

DOPRINOS ZAŠTITI ŽIVOTNE SREDINE KORIŠĆENJEM BIOGASA

CONTRIBUTION TO ENVIRONMENTAL PROTECTION BY USAGE OF BIOGAS

Mr Mathias EFENBERGER¹, dr Andreas GRONAUER¹, mr Maša BUKUROV²

¹ Istraživački zavod za poljoprivredu - Landesanstalt für Landwirtschaft Institut für Landtechnik, Bauwesen und Umwelttechnik, 85354 Freising, Deutschland

² Fakultet tehničkih nauka, 21000 Novi Sad, Trg Dositeja Obradovića 6

REZIME

U poređenju sa tehnikama proizvodnje električne struje iz drugih obnovljivih i fosilnih biogenih energenata, korišćenjem biogasa iz osoke ostvaruje se znatno smanjenje emisije CO₂. Brojni pozitivni sporedni efekti fermentacije omogućuju, u poređenju sa uobičajenim skladištenjem i iznošenjem neobrađene osoke, pod pretpostavkom pravilne primene u poljoprivredi, značajno manje zagađenje životne sredine. Napori istraživača i razvojnih jedinica pre svega koncentrišu se na tehnologije obrade pripreme biogasa radi njegove primene u energetske svrhe, te za pogon gorivih ćelija za efikasnu proizvodnju električne struje uz male emisije štetnih materija.

Ključne reči: biogas, ekologija.

SUMMARY

Compared to other renewable and fossil energy sources the generation of electricity from biogas derived from manure considerably abates emissions of CO₂-equivalents and cumulated energy demand. The use of digested manure also has a number of side-effects that reduce environmental impacts in comparison with conventional storage and application of untreated manure. Concerning energy recovery, research and development work focuses on technologies for the treatment of biogas and its use in fuel cells.

Key words: Biogas, Ecology.

UVOD

Biogas nastaje biohemijskim razlaganjem organskih materija uz odsustvo vazduha, takozvanom anaerobnom fermentacijom. Biogas se, uslovno zajedno sa solarnom toplotom, fotovoltaiikom, energijom vetra i energijom vode, kao i biomasom, može podvesti pod pojam solarne energije, jer svi ti nosioci energije predstavljaju na direktan ili indirektan način energiju sunca.

Udeo obnovljive energije u ukupnoj potrošnji primarne energije u svetu, koja iznosi 420.000 PJ, je 13,5%, a uglavnom ga čini tradicionalno korišćenje biomase u domaćinstvima u zemljama u razvoju. Početkom ere industrijalizacije uglavnom je dominiralo korišćenje fosilnih nosilaca energije u obliku uglja, nafte i gasa koji su još 2001. činili 79,6% u ukupnoj potrošnji primarne energije u svetu, odnosno 64,5% od ukupnih izvora energije za proizvodnju električne struje. Ozbiljniji udeo u ukupnoj proizvodnji električne struje u svetu, iz obnovljivih nosilaca energije, činila je do sada samo energija voda. Međutim udeo te energije u proizvodnji struje u svetu je od 1990 do 2001. smanjen sa 19,3 na 18,1%. Atomska energija, koja se može označiti i kao fosilna mineralna energija, 2001. godine učestvovala je sa 6,9% u svetskoj potrošnji primarne energije, a sa 17,1% u ukupnoj proizvodnji struje na svetu [1,2,3].

Tokom proteklih 50 godina potrošnja energije u svetu se upetostručila, odnosno rasla je više nego dvostruko brže od prirasta stanovništva u svetu. Procenjuje se da će potrošnja energije u zemljama u razvoju tokom sledećih 50 godina porasti za 336%, a da će se i u industrijskim zemljama skoro udvostručiti, mada će se broj stanovnika u njima smanjiti [4].

Pored svoga doprinosa održivom snabdevanju energijom, korišćenje biogasa ima i druge prednosti. Ovaj članak daje pregled relevantnih aspekata korišćenja biogasa s obzirom na zaštitu životne sredine. Korišćenje biogasa može da razvije i pozitivne socio-ekonomske efekte, kao što je na primer: povećanje korišćenja regionalno raspoloživih izvora, jačanje regija sa slabio izgrađenim strukturama i decentralizovano snabdevanje energijom, što nije predmet ovog rada.

