

# ANAEROBNA KODIGESTIJA OTPADNOG MULJA IZ POSTROJENJA ZA PREČIŠĆAVANJE KOMUNALNIH OTPADNIH VODA I DRUGOG ORGANSKOG OTPADA

Mirnesa Zohorović\*, Franc Andrejaš\*, Vedran Stuhli\*, Vahida Selimbašić\*,  
Nedim Hodžić\*\*, Abdel Đozić\*

*\*Tehnološki fakultet Univerziteta u Tuzli, Univerzitetska 8, 75 000 Tuzla*

*\*\*MC-Bauchemie, 46238 Bottrop, Germany*

[mirnesa.zohorovic@untz.ba](mailto:mirnesa.zohorovic@untz.ba)

## REZIME

Posmatrajući problem nastajanja sve većih količina otpadnog mulja i organskog otpada postojale su razne ideje po pitanju njihovog zbrinjavanja. U većini pogona za obradu otpadnih voda u svijetu je zastupljena obrada otpadnog mulja anaerobnom digestijom. Ovim postupkom dolazi do konverzije mulja i promjene njegovih karakteristika, jer pri anaerobnim uslovima se razgrađuju sve prisutne biološki razgradljive komponente.

U ovom radu ispitivana je anaerobna kodigestija otpadnog mulja sa postrojenja za prečišćavanje komunalnih otpadnih voda, kao osnovnog supstrata uz dodatak tri vrste organskog otpada (pileći ekskrementi, kuhinjski otpad i otpad od prerade voća i povrća) u cilju povećanja upotrebne vrijednosti otpadnog mulja kao sirovine za proizvodnju bioplina dodatkom organskog otpada, čime bi se doprinijelo poboljšanju karakteristika otpadnog mulja, kao i boljem prinosu i kvaliteti dobijenog bioplina.

Ključne riječi: anaerobna digestija, organski otpad, pileći ekskrementi, otpad iz domaćinstva, otpad od voća i povrća.

## UVOD

Obrada (prečišćavanje, tretman, kondicioniranje) otpadnih voda podrazumijeva postupke i procese kojima se vrši smanjenje prisutnog zagađenja do onih količina ili koncentracija s kojima prečišćene otpadne vode ispuštene u prirodne vodne sisteme postaju neopasne za život i ljudsko zdravlje i ne uzrokuju neželjene promjene u okolini.

Biološkim metodama obrade otpadnih voda moguće je ukloniti preko 90% organske materije i suspendiranih čestica. U procesima prečišćavanja otpadnih voda nastaju određene količine mulja kojeg uglavnom sačinjava višak mikroorganizama i obično sadrži znatnu količinu organske materije. Kako je mulj, zbog prisustva organskih materija, podložan daljem razlaganju u prirodi, u nekontrolisanim uslovima došlo bi do izdvajanja nepoželjnih plinova (metan, sumpor vodik, amonijak i dr.). Takođe, zbog prisustva patogenih mikroorganizama i klica, koje predstavljaju potencijalni izvor zaraznih bolesti, potrebno je učiniti mulj neškodljivim po okolinu te smanjiti njegovu zapreminu prije korištenja ili konačnog odlaganja, s obzirom na to da poseban problem u obradi mulja predstavlja veliki sadržaj vode u izdvojenom mulju, što zahtijeva relativno velike objekte za obradu mulja (Ljubisavljević i sar., 2004).

U tom cilju, vrši se obrada mulja koja u zavisnosti od šeme obrade i konačne dispozicije može iznositi i do 30% od ukupnih troškova za prečišćavanje otpadne vode. Zato je veoma važno pravilno projektovati i eksploatirati sistem obrade i odlaganja mulja, za što je potrebno poznavati količine i karakteristike mulja. Količine i karakteristike nastalog mulja zavise od karaktera ulazne vode, tipa postrojenja za prečišćavanje, stepena prečišćavanja i količine vode. Bez obzira na izbor postupka, obrada mulja ima za cilj smanjenje zapremine mulja, zbog smanjenja troškova, kao i stabilizaciju mulja, zbog sprječavanja prirodnog razlaganja mulja i uništavanja parazita prisutnih u mulju.

