Sadržaj biogenih i drugih elemenata u ostatku posle fermentacije u biogas postrojenju

Miloš Tešić • Rudolf Kastori • Ivana Maksimović • Mathias Effenberger •
Đorđe Đatkov • Marina Putnik Delić

received: 11 September 2012, accepted: 28 November 2012

© 2012 IFVC

doi:10.5937/ratpov49-2548

Izvod: U korišćenju obnovljivih izvora energije biomasi pripada značajno mesto. Biomasa može da se koristi na različite načine za proizvodnju energije, jedan od njih je putem biogasa. U cilju utvrđivanja fertilizacione vrednosti ostatka koji preostaje posle fermentacije u biogas postrojenju ispitana su neka hemijska svojstva i sadržaj neophodnih makro- i mikroelemenata u ostatku. Ispitivanja su vršena u ostatku nakon fermentacije u četiri postrojenja u kojima su korišćeni različiti supstrati za proizvodnju biogasa. Hemijski sastav ostatka zavisio je od polaznog materijala. Sadržaj suve materije u tečnom ostatku kretao se od 4,83 do 6,82%, pH od 7,80 do 8,20, sadržaj organske materije u suvoj materiji tečnog ostatka od 72,33 do 80,30%, mineralne materije od 19,70 do 27,67%, azota od 2,84 do 3,92%, fosfora od 0,51 do 0,62%, kalijuma od 5,07 do 6,86%, kalcijuma od 1,77 do 2,35% i magnezijuma od 0,26 do 0,30%. Sadržaj ispitivanih neophodnih mikroelemenata (Fe, Cu, Mn, Zn i Ni) i Cd i Pb kretao se u granicama koje se navode za suhu materiju stajnjaka. Sadržaj ispitivanih teških metala bio je značajno niži od MDK u suvoj materiji sredstava za ishranu bilja.

Glavne reči: biogas postrojenje, ostatak posle fermentacije, hemijska svojstva, biogeni elementi, teški metali

Uvod

Sve veća potreba za energijom i cena energenata, kao i narasla ekološka svest, podsticali su istraživanja u pravcu iznalaženja alternativnih, obnovljivih i ekološki prihvatljivijih izvora energije. Među obnovljivim izvorima energije, biomasa zauzima veoma značajno mesto (Mihajlović 2006, Dinya 2010, Weih 2012). Teoretski, globalni energetski potencijal biomase naše planete procenjuje se na 2900×10^{18} J.

M. Tešić • Đ. Đatkov
University of Novi Sad, Faculty of Technical Sciences,
Trg D. Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Serbia

R. Kastori • I. Maksimović • M. Putnik Delić
University of Novi Sad, Faculty of Agriculture,
Trg D. Obradovića 8, 21000 Novi Sad, Serbia
e-mail: kastori@polj.uns.ac.rs

M. Effenberger
Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft,
Institut für Landtechnik und Tierhaltung, Freising,
Vöttinger Str. 36, Germany

Korišćenje biomase kao energenta, sa ekološkog stanovišta, mnogo je povoljnije u odnosu na fosilna goriva, pošto pored ostalog njegovo korišćenje ne utiče na porast koncentracije ugljen-dioksida u atmosferi. Biomasa može da se koristi posredno ili neposredno pomoću različitih tehnoloških postupaka za dobijanje energije: proizvodnjom biometanola, biodizela, biogasa (biometan) ili neposrednim spaljivanjem (Bai 2011). Korišćenje biomase za dobijanje energije putem biogas postrojenja u velikoj je ekspanziji, pored ostalog i zato što se za tu svrhu mogu koristiti brojni proizvodi i nusproizvodi poljoprivrede i prehrambene industrije kao što su: tečni i čvrsti stajnjak domaćih životinja, silaža i zrno kukuruza i strnih žita, zelena biljna masa, otpad klanične industrije, i dr. Biogas može na

Acknowledgement: This study was carried out with funding from the Serbian Ministry of Education, Science and Technological Development, project TR - 31066 „Modern breeding of small grains for recent and future needs“.

