koja proizvode veće količine termički opterećenih voda (termo i nuklearne elektrane, metalurški kombinati i dr) koje bi poslužile za održavanje temperature anaerobnog procesa na potrebnom nivou. Kao materijali, supstrati, za

anaerobnu obradu u ovom slučaju mogu poslužiti: biološki mulj, raznovrsni otpaci poljoprivredne i prehrambene proizvodnje, otpaci stočnih farmi i farmi peradi itd.

Ako se u anaerobnoj obradi koriste savremeni postupci, ako se koriste dobro razgradljivi supstrati, ako je temperatura influenta bliska radnoj temperaturi anaerobnog procesa ili ako se održavanje anaerobnog procesa na potrebnoj temperaturi koristi kao grejni fluid termički zagađene vode, gas produkovan u anaerobnom procesu se može koristiti kao energetska sirovina. U ovakvim slučajevima anaerobni postupci obrade postaju producenti energije i anaerobni postupak se tada naziva „bioenergetski“.

Laboratorijska i poluindustrijska ispitivanja bioenergetskog anaerobnog postupaka su pokazala da se može postići produkcija gasa do 0,82 kg po kg BPK sa prosečnom energetsom vrednošću od  $25500 \frac{kJ}{m^3}$ . To je ekvivalentno 0,7l nafte. Postoji uverenje da se daljim usavršavanjem ovog postupka mogu postići i bolji efekti.

Na današnjem nivou razvoja ovog postupka on daje dobit koja, u proseku od dve godine eksploatacije, nadoknađuje potrebna investiciona ulaganja te dalji rad postrojenja ostvaruje dobit. Korisnost „bioenergetskog“ procesa se može videti i iz podatka da se pri upotrebi nastalog gasa u električnim generatorima na svakih 100 l gasa može dobiti približno 0,7 kWh energije, što proizilazi iz podatka da 100 l gasa pri standardnoj temperaturi i pritisku proizvodi 3000 kJ.

## LITERATURA

- [1] Al Seadi Teodorita, Rutz D, Prassl H, Köttner M, Finsterwalder T, Volk S, Janssen R. (2008). Biogas Handbook. Al Seadi Teodorita (ed). University of Southern Denmark, Esbjerg, Danska.
- [2] Aurbacher J, Bull I, Formowitz B, Gurgel A, Heiermann M, Heilmann H, Herrmann C, Idler C, Jänicke H, Kornatz P, Michel V, Peters J, Vollrath B, Willms M. (2012). Energiepflanzen für Biogasanlagen – Mecklenburg-Vorpommern. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR), Gülzow.
- [3] Bachmaier H, Ebertseder F, Effenberger M, Kissel R, Rivera-Gracia Eunice, Gronauer A. (2011). Wissenschaftliche Begleitung der Pilotbetriebe zur Biogasproduktion in Bayern (Fortsetzung 2008-2010). Abschlussbericht - Projekt im Auftrag des Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), Freising.
- [4] Effenberger M, Bachmaier H, Kränsel Eunice, Lehner A, Gronauer A. (2009). Wissenschaftliche Begleitung der Pilotbetriebe zur Biogasproduktion in Bayern. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), Freising.

- [5] Imhof Karl, (1950), *Priručnik za kanalizacije gradova i prečišćavanje upotrebljenih voda*, Izdanje komiteta za vodoprivredu NRS, Beograd.
- [6] Grupa autora, (1989), *Analiza rada i stanje postojećih postrojenja za proizvodnju biogasa u Jugoslaviji*, Poljoprivredni fakultet, Novi Sad.
- [7] Effenberger M, Bachmaier H, Kränsel Eunice, Lehner A, Gronauer A. (2010). Wissenschaftliche Begleitung der Pilotbetriebe zur Biogasproduktion in Bayern. Abschlussbericht- Projekt im Auftrag des Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), Freising.

**Božana Vuković, M.Sc.**

## ENERGETIC ASPECT ANAEROBIC TREATMENT WASTEWATER

### Summary

Anaerobic treatment process wastewater with utilization of biogas for produce heat is one of process variants which is suitable for treatment of heavy loaded wastewater. In this paper system of criterions for evaluation of successfulness of this kind of process is formulated. Evaluation, based on: substrate consumption, quantity produced biogas, efficacy production and concentration methane in biogas. These criterions may help in significant manner in control anaerobic process it has been shown that with the energy from biogas, obtained in anaerobic treatment of wastewater the part of energetic demands of wastewater producer, which is not minor and can sometimes be quite significant. Two stage anaerobic treatment process, with separate utilization of biogas from first and second stage is one of process variants which is suitable for treatment of heavy loaded wastewater.

*Key words:* Anaerobic purification, wastewater biogas, produce energy.