Za razliku od industrijskih otpadnih voda, mulj nastao nakon obrade gradskih-komunalnih otpadnih voda, trebao bi biti pogodan za različite vrste obrade i korištenja, jer uglavnom ne sadrži teške metale i toksične materije.

Istraživanja Osorio, F., Torres, J.C. (2009); Chen, Y., Cheng, J.J., Creamer, K.S. (2008); Miron, Y., Zeeman, G., van Lier, J.B., Lettinga, G. (2000); Zeeman G., Sanders W.T.M., Wang K.Y., Lettinga G. (1997); Kroeker, E.J., Schulte, D.D., Sparling, A.B., Lapp, H.M. (1979) i drugih su pokazala primjenjivost procesa anaerobne digestije za potrebe zbrinjavanja mulja sa postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda malog kapaciteta.

U većini pogona za obradu otpadnih voda u svijetu je zastupljena obrada otpadnog mulja anaerobnom digestijom u mezofilnim uslovima. Ovim postupkom dolazi do konverzije mulja i promjene njegovih karakteristika, jer pri anaerobnim uslovima se razgrađuju sve prisutne biološki razgradljive komponente, čime se smanjuje sklonost mulja ka truljenju. Pored toga, prilikom anaerobne stabilizacije dolazi do uništenja patogenih mikroorganizama (Stuhli i sar., 2012).

S druge strane, jedan od glavnih problema zaštite okoline savremenog društva je kontinuirani porast nastalih količina organskog otpada. U mnogim zemljama, održivo upravljanje otpadom, koje podrazumijeva i sprječavanje njegovog nastanka i smanjenje novih količina, postao je glavni politički prioritet i važan dio zajedničkih napora u smanjenju zagađenja okoline i emisije stakleničkih plinova radi ublažavanja globalnih klimatskih promjena. Dosadašnja praksa nekontroliranog odlaganja otpada više nije prihvatljiva. Čak i kontrolirano odlaganje otpada na za to predviđenim odlagalištima ili spaljivanje organskog otpada više ne predstavljaju prikladan način njegovog zbrinjavanja, a okolinski standardi su sve rigorozniji te upućuju na povrat energije i upotrebu hraniva te organskih materija.

Anaerobna digestija dobija sve veću ulogu u zbrinjavanju organskog otpada, što je u prošlosti, rijetko smatrano kao moguće i održivo rješenje u zemljama u razvoju (Al Seadi i sar., 2008).

Uslovi koji vladaju u anaerobnim reaktorima su podešeni tako da podstiču razvoj metanogenih bakterija. Na taj način na pogonima za prečišćavanje proizvodi se znatna količina bioplina koji predstavlja veoma dobar izvor energije temeljen na nefosilnim, obnovljivim resursima. Na samom kraju anaerobnog procesa javlja se mulj sa niskim sadržajem organskih materija, bez prisustva štetnih mikroorganizama, te predstavlja materiju koja je pogodna za kondicioniranje zemljišta sa stanovišta zadržavanja vode i podsticanja razvoja flore autotrofnih mikroorganizama u zemlji, jer se time direktno utiče na biljna hraniva neorganskog porijekla (Simičić, 2002).

Cilj ovog rada je bio da se analizira mogućnost povećanja upotrebne vrijednosti otpadnog mulja sa postrojenja za prečišćavanje komunalnih otpadnih voda za proizvodnju bioplina procesom anaerobne digestije pri mezofilnim uslovima dodatkom organskog otpada, čime bi se doprinijelo poboljšanju karakteristika otpadnog mulja, kao i boljem prinosu i kvaliteti dobijenog bioplina.