različite načine da se koristi za dobijanje energije. Investitori, većinom poljoprivredna gazdinstva, proizvedeni biogas koriste kao gorivo za pogon motora sa unutrašnjim sagorevanjem koji je spojen sa generatorom. On proizvodi električnu energiju koja se po povlašćenoj ceni isporučuje u javnu mrežu. Zahvaljujući do sada stečenom pozitivnom iskustvu u vezi sa korišćenjem biogas postrojenja i velikoj količini biomase kod nas (Ilić et al. 2004, Jovanović & Kis 2004), u Vojvodini će ove i naredne godine početi izgradnja i eksploatacija nekoliko biogas postrojenja. Nakon fermentacije, u biogas postrojenju ostaje prevreli supstrat čija je količina približno ravna količina koja je uneta u proces.

Cilj ovih proučavanja je bio da se ispita fertilizaciona vrednost ostatka posle fermentacije u biogas postrojenju, sadržaj organske materije, biogenih i drugih elemenata u ostatku. Sastav ostatka posle fermentacije zavisi, pre svega, od korišćenog polaznog materijala u proizvodnji biogasa, kao i od primenjene tehnologije. Stoga smo smatrali da bi bilo interesantno da se ispita sastav ostatka posle fermentacije u biogas postrojenju, pri korišćenju različitih polaznih materijala.

Materijal i metode

Materijal

Kroz saradnju Fakulteta tehničkih nauka u Novom Sadu i Bavarskog državnog zavoda za poljoprivredu u Feisingu, Nemačka (Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft) ispitani su uzroci posle fermentacije iz 4 biogas postrojenja u Bavarskoj, pri čemu se svako eksploatise više od 3 godine. Biogas postrojenja rade na osnovu proizvodnje metana anaerobnom fermentacijom (Schattauer & Weiland 2006a).

Polazni materijal pre fermentacije, radi proizvodnje biogasa, u ispitivanim uzorcima bio je sledeći (t/dan):

- uzorak A: tečni stajnjak goveda 17,0, izmet kokošaka 0,9, silaža od nadzemnog dela kukuruza i livadske trave 30,7 i zrno pšenice 2,0, ukupno 50,6.

- uzorak B: tečni stajnjak goveda 6,6, čvrsti stajnjak goveda 3,5, silaža livadske trave 2,0, zrno pšenice 0,2, ukupno 12,3.

- uzorak C: tečni stajnjak od goveda 6, silaža od cele biljke kukuruza 1,6, silaža od livadske trave 0,9, iseckane cele biljke raži u zelenom stanju 2,6, silaža od cele biljke pšenice 2,9 i zrno pšenice 0,5, ukupno 14,6.

- uzorak D: silaža od cele biljke kukuruza 2,0, silaža livadske trave 0,3, mlevenog klipa kukuruza sa komušinom 0,3, čvrstog stajnjaka od goveda 0,6, tečnog stajnjaka od goveda 11,0, ukupno 14,2.

Metode

Uzorci ostatka posle fermentacije bili su u tečnom (žitkom) stanju. Posle homogenizacije električnom mešalicom određena je reakcije ostatka pomoću pH metra. Sadržaj suve materije određen je sušenjem do konstantne mase. Sadržaj organske materije utvrđen je računskim putem na osnovu sadržaja pepela u suvoj materiji uzoraka. Udeo pepela utvrđen je sagorevanjem materijala na 550°C, ukupnog azota metodom Kjeldahla, a fosfora vanadat-molibdat postupkom spektrofotometrijski. Sadržaj ostalih ispitivanih elemenata određen je pomoću atomskog apsorpcionog spektrometra nakon spaljivanja uzoraka suvim putem. Vrednosti izmerenih parametara su obračunate na suhu materiju da bi se mogle porediti međusobno i sa stajnjakom, pošto je sadržaj vode u uzorcima bio različit.

Rezultati su statistički obrađeni analizom varijanse i LSD *post hoc* testom ($p = 0.05$) koristeći softvere Statistica 9.0 (StatSoft, University Licence, University of Novi Sad, 2010) i Excell (Microsoft Inc.).