BIOGAS - ENERGENAT U SKLADU SA PRINCIPIMA OČUVANJA ŽIVOTNE SREDINE

Cilj proizvodnje biogasa u savremenim tehničkim sistemima je dobijanje metana koji se koristi prevashodno za proizvodnju električne energije na samom mestu nastajanja. Za proizvodnju električne struje danas se uglavnom koriste blok centrale sa uobičajenim motorima sa unutrašnjim sagorevanjem. U zavisnosti od klase snage motora i generatora ostvaruju se električni stepeni korisnog dejstva između 30 i 38% [5,6]. Istovremenim iskorištavanjem snage i toplote, u zavisnosti od klase snage, može da se ostvari ukupni stepen korisnog dejstva od 70-90% pa i više, što je retko ostvarivo u praksi zbog nemogućnosti potpunog iskorišćenja raspoložive energija otpadne toplote. Biogas, kao i čvrsti i tečni biogeni nosoci energije, može da se transportuje i skladišti, što je prednost u odnosu na druge pomenute regenerativne forme energije. Zbog toga se biogas već i danas koristi i kao gorivo za vozila, a u budućnosti će nakon odgovarajuće dorade moći i da se isporučuje u javnu mrežu gasovoda.

Sadržaj energije biogasa u najvećoj meri određen je sadržajem metana u njemu. Toplotna moć je 17,9 - 26,9 MJ/Nm³. Pri uobičajenom sadržaju CO₂ od oko 35 vol % javlja se uz sadržaj metana od 5-12 vol % eksplozivna smeša sa vazduhom. Uticaj na zdravlje ima sumpor-vodonik koji se nalazi u biogasu, a u koncentraciji preko 1000 ppm za kratko vreme dovodi do smrtnog ishoda.

U Saveznoj republici Nemačkoj je 2002. godine proizvedeno 970 GWh električne energije iz biogasa, što odgovara udelu od oko 0,2% ukupne proizvodnje električne struje. Ovome treba dodati još 1500 GWh iz gasa sa deponija i 777 GWh gasa iz postrojenja za prečišćavanje [3]. Instalirana električna snaga 1900 izgrađenih postrojenja na biogas u Nemačkoj krajem 2002. godine procenjuje se na oko 250 MW [8]. Time je danas iskorišćeno samo 5% procenjenog tehničkog potencijala za proizvodnju struje od biomase (uključujući i gas iz postrojenja za prečišćavanje) [9].

Redukcija gasova koji prouzrokuju efekat staklene bašte i bilans primarne energije

Ugljen dioksid koji nastaje pri sagorevanju biogasa ne doprinosi stvaranju efekta staklene bašte, jer su biljke odgovarajuću količinu CO₂ prethodno preuzele radi svojih asimilacionih aktivnosti i vezali je u organsku masu. Do emisije metana, koji je 23 puta odgovorniji za stvaranje efekta staklene bašte nego CO₂, kod postrojenja za biogas sa zaptivenim reaktorom može da dođe samo u slučaju havarija. Postrojenje za biogas koje se pravilno eksploatiše, zbog supstitucije fosilnih nosilaca energije, smanjuje emisiju gasova i gore spomenuta negativna dejstva na životnu sredinu. Ako se prikažu i međusobno uporede proizvodnja struje korišćenjem biogasa iz osoke i iz drugih obnovljivih i konvencionalnih tehnika proizvodnje struje, dolazi se do zaključka da proizvodnja električne struje iz biogasa ima najmanju emisiju CO₂ i najmanji utrošak primarne energije (tab.1).

Kada bi proizvodnja električne struje u Nemačkoj bila sa, u ovom trenutku, uobičajenim udelom energenata (37,5% atomska energija, 28,8% mrki ugalj, 25,7% kameni ugalj, 7,3% zemni gas, 0,7% mazut), nastao bi faktor emisije 577 kg CO₂/GWh [3]. Ostvarenom proizvodnjom struje od biogasa u Nemačkoj 2002. emisija je smanjena za 560 miliona t CO₂ i oko 10 t CH₄. Pri proizvodnji biogasa veliki značaj ima način skladištenje ostataka fermentacije jer se na taj način može sprečiti dalja emisija metana, a raste i količina nastale energije. Ako se iznađe mogućnost za dodatno korišćenje toplote koja

nastaje prilikom procesa fermentacije, onda se još više poboljšava ekološki bilans korišćenja biogasa.

Energetski bilans emisija gasova koji stvaraju efekat staklene bašte u slučaju kofermentacije zavisi u velikoj meri od vrste kosupstrata. Kada se koriste kosupstrati bogati energijom, pri približno istim prethodnim investicijama za gradnju postrojenja, znatno više energije može da se dobije nego u slučaju fermentacije samo osoke. Ali u tom slučaju rastu potrebna ulaganja za transport. Pri ekološkom vrednovanju pripreme energetske biljaka kao kobsupstrata za proizvodnju biogasa javljaju se znatne razlike, pri čemu korišćenje mineralnih azotnih đubriva ima odlučujući uticaj [10].