## MATERIJALI I METODE

Eksperiment je realiziran u laboratorijskim uslovima sa ciljem istraživanja mogućnosti unaprjeđenja procesa upotrebe otpadnog mulja sa postrojenja za prečišćavanje komunalnih otpadnih voda u proizvodnji bioplina. Sam proces anaerobne digestije vođen je pri mezofilnim uslovima (35°C) uz dodatak organskog otpada različitog porijekla, i to: životinjski ekskrementi (pileći gnoj), organski otpad iz domaćinstva (kuhinjski otpad), te otpad iz prehrambene industrije (otpad od voća i povrća) u svrhu ispitivanja uticaja organskog otpada kao dodatka otpadnom mulju na odvijanje procesa anaerobne digestije i prinos bioplina. Kao kontrolni uzorak koristio se otpadni mulj bez dodatka kosupstrata. Proces je trajao 34 dana.

Za potrebe istraživanja korišten je reaktorski sistem za anaerobnu digestiju sastavljen od četiri zasebna reaktora izrađena od ABS plastične mase sa duplim plaštom, korisne zapremine 25 litara. Pomoću duplog plašta vršeno je zagrijavanje toplom vodom koja dolazi iz bojlera, čime se obezbjeđuje konstantna potrebna temperatura u reaktoru (35°C). Recirkulacija ogrijevne vode vršila se pomoću cirkulacione pumpe.

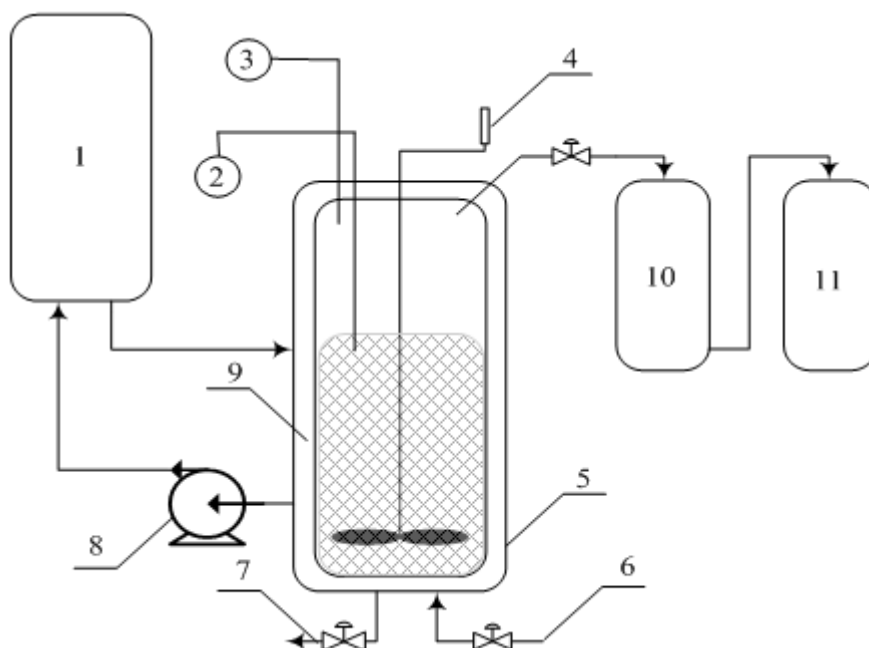
U reaktore su ugrađeni termometri i manometri za kontrolu neophodnih parametara procesa, kao i ručne mješalice koje na svom kraju imaju lopatice za miješanje. Za uzorkovanje je korišten ventil na dnu reaktora. Anaerobni uslovi obezbijedjeni su propuhivanjem reaktora i supstrata, sa dna reaktora, azotom iz boce pod pritiskom. Na vrhu reaktora nalazi se ventil za izlaz produciranog bioplina. Mjerenje zapremine produciranog bioplina izvedeno je na principu Mariott boca, s tim da su za prihvatanje plina korišteni plastični spremnici od 25 l, napunjeni 22% vodenom otopinom NaCl. Otopina je usljed pritiska produciranog bioplina kroz gumeno crijevo transportovana u graduisane sekundarne spremnike, gdje se na osnovu zapremine istisnute tekućine može očitati i ekvivalentna zapremina bioplina iz reaktora (slika 1, slika 2).