Rezultati i diskusija

Hemijska svojstva i sadržaj biogenih makroelemenata u ostatku posle fermentacije zavisio je od sastava polaznog materijala koji je korišćen u proizvodnji biogasa (Tab. 1). Sadržaj suve materije u tečnom ostatku kretao se od 4,83 do 6,82%. U toku procesa fermentacije usled razgradnje ugljenih hidrata organske materije u metan i ugljen-dioksid smanjuje se sadržaj suve materije u polaznom materijalu za 24 do 80% (Amon & Döhler 2006).

Velika slova se odnose na prag značajnosti od 5%, a mala na 1% / Capital letters correspond to significance level of 5%, and lower case letters to significance level of 1%

U osoci goveda u proseku se razgrađuje 30-40% organske materije, svinja 40-50% i živine 45-65%. Razgradnja biljnog materijala je intenzivnija od osoke i stajnjaka. Reakcija tečnog ostatka bila je slabo alkalna. Smatra se da u toku metan fermentacije dolazi do neznatnog povećanja pH vrednosti. Sadržaj organske

Tabela 1. Neka hemijska svojstva i sadržaj biogenih makroelemenata u ostatku posle fermentacije
Table 1. Some chemical properties and content of essential macroelements in the residue remaining after fermentation

Polazni supstrat The initial substrate	Ostatok			U suvoj materiji tečnog ostatka In dry matter of liquid residue %					
	Suva materija Dry matter %	pH	Organska materija Organic matter	Mineralna materija Mineral matter	N	P	K	Ca	Mg
A	6,82 ^{Aa}	7,80 ^{Bb}	80,30 ^{Aa}	19,70 ^{Dd}	3,03 ^{Bb}	0,62 ^{Aa}	5,07 ^{Bb}	1,77 ^{Cb}	0,26 ^{Bb}
B	4,83 ^{Bb}	7,82 ^{Bb}	74,37 ^{Cc}	25,63 ^{Bb}	3,92 ^{Aa}	0,54 ^{Cb}	6,86 ^{Aa}	2,13 ^{Ba}	0,30 ^{Aa}
C	6,29 ^{Aab}	8,20 ^{Aa}	75,88 ^{Bb}	24,11 ^{Cc}	2,84 ^{Bb}	0,51 ^{Dc}	6,24 ^{Aab}	2,22 ^{ABa}	0,28 ^{Bab}
D	6,25 ^{Aab}	7,80 ^{Bb}	72,33 ^{Dd}	27,67 ^{Aa}	2,92 ^{Bb}	0,60 ^{Ba}	6,77 ^{Aa}	2,35 ^{Aa}	0,27 ^{Bb}
LSD _{0,05}	1,105	0,228	0,268	0,261	0,200	0,020	1,042	0,200	0,020
LSD _{0,01}	1,675	0,345	0,406	0,395	0,303	0,030	1,579	0,303	0,030

materije u suvom ostatku posle fermentacije bio je manji nego u suvoj materiji stajnjaka, što je takođe posledica razgradnje organske materije u toku fermentacije (Tab. 2).

Nasuprot tome, sadržaj mineralnih materija bio je značajno veći nego u stajnjaku. Visok sadržaj mineralnih materija u ostatku jednim delom je rezultat razgradnje i time smanjenja sadržaja organske materije u suvoj materiji ostatka. Pored toga, u toku fermentacije kao polazni materijal korišćen je i biljni materijal. U toku varenja životinje iz biljne hrane usvajaju određenu količinu mineralnih materija, usled čega se njihov sadržaj u stajnjaku smanjuje. Sadržaj ukupnog azota, fosfora, kalijuma, kalcijuma i

magnezijuma u toku fermentacije se ne menja. Deo azota i fosfora u toku fermentacije se prevodi u neorganski, za biljke pristupačniji oblik (Amon & Döhler 2006). Sadržaj azota, fosfora i kalcijuma, a naročito kalijuma, bio je veći u suvoj materiji tečnog ostatka posle fermentacije nego u suvoj materiji stajnjaka konja i goveda, donekle i stajnjaka svinja. Na osnovu dobijenih rezultata hemijske analize ostatka posle fermentacije pri proizvodnji biogasa može se pretpostaviti da je fertilizaciona vrednost ostatka slična stajnjaku.