Emisija štetnih gasova

Pri energetskom korišćenju biogasa u agregatima za spregnutu proizvodnju struje i toplote sa motorima sa unutrašnjim sagorevanjem oslobađaju se pre svega ugljen monoksid (CO), azotni oksidi (NO_x), sumpor dioksid (SO₂), kao i čestice formaldehida i nesagoreli metan. Emisije CO i NO_x srazmerne su onima koje se javljaju pri emisijama iz motora SUS u vozilima. Zbog potencijalnog sadržaja sumpora i drugih štetnih supstanci u biogasu, na motorima se praktično ne primenjuju katalizatori izduvnih gasova. Posmatrano u apsolutnim iznosima, koncentracije SO₂ u izduvnim gasovima motora pogonjenih biogasom znatno su ispod graničnih vrednosti. Emisija čadi je kod motora u kojima se sagoreva biogas, po pravilu, manja nego kod dizel motora.

Tabela 1. Poređenje različitih postupaka proizvodnje električne struje (izmenjeno prema [11])

Table 1. Comparison of different ways for electricity productions (changed according to [11])

	Varijante odnosno energenti/ Variants i.e. energents	Električna snaga/Electric power [kW]	Električni neto stepen iskorišćenja/El. netto efficiency rate [%]	Prosečno časova rada pod punim opterećenjem/ Av. op. hours under maximum load [h/a]	Životni vek/ [a]	CO ₂ ekvivalentna emisija/ CO ₂ equivalent emission [t/GWh]	Potrebna primarna energija/ Necessary primar energy [J/Wh]
A	Skladištenje i razbacivanje neobrađene osoke/ Storage and scattering of manure	-	-	-	-	0	0
B	Biogas od osoke: samo korišćenje struje, otvoreno skladište ostataka fermentacije/ Manure biogas: usage of only electricity, opened storage tank of rest materials	200	33	6000	5 ^b / 20 ^c	-18	7
C	Biogas od osoke: Korišćenje struje i korišćenje 20 % toplote kao zamena za lož ulje, otvoreno skladište ostataka fermentacije/ Manure biogas: Usage of electricity and 20% of heat instead of heating oil, opened storage tank of rest materials	200	33	6000	5 ^b / 20 ^c	-127	-1500
D	Biogas iz osoke: Korišćenje struje, zatvoren rezervoar za ostatke fermentacije sa zahvatanjem gasa iz njega/ Biogas from manure, usage of electricity, closed storage tank with biogas accumulation	200	33	6000	5 ^b / 20 ^c	-148	-43
E	Fotovoltaika/ Photovoltaic	5	-	800	30	235	3448
F	Energija vetra/ Wind energy	1500	-	1550	20	48	649
G	Čvrsta biomasa/ Solid biomass	11.500	25	8000	35	68	590
H	Geotermalna energija/ Geothermal energy	850	11 ^d	7500	30	79	1048
I	Energija vode/ Water energy	300	-	5000	70 ^e / 40 ^f	17	203
J	Kamenj ugalj/ Stone coal	700.000	43	5000	35	878	9109
K	Zemni gas/ Natural gas	400.000	58	5000	35	399	7160

ENERGETSKO I POLJOPRIVREDNO KORIŠĆENJE BIOGENIH OSTATAKA

Tehnologija biogasa omogućuje korišćenje široke palete biogenih otpadnih materijala, kao na primer osoke, ostataka iz poljoprivredne proizvodnje, komunalnog biootpada i biootpada koji nastaju u zanatstvu ili privrednoj proizvodnji, otpadaka iz prehrambene industrije itd. Iz njih se dobija upotrebljiva energija u obliku biogasa. Energija koja je potrebna za proces fermentacije relativno je mala, naročito za materijale koji su već u tečnom obliku. Čvrsti materijali mogu da se fermentuju u mešavini sa tečnim, kao što je na primer osoka. Energija potrebna za realizaciju postupka, povećava se ako su potrebne dodatne aktivnosti za pripremu mase, kao što je na primer sitnjenje ili izdvajanje materija koje mogu da štete procesu (na primer kod biološkog otpada). Kod tehnički srazmerno zahtevne fermentacije biootpada sa naknadnim razlaganjem, u poređenju sa kompostiranjem, ipak se postiže veća energija za 30-45% [12].