Uzorkovanje plina vršeno je pomoću staklenog aspiratora, sa ventilima sa obje strane cilindra. Na jednom kraju aspirator je gumenim crijevom povezan sa nivo bocom u kojoj se nalazi 22% vodena otopina NaCl. Vertikalnim pomjerenjem i otvaranjem ventila aspiratora dolazi do stvaranja pogonske sile, na bazi promjene pritiska, čime je osiguran nesmetan protok i spremanje produciranog gasa u aspirator, ali i njegovo isticanje iz aspiratora prilikom same analize. Analiza sastava plina vršena je na gasnom hromatografu „PERKIN ELMER“ opremljenom softverskim paketom „Arnel“. Spajanjem

slobodnog dijela aspiratora na ulaz hromatografa i podizanjem nivo boce omogućen je protok kroz kolonu hromatografa, što je neophodno za određivanje sastava bioplina (slika 3).



Slika 1. Reaktorski sistem za anaerobnu digestiju



1-bojler, 2-termometar, 3-manometar, 4-mješalica, 5-tijelo reaktora, 6-ulaz za propuhivanje reaktora, 7-mjesto uzorkovanja, 8-reciklaciona pumpa, 9-dupli plašt reaktora, 10-posuda napunjena otopinom NaCl, 11-posuda za prikupljanje tečnosti

Slika 2. Blok šema reaktora



Slika 3. Gasni hromatograf „Perkin Elmer“

#### Metodologija analize parametara

Temperatura je kontinuirano mjerena, pomoću termometara instaliranih u reaktore.

Određivanje sadržaja suhe (TS) i isparljive organske materije (VS) je izvršeno prema Metod 2540-Solid B i 2540-Solid E. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 21<sup>st</sup> edition. APHA, Washington, DC (2005).

Elektrometrijsko mjerenje pH-vrijednosti provedeno je direktnim mjerenjem vrijednosti na pH-metru METTLER TOLEDO FE 20/EL 20.

Sadržaj azota po Kjeldahl-u (TKN) određen je prema Metod 4500-N<sub>org</sub> B. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 20<sup>nd</sup> edition. APHA, Washington, DC (1998), a određivanje je izvršeno na Kjeldahl aparatu Gerhardt.

Koncentracija amonijačnog azota (N-NH<sub>4</sub>) određivana je prema Metod 4500-NH<sub>3</sub> C. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 21<sup>st</sup> edition. APHA, Washington, DC (2005).

Uz poznate vrijednosti amonijačnog azota, pH-vrijednosti i temperature koja vlada u reaktoru, koncentracija slobodnog amonijaka (NH<sub>3</sub>) je računata prema jednačini dobijenoj iz hemijske ravnoteže (Hashimoto, 1983):

$$[NH_3] = \frac{[NH_3 + NH_4^+]}{1 + \frac{[H^+]}{K_a}}$$

Analiza koncentracije isparljivih masnih (VFA) kiselina realizirana je u skladu s Metod 5560-Organic and volatile acids C. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 21<sup>st</sup> edition APHA, Washington, DC (2005).

Sadržaj fosfora (TP) je određen standardnom metodom BAS EN ISO 6878:2006. Fosfor se u supstratu nalazi u organskom, ortofosfatnom ili polifosfatnom obliku, stoga se metoda zasniva na prevođenju cjelokupnog sadržaja fosfora u ortofosfate prije samog određivanja.

Za određivanje hemijske potrošnje kisika (HPK) korištena je standardna metoda po BAS ISO 6060:2000.

Priprema uzoraka za određivanje koncentracije teških metala izvršena je u skladu sa standardnom metodom ISO 11464:1994, a očitavanje koncentracija je izvršeno na atomskom apsorpcijskom spektrometru (AAS) Perkin Elmer Precisely Aanalist 200 (slika 4.).