Sa poljoprivrednih zemljišta u procesu denitrifikacije oslobađaju se NO, N₂O i N₂. Muehling et al. (2012) su uporedili emisiju N₂O pri upotrebi ostatka posle proizvodnje biogasa i

Tabela 2. Hemijski sastav konjskog, goveđeg i svinjskog stajnjaka (Aigner 1978)

Table 2. The chemical composition of the equine, bovine and swine manure

Stajnjak Manure	Suva materija Dry matter %	U suvoj materiji svežeg stajnjaka In dry matter of fresh manure, %						
		Organska materija Organic matter	Mineralna materija Mineral matter	N	P	K	Ca	Mg
Konjski Equine	28,70	88,50	11,50	2,09	0,42	1,53	0,63	0,31
Govedi Bovine	23,70	89,43	10,57	1,76	0,39	1,85	1,41	0,26
Svinjski Swine	20,00	90,00	10,00	2,75	1,65	2,10	1,95	0,60

drugih organskih i mineralnih đubriva u poljskim uslovima. Utvrđeno je da je emisija N_2O pri upotrebi organskih đubriva signifikantno veća nego pri korišćenju mineralnih đubriva. Gubitak azota putem denitrifikacije u povoljnim agroekološkim uslovima i odgovarajućoj primeni agrotehničkih mera ne utiče značajnije na bilans azota u zemljištu. Međutim, emisija pomenutih gasova NO i N_2O zasluhuje pažnju sa ekološkog stanovišta zagađivanja atmosfere.

U ostatku posle fermentacije ispitan je i sadržaj biogenih mikroelemenata i nekih mikroelemenata sa pretežno toksičnim dejstvom (Tab. 3). Poznavanje njihovog sadržaja značajno je sa stanovišta ishrane biljaka i očuvanja životne sredine. Ovo utoliko pre što većina mikroelemenata spada u teške metale, čija veća koncentracija deluje toksično na žive organizme (Kastori et al. 1997, Vapa & Vapa 1997). Mikroelementi ne podležu biološkoj razgradnji. Usled razgradnje organske materije samo se njihov relativni udeo u ostatku povećava. U ispitivanim uzorcima sadržaj neophodnih mikroelemenata imao je sledeći redosled: $Fe > Zn > Mn > Cu > Ni$. U proseku u biljkama sadržaj Mn je veći od sadržaja Zn (Marschner 1995), što ukazuje da on u ostatku posle fermentacije delom potiče i iz drugih izvora. Sadržaj neophodnih mikroelemenata statistički se značajno razlikuje između ispitivanih uzoraka i kreće se u relativno uskim granicama, izuzev sadržaj bakra u uzorku C. Sadržaj mikroelemenata sa pretežno toksičnim dejstvom, pre svega Cd , bio je u ispitivan uzorcima statistički jednak, dok je sadržaj Pb takođe u uzorku C bio značajno veći nego u drugim uzorcima.

Velika slova se odnose na prag značajnosti od 5%, a mala na 1% / Capital letters correspond to significance level of 5%, and lower case letters to significance level of 1%