Problematika štetnih materijala

Uobičajeno je da se ostaci razgradnje u postrojenjima za biogas razbacuju po poljoprivrednim površinama. Prisutne štetne materije mogu da preostanu i posle procesa fermentacije i tako dospeju u lanac ishrane. Tretman potencijalno štetnih otpadaka u biogas postrojenjima treba u principu izbegavati. Teški metali se tokom procesa vrenja ne razgrađuju, nego se u odnosu na količinu suve mase njihov sadržaj još i povećava. Materijali sa potencijalno većim sadržajem organskih štetnih materija, koje se tokom fermentacije samo delimično u maloj meri razgrađuju, pre svega su biološki otpaci, masti i ulja različitog porekla (pranje rezervoara, iz restorana, iz industrije). Lako isparljive štetne materije prelaze najvećim delom u biogas i sa njim sagorevaju. O razgradnji antibiotika u biogas postrojenjima do sada skoro da i nema podataka.

Higijena

U zavisnosti od toka procesa i organizama koji su u njemu, anaerobnom obradom postiže se više ili manje, potpuno inaktiviranje patogenih mikroorganizama. U mezofilnom području (35-45°C), pre svega hemijski faktori utiču na relativno sporo uginuće mikroorganizama koji su relevantni u pogledu higijene. Za uspešnu inaktivaciju patogenih organizama potrebno je da se proces odvija u termofilnim uslovima (iznad 45°C) i da se spreči povratno klijanje. Pri temperaturama preko 55°C, tokom obrade u trajanju od 24 sata, vegetativne bakterije i mnogi virusi praktično se potpuno inaktiviraju. Pojedini virusi i paraziti međutim, mogu i ovu obradu delimično da prežive. Anaerobna fermentacija skoro da uopšte ne utiče na spore bakterija.

Nasuprot potencijalnom smanjenju koncentracije patogenih mikroorganizama pri anaerobnoj obradi biogenih ostataka i otpadaka stoje povećanje epidemiološkog rizika pri obradi stajnjaka sa više gazdinstava, a koja u jednom zajedničkom biogas postrojenju dorađuju svoj stajnjak. Higijenski rizik se povećava i ako se obrađuju ostaci životinjskog porekla, kao što su sadržaji stomaka i creva životinja u klanicama kao i masnoće i rastvarači masti iz klanica odnosno iz industrije prerade mesa, ali i otpaci iz velikih kuhinja i biosmeće [13].

Hranljive materije i vrednost – dejstvo đubriva

Pri fermentaciji sve hranljive materije uglavnom ostaju očuvane. Zbog gubitka ugljenika smanjuje se odnos C:N. U zavisnosti od sadržaja organske suve mase i postignutog stepena razgradnje, dolazi do značajnog porasta koncentracije hranljivih materija, svedeno na suhu masu. Pri razgradnji organske supstance, mineralizuju se, tu vezane, hranljive materije i prelaze u oblik koji biljke mogu da preuzmu. Naročiti značaj ima činjenica da se time povećava udeo azota koji stoji na raspolaganju biljkama u obliku amonijaka (tab.2). Ogledi za poređenje i ustanovljavanje hranljive vrednosti fermentisane i nefermentisane osoke u jednakim uslovima primene, nisu

pokazale da je došlo do povećanja prinosa, kada je korišćena fermentisana osoka. Organski lako vezan azot nefermentisanog supstrata oslobađa se u zemljištu i zato do dejstva dolazi najčešće samo sa malim zakašnjenjem u poređenju sa fermentisanim supstratom. Kod ostataka fermentacije zbog odsustva brzo razgradljivih organskih supstanci manja je opasnost od gubitka azota denitrifikacijom. Ne postoji neposredna opasnost od ispiranja azota, pošto u ostatku fermentacije nema nitrata. Raspoloživost fosfora se fermentacijom takođe povećava ali i to ima samo vrlo mali uticaj na obrazovanje prinosa [14,15].

Tabela 2. Srednje vrednosti sirove i fermentisane osoke (dorađeno prema [16])

Table 2. Mean values of crude and digested manure (in addition with [16])

	Osoka od svinja/ Pig manure		Osoka od goveda/ Cattle manure	
	sirova raw	fermen. digested	sirova raw	fermen. digested
Sadržaj suve mase /Content of dry matter [mas. %]	5,38	3,45	10,03	6,76
Sadržaj organske mase/Content of organic matter [mas. %]	3,75	2,01	7,35	4,66
pH- vrednost/pH-value	7,37	8,02	7,42	7,75
Ukupni sadržaj azota N_{uk} /Total content of nitrogen [mas. %]	0,48	0,45	0,41	0,38
Amonijačni azot /Ammoniacal nitrogen [mas. %]	0,33	0,36	0,20	0,22
Udeo amonijaka u N_{uk} /Portion of ammonia in N_{uk} [%]	68,80	80,00	48,80	57,90
Stepen razgradnje organske suve mase/Level of digestion of organic dry matter [%]	46,40		36,30	

Ostale, glavne hranljive materije i hranljive materije koje se nalaze u tragovima, a naročito ako nisu vezane na organsku supstancu, utiču vrlo malo nakon fermentacije na formiranje prinosa. Biljke koje vole kisele supstrate treba dubriti sa ostacima fermentacije samo onda ako se ustanovi da je pH vrednost odgovarajuća. Razgradnjom organskih materija povećava se koncentracija soli. O tome naročito treba voditi računa kod biljaka koje su osetljive na hlor.