Mjerenje volumena produciranog bioplina iz reaktora izvedeno je u skladu sa standardom DIN 38 414, dio 8, a analiza sastava plina vršena je na gasnom hromatografu „PERKIN ELMER“ koji je opremljen softverskim paketom „Arnel“.



Slika 4. Određivanje teških metala na AAS „Perkin Elmer“

## REZULTATI I DISKUSIJA

Pregled sastava i osnovnih karakteristika formiranih mješavina otpadnog mulja (M) nakon dodatka životinjskih ekskremenata, tj. pilećeg gnoja (A), organskog otpada iz domaćinstva, tj. kuhinjskog otpada (B) te otpada iz prehrambene industrije, tj. otpada od voća i povrća (C), prikazan je u tabeli 1.

Tabela 1. Sastav i osnovni parametri formiranih mješavina supstrata na početku procesa

parametar	jedinica	0	1	2	3
sastav	mas %	100 % M	88% M+12 %A	77% M+23% B	75% M+25% C
TS	%	4.27	9.35	9.24	6.09
VS	%	2.77	4.40	7.40	4.68
VS/TS	udio	0.65	0.47	0.80	0.77
pH	-	7.89	7.98	7.15	7.29
HPK	g/kg	48.56	57.19	87.03	74.86
TKN	g/kg	1.49	2.94	3.10	1.75
NH <sub>3</sub>	mg/kg	15.58	47.76	21.72	19.64
TP	g/kg	11.067	14.81	12.24	12.68

Sadržaj TS, kao i omjer VS/TS u kosupstratima je u okviru preporučenih intervala sa vrijednostima TS-a koji ne prelaze 10% (Muršec i Vindiš, 2009). Vrijednosti organske isparljive materije i hemijske potrošnje kisika u uzorcima ukazuju na potencijal svih mješavina kao sirovine za anaerobni tretman. Treba izdvojiti nešto veći sadržaj VS-a (7.4%) i HPK (87.03 g/kg) u uzorku 2 u odnosu na ostale kosupstrate.

pH-vrijednost u uzorcima se kretala od 7.0-8.0 tako da se nalazila u optimalnom intervalu za odvijanje anaerobnih procesa (Van Lier i sar., 1997; Nielsen, 2006).

Ako se analiziraju vrijednosti sadržaja azotnih spojeva u kosupstratima ističu se uzorci 1 i 2, ali koncentracije amonijačnog azota nisu prelazile 200 mg/kg, tako da nisu dostizale vrijednosti pri kojima može doći do usporavanja ili inhibicije procesa (od 553 mgN/l do 1340 mgN/l prema Kiyohara i sar., 2000).

Svi navedeni parametri su se u uglavnom nalazili u okviru vrijednosti koje su zabilježene u dosadašnjim istraživanjima na istom ili sličnom sastavu kosupstrata (Bouallagui i sar., 2005; Ara, 2012; Komatsu i sar., 2004; Lebiocka i sar., 2012; Wang i sar., 2014, Kuglarz i Mrowiec, 2010). Međutim, treba izdvojiti ukupni fosfor čije su koncentracije u kosupstratima bile znatno veće od literaturnih. Ukupni fosfor (TP) u sva četiri uzorka imao je znatno veću vrijednost od literaturnih i zabilježeno je znatno odstupanje optimalnog omjera nutrijenata HPK:N:P = 600:7:1 (Petrović, 2009). Naime omjer HPK:TKN:TP je iznosio za:

uzorak 0        4.20 : 0.13 : 1.00,  
 uzorak 1        3.82 : 0.19 : 1.00,  
 uzorak 2        7.00 : 0.25 : 1.00,  
 uzorak 3        6.00 : 0.14 : 1.00.

Konačna produkcija i sastav bioplina, procenat redukcije HPK, suhe i isparljive organske materije po istraživanim mješavinama supstrata prikazani su u tabeli 2.