Mikroelementi dospevaju u ostatak posle fermentacije pre svega preko hrane i raznih dodataka koji se primenjuju u ishrani domaćih životinja i biljaka. U organskim đubrivima deo Cd a i drugih mikroelemenata Cu i Zn može da potiče iz mineralnih aditiva u stočnoj hrani (Gupta & Charles 1999, Nicholson et al. 1999, Vapa & Vapa 1997). Nakupljanju Cd u biljkama, a time i u organskom đubrivu, može da doprinosi primena fosfornih đubriva koja se odlikuju povećanim sadržajem ovog elementa (Zeremski-Škorić et al. 2010). Međutim, nije u svim slučajevima utvrđeno povećanje sadržaja Cd u zemljištu i biljkama pri primeni fosfornih đubriva (Bogdanović et al. 1999). Pristupačnost mikroelemenata u zemljištu za biljke u velikoj meri zavisi od hemijske reakcije zemljišta i većina je pristupačnija u kiselj sredini (Tyler & Olsson 2001), čime se jednim delom može objasniti različito nakupljanje Cd u biljkama pri upotrebi fosfornih đubriva na zemljištima različite pH vrednosti. Sadržaj mikroelemenata u stajnjaku pre svega zavisi od njihovog prisustva u stočnoj hrani. Međutim, do povećanja njihovog sadržaja može doći i primenom raznih hemijskih sredstava u stočarskoj proizvodnji, zagađenom vodom i dr.

Sadržaj mikroelemenata u stajnjaku i u drugim supstratima koji se koriste za dobijanje biogasa kreće se u širokim granicama (Schattauer & Weiland 2006b). Sadržaj ispitivanih neophodnih mikroelemenata u ostatku posle fermentacije

Tabela 3. Sadržaj mikroelemenata u ostatku posle fermentacije

Table 3. The content of microelements in the residue remaining after fermentation

Polazni supstrat The initial substrate	U suvoj materiji tečnog ostatka In dry matter of liquid residue, mg/kg						
	Fe	Cu	Mn	Zn	Ni	Cd	Pb
A	686,3 ^{Bb}	26,54 ^{Bb}	113,0 ^{Bb}	126,6 ^{Cb}	1,92 ^{Cb}	0,16 ^{Aa}	1,10 ^{Cb}
B	746,7 ^{Bb}	41,59 ^{Bb}	156,1 ^{Aa}	208,2 ^{ABab}	2,30 ^{Bb}	0,14 ^{Aa}	1,18 ^{Cb}
C	685,7 ^{Bb}	567,4 ^{Aa}	166,9 ^{Aa}	265,8 ^{Aa}	3,92 ^{Aa}	0,16 ^{Aa}	9,49 ^{Aa}
D	915,0 ^{Aa}	56,68 ^{Bb}	128,3 ^{Bb}	145,0 ^{BCb}	2,25 ^{BCb}	0,14 ^{Aa}	2,19 ^{Bb}
LSD _{0.05}	86,34	42,52	15,79	77,45	0,346	0,020	0,761
LSD _{0.01}	130,80	62,42	23,92	117,30	0,524	0,030	1,153

Tabela 4. Sadržaj teških metala u stajnjaku, kompostu i đubrivu organskog porekla, mg/kg
Table 4. The content of heavy metals in manure, compost and organic fertilizer, mg/kg

Element / Element	*Alloway 1990	*Kabata- Pendias 2001	**Službeni list ** Official Gazette 2002	Element Element	*Alloway 1990	*Kabata- Pendias 2001	**Službeni list ** Official Gazette 2002
Zn	15-566	15-250	210	As	3-25	3-25	10,0
U	2,4	–	–	Pb	1,1-27	6,6-15	70,0
Hg	0,01-0,36	0,09-0,2	0,7	Ni	2,1-30	7,8-30	42,0
Cu	2-172	2-60	70,0	Mn	30-969	30-550	–
Cr	1,1-55	5,2-55	1,0	Co	0,8-24	0,3-24	50,0
Cd	0,1-0,8	0,3-0,8	0,7	Mo	0,05-3	0,05-3	10,0

*Stajnjak; **MDK teških metala (mg/kg SM) u kompostu i u đubrivima organskog porekla za upotrebu u organskoj proizvodnji (Službeni list SRJ, br. 51, 2002)

*Manure; **MDA of heavy metals (mg/kg DM) in compost and organic fertilizers for use in organic production (Official Gazette SRJ, No. 51, 2002)

nalazi se u granicama vrednosti koje se navode za stajnjak, kompost i đubriva organskog porekla, izuzev sadržaja bakra u uzorku C koji je bio znatno veći (Tab. 4).