Kada se na poljoprivredne površine razbacuju ostaci fermentacije nastali fermentacijom stajnjaka i obnovljivih sirovina, ostvaruje se približno zatvoren tok kruženja hranljivih materija. Ako se razgrađuju ostaci materijala koji dolazi iz nepoljoprivredne delatnosti, mogu da se unesu značajne količine hranljivih materija, o čemu treba voditi računa prilikom planiranja đubrenja. Rasterećenje bilansa hranljivih materija na poljoprivrednom gazdinstvu sa biogas postrojenjem može se ostvariti povećanjem površina, promenom načina uzgoja životinja, ishrana sa redukovanim hranljivim materijama) ili predajom ili prodajom suvišnih hranljivih materijala nekome drugome. Primenom ostataka fermentacije može delimično da se zameni intenzivno đubrenje mineralnim đubrivima. Za gazdinstva koja rade na principima ekologije, a nemaju stočarstvo, biogas postrojenje nudi dobru mogućnost da se u krugu gazdinstva postojeći azot, iz biljaka koje se uzgajaju kao međuusev, ili iz drugih biljnih ostataka, uz relativno male gubitke, iskoristi i ciljano primeni [17].

Separacijom ostatka fermentacije dobija se tečno i čvrsto đubrivo. Solima siromašna čvrsta supstanca može ili direktno da se iznosi na polje ili da se podvrgne još jednoj naknadnoj fermentaciji. Naknadnom fermentacijom, obično u mešavini sa drugim, još nekompostiranim materijalima, nastaje đubrivo koje polako deluje, a koje može da se primeni onda ako nema neposredne hitne potrebe za azotom. Tečna faza uglavnom predstavlja rastvor hranljive materije. Ona može da se iskoristi za efikasno đubrenje, kao brzi izvor azota.

Pozitivni sporedni efekti anaerobne obrade

Anaerobna obrada osoke dovodi do smanjenja supstanci intenzivno neprijatnog mirisa, kao što su fenoli i organske kiseline, i to za 30% pa i više. Ovim se, kod skladištenja i iznošenja fermentovane osoke, u poređenju sa nefermentovanom osokom, smanjuju emisije neprijatnog mirisa. Jedno biogas postrojenje može da dovede do pojačanog opterećenja neprijatnim mirisima samo kada se primenjuju kosupstrati koji imaju intenzivan neprijatan miris (na primer izdvajajući masti, otpaci jestivog ulja, biootpaci). Pravilnom isporukom, prijemom, skladištenjem i unošenjem, po mogućnosti u zatvoreni sistem, problemi sa neprijatnim mirisima mogu da se smanje. Izlaz gasa u atmosferu u slučaju kvarova rada postrojenja na biogas kao i u slučaju nedovoljnog stepena razgradnje mogu takođe da dovedu do opterećenja neprijatnim mirisima. Razgradnja organske suve mase i u osoki sadržanih sluzavih materija dovodi do povećane tečljivosti ostatka fermentacije. Povećana tečljivost, u slučaju poljoprivredne primene, dovodi do bržeg prodiranja ostataka fermentacije do biljaka i time do manjeg prljanja krmiva kod krmnih biljaka. Brže prodiranje ostataka fermentacije smanjuje potencijalne emisije amonijaka i neprijatnog mirisa. U svakom slučaju obrađena osoka ima povećan sadržaj amonijaka zbog mineralizacije organskog azota i povećanja pH vrednosti. Amonijak ima intenzivno neprijatan miris, u okolini deluje kao zagađivač, povoljno deluje na ishranu, a u zemljištu se delimično prevodi u azot suboksid (N_2O), koji negativno utiče na klimu. Zbog toga pri iznošenju ostataka fermentacije treba voditi računa da se to radi tehničkim rešenjima koja ostvaruju manju emisiju, kao što su na primer: egzaktni razdeljivači, izbacivanje osoke u neposrednoj blizini zemljišta, odgovarajući vremenski uslovi. Zahvaljujući razgradnji organskih kiselina fermentacijom, biljke u