Tabela 2. Konačni rezultati anaerobne obrade mješavina supstrata

parametar	jedinica	0	1	2	3
bioplin	l	28.30	58.20	25.20	25.50
CH <sub>4</sub>	%	67.67	69.54	24.50	64.64
CO <sub>2</sub>	%	31.19	28.88	73.31	32.69
O <sub>2</sub>	%	0.14	0.30	0.57	1.30
N <sub>2</sub>	%	0.62	1.00	1.30	1.28
redukcija HPK	%	53.73	56.48	34.71	69.85
redukcija TS	%	43.68	54.38	48.11	45.30
redukcija VS	%	40.05	52.62	24.13	34.81

Na osnovu konačnih rezultata eksperimenta prikazanih u tabeli 2. veoma jasno je da kosupstrat 1 predstavlja optimalnu mješavinu, u odnosu na ostale mješavine supstrata koji su korištene u ovom radu. Naime, za ovu mješavinu supstrata zabilježena je najveća produkcija bioplina i udio metana. Pored toga zabilježen je i najveći stepen redukcije HPK, suhe i organske materije u odnosu na ostale uzorke.

Mješavine 2 i 3, bez dodatne pripreme, daju manje prinose metana i bioplina od kontrolnog supstrata 0, tako da nije opravdano dodavanje kuhinjskog i otpada od prerade od voća i povrća otpadnom mulju.

## ZAKLJUČAK

Kako je anaerobna digestija proces koji se odvija složenim biološkim reakcijama pod dejstvom različitih vrsta mikroorganizama, očigledno je da se u reaktorima 0 i 1 nalazi pogodnija podloga za rad ovih mikroorganizama, što je i logično jer ti kosupstrati sadrže i mikroorganizme iz probavnog trakta ljudi i životinja.

Najveći kumulativni prinos bioplina u iznosu od 30.88 l i metana (19.35 l) produciran je iz sirovine dobijene miješanjem otpadnog mulja i peradarskih ekskremenata, tako da se dodavanjem ove vrste organskog otpada doprinijelo poboljšanju karakteristika otpadnog mulja.

Iako se nije pokazalo efikasno formiranje mješavina 2 i 3 po pitanju poboljšanja karakteristika otpadnog mulja i veće produkcije bioplina, kosupstrat 3 se može formirati u cilju zbrinjavanja otpada anaerobnim tretmanom, dok je u kosupstratu 2 evidentno došlo do inhibicije procesa.

Dobijeni kumulativni prinos bioplina (28.30 l) i metana (13.03 l) u kontrolnom supstratu mulja (0) predstavljaju veoma dobru osnovu za dalja istraživanja anaerobnih procesa, koji će kao jednu od sirovina koristiti otpadni mulj.

## LITERATURA

1. Al Seadi, T., Rutz, D., Prassl, H., Kottner, M., Finsterwalder, T., Volk, S., Janssen, R. (2008). Priručnik za bioplin, Intelligent Energy Europe.
2. Ara, E. (2012). Anaerobic Co-digestion of Organic Fraction of Municipal Solid Waste and Municipal Sludge With and Without Microwave Pre-treatment. Ph. D. Thesis.
3. BAS EN ISO 6878 (2006). Određivanje fosfora - Spektrometrijska metoda sa amonij molibdatom.
4. BAS ISO 6060 (2000). Određivanje hemijske potrošnje kisika.
5. Bouallagui, H., Touhami, Y., Ben Cheikh, R., Hamdi, M. (2005). Bioreactor performance in anaerobic digestion of fruit and vegetable wastes. Elsevier, Process Biochemistry 40, 989–995.
6. Chen, Y., Cheng, J.J., Creamer, K.S. (2008). Inhibition of anaerobic digestion process: A review. Bioresource Technology 99 4044–4064.
7. Clesceri, L., Eaton, A., Greenberg, A. (1998). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 20<sup>th</sup> edition. APHA, Washington, DC, USA.
8. DIN 38 414-S1-1986-11 (1986). Analyses of Water, Drinking Water, Waste Water, Sludge, Sediments and Residues.
9. Eaton, A., Greenberg, A., Rice, E., Clesceri, L. (2005). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 21<sup>th</sup> edition. APHA, Washington, DC, USA.
10. Hashimoto, A.G. (1983). Thermophilic and mesophilic anaerobic fermentation of swine manure. Agric. Wastes 6, 175–191.
11. ISO 11464:1994 (1994). Kvalitet tla-Predtretman uzoraka za fizičko-hemijske analize.
12. Kiyohara, Y., Miyahara, T., Mizuno, O., Noike, T., and Ono, K. (2000) A Comparative Study of Thermophilic and Mesophilic Sludge Digestion. Journal of the Chartered Institution of Water and Environment Management, 14(2), 150-154.
13. Komatsu, T., Kudo, K., Inoue, Y., Himeno, S. (2004). Anaerobic codigestion of sewage sludge and rice straw. Environmental Engineering Research, Vol.41, 495-501.
14. Kroeker, E.J., Schulte, D.D., Sparling, A.B., Lapp, H.M. (1979). Anaerobic treatment process stability. J. Water Pollut. Control Fed. 51, 718–727.
15. Lebiocka, M., Piotrowicz, A. (2012). Co-digestion of sewage sludge and organic fraction of municipal solid waste. a comparison between laboratory and technical scales. Environment Protection Engineering, Vol. 38, No 4.
16. Ljubisavljević, D., Đukić, A., Babić B. (2004), Prečišćavanje otpadnih voda, Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu.