Isto se odnosi i na sadržaj potencijalnih zagađivača životne sredine teških metala Cd i Pb. Vrednosti MDK koje se navode u Službenom listu SRJ 2002. mogu da posluže samo kao orijentacija, pošto su prestale da važe za Srbiju. U Službenom glasniku RS br. 78, 2009. objavljene su MDK vrednosti za neke teške metale u sredstvima za ishranu bilja i oplemenjivačima zemljišta koje se mogu uneti u zemljište u vremenskom periodu od dve godine (mg kg^{-1} SM) i to za: Pb 50, Cd 1, Cr 70, Ni 70, i Hg 0,5. Ove vrednosti su takođe znatno veće od utvrđenih u ostatku posle fermentacije.

Zaključak

Hemijski sastav ostatka posle fermentacije u biogas postrojenju zavisio je od korišćenog polaznog materijala. Sadržaj organske materije u suvoj materiji tečnog ostatka posle fermentacije bio je manji, a sadržaj ukupnih mineralnih materija, zatim azota, fosfora, kalijuma i kalcijuma je bio veći od njihovog uobičajenog udela u suvoj materiji stajnjaka. Sadržaj suve materije u tečnom ostatku bio je manji nego u stajnjaku, a njena reakcija je bila slabo alkalna. Sadržaj neophodnih mikroelemenata i teških metala kadmijuma i olova kretao se u granicama koje se navode za stajnjak i bio je značajno ispod MDK u sredstvima za ishranu biljaka.

Na osnovu navedenog može se zaključiti da se ostatak posle fermentacije u biogas postrojenju odlikuje hemijskim osobinama koje ga čine podesnim organskim đubrivom ne samo u uobičajenoj, nego i u organskoj biljnoj proizvodnji. Pošto sastav ostatka, sadržaj neophodnih elemenata i druga svojstva zavise od korišćenog polaznog materijala u cilju njegovog racionalnog korišćenja kao đubrivo nameće se potreba da se sastav ostatka utvrdi za svaki polazni materijal. U daljim ispitivanjima bilo bi potrebno u realnim, poljskim uslovima ispitati fertilizacionu vrednost ostatka u određenim agroekološkim uslovima i pri gajenju pojedinih biljnih vrsta. Korišćenje biomase u cilju proizvodnje energije sa ekološkog stanovišta je mnogo povoljnije nego njegovo sagorevanje, pošto se pri tome sačuva značajan deo organske i mineralne materije.

Literatura

- Aigner, H. (1978). Faustzahlen für Landwirtschaft und Gartenbau. (str. 341). Landw: Verlag GmbH, Münster-Hiltrup.
- Alloway, B.J. (1990). Heavy metals in soils. London-Glasgow, itd.: Blackie Academic and Professional.
- Amon, T., & Döhler, H. (2006). Qualität und Verwertung des Gärrestes. U Handreichung Biogasgewinnung und-nutzung, Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. Gülzow. (str. 153-165).
- Bai, A. (2011). Újabb generációs bioüzemanyagok perspektívái. Magyar Tudomány, 7, 712-720.
- Bogdanović, D.M., Ubavić, M., & Čuvarđić, M.S. (1999). Effect of phosphorus fertilization on Zn and Cd contents in soil and corn plants. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 54(1), 49-56. doi:10.1023/A:1009779415919

- Dinya, L. (2011). Biomassza-alapú energiatermelés és fenntartható energiagazdálkodás. Magyar Tudomány, 8, 912-925.
- Gupta, G., & Charles, S. (1999). Trace elements in soils fertilized with poultry litter. Poultry Science, 8, 1695-1698.
- Ilić, M., Grubor, B., & Tešić, M. (2004). The state of biomass energy in Serbia. Thermal Science, 8(2), 5-20. Preuzeto sa <http://scindeks.ceon.rs/article.aspx?artid=0354-9836040200510>
- Jovanović, M., & Kiš, F. (2004). Poljoprivreda kao proizvođač energije. Letopis naučnih radova Poljoprivrednog fakulteta Novi Sad, 28(1), 171-181. Preuzeto sa <http://scindeks.ceon.rs/article.aspx?artid=0546-82640401171J0>
- Kabata-Pendias, A.H., & Pendias, H. (2001). Trace elements in soils and plants. London . New York . Washington: CRC Press, Boca Raton.
- Kastori, R.R., Petrović, N.M., & Arsenijević-Maksimović, I.V. (1997). Teški metali i biljke. U R. Kastori (Ur.), Teški metali u zemljištu. (str. 195-258). Novi Sad: Naučni institut za ratarstvo i povrtarstvo; Novi Sad: Feljton.
- Marschner, H. (1995). Mineral nutrition of higher plants. London: Academic Press.
- Mihajlović, E. (2006). Biomass as potential renewable energy resource. Revija agronomska saznanja, 16, 27-30.
- Muehling, K., Koester, J., Senbayram, M., Rohwer, M., & Ditter, K. (2012). Influence of biogas residue and mineral fertilizer application on nitrous oxide release from agricultural soils. U: Plant Biology Congress, EPSO, FESPB, Freiburg, Germany. 177.
- Nicholson, F.A., Chambers, B.J., Williams, J.R., & Unwin, R.J. (1999). Heavy metal contents of livestock feeds and animal manures in England and Wales. Bioresource Technology, 7(1), 23-31.
- Schattauer, A., & Weiland, P. (2006a). Grundlagen der anaeroben Fermentation. U Handreichung Biogasgewinnung und-nutzung, Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. Gülzow. (str. 25-35).
- Schattauer, A., & Weiland, P. (2006b). Beschreibung ausgewählter Substrate. U Handreichung Biogasgewinnung und-nutzung, Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. Gülzow. (str. 86-96).
- Tyler, G., & Olsson, T. (2001). Plant uptake of major and minor elements as influenced by soil acidity and liming. Plant and Soil, 230(2), 307-321. doi:10.1023/A:1010314400976
- Vapa, M., & Vapa, L. (1997). Teški metali i životinjski svet. U R. Kastori (Ur.), Teški metali u životnoj sredini. (str. 259-296). Novi Sad: Naučni institut za ratarstvo i povrtarstvo.
- Weih, M. (2012). Perennial biomass crops: Breeding research in Salix integrating ecology, physiology and genetics. Plant Biology Congress, EPSO, FESPB, Freiburg, Germany. 132.
- Zeremski-Škorić, T., Ninkov, J., Sekulić, P., Milić, S., Vasin, J., Dozet, D., & Jakšić, S. (2010). Sadržaj teških metala u odabranim đubrivima koja su u upotrebi u Srbiji. Ratarstvo i povrtarstvo, 47(1), 281-287. Preuzeto sa <http://scindeks.ceon.rs/article.aspx?artid=1821-39441001281Z0>

Content of the Essential and Other Elements in Residues Left Over After Fermentation in a Biogas Plant

Miloš Tešić • Rudolf Kastori • Ivana Maksimović • Mathias Effenberger •
Đorđe Đatkov • Marina Putnik Delić

Summary: The chemical composition of the residues left over after fermentation in a biogas plant depended on the source material that was used. The dry matter content in the liquid residue ranged from 4.83 to 6.82%, pH from 7.80 to 8.20, whereas the content of organic matter in the dry matter of the liquid residue varied from 72.33 to 80.30%. Ash content varied from 19.70 to 27.67%, nitrogen from 2.84 to 3.92%, phosphorus from 0.51 to 0.62%, potassium from 5.07 to 6.86%, calcium from 1.77 to 2.35%, and magnesium from 0.26 to 0.30%. Concentrations of essential micronutrients (Fe, Cu, Mn, Zn and Ni) and Cd and Pb varied within the limits laid out to dry matter of manure. Concentrations of heavy metals were significantly lower than the MAC in the dry matter of fertilizers. Based on the above it can be concluded that the residue left over after fermentation in a biogas plant is, by its chemical properties, suitable organic fertilizer that may be used not only in conventional but also in organic crop production.

Key words: biogas plant, residues left over after fermentation, chemical characteristics, essential elements, heavy metals