17. Miron, Y., Zeeman, G., van Lier, J.B., Lettinga, G. (2000). The role of sludge retention time in the hydrolysis and acidification of lipids, carbohydrates and proteins during digestion of primary sludge in CSTR systems, *Wat. Res.*, 34(5), 1705-1713.
18. Muršec, B., Vindiš, P. (2009). Building of a mini digester for mesophilic anaerobic digestion, *Tehnički vjesnik* 16, 4, 115-118. Strojarski fakultet u Slavskom Brodu.
19. Nielsen, H.B.(2006). Control parameters for understanding and preventing process imbalances in biogas plants: Emphasis on VFA dynamics. Ph.D. Thesis, BioCentrum-DTU, Technical University of Denmark, Denmark.
20. Osorio, F., Torres, J.C. (2009). Biogas purification from anaerobic digestion in a wastewater treatment plant for biofuel production *Renewable Energy*.
21. Petrović, P., Petrović, N., Kesić, M., Mladenović, M., Bordoški, V. (2009). Razvoj postrojenja za proizvodnju biogasa u malim poljoprivrednim seoskim farmama, program Savetovanje: „Energetika 2009“
22. Simičić, H. (2002). Procesi obrade otpadnih voda, JU javna biblioteka Lukavac/NVO EKO-ZELELNI Tuzla.
23. Stuhli, V., Selimbašić, V., Pelemiš D., Iličković, Z., Tanjić, I., Redžić, E., Mekanović, M. (2012). The possibility of applying sewage sludge treatment plant for treatment of waste water of Srebrenik in process of anaerobic digestion (production of biogas). *Technologica Acta* 5(1), 9-17.(ISSN:1840-0426, print; 2232-7568, online).
24. van Lier, J.B., Rebac, S., Lettinga, G.(1997). High-rate anaerobic wastewater treatment under psychrophilic and thermophilic conditions. *Water Sci. technol.* 35 199-206.
25. Wang, F., Hidaka, T., Uchida, T., Tsu Kuglarz, M., Mrowiec, B. (2010). Co - digestion of municipal biowaste and sewage sludge for biogas production, University of Bielsko –Biala, Poland mori, J. (2014). Thermophilic anaerobic digestion of sewage sludge with high solids content. *Water Sci Technol.* 2014; 69(9):1949-55.
26. Zeeman G., Sanders W.T.M., Wang K.Y., Lettinga G. (1997). Anaerobic treatment of complex wastewater and waste activated sludge- Application of an upflow anaerobic solids removal reactor (UASR) for the removal and pre-hydrolysis of suspended COD, *Wat.Sci.Tech.* 35, 121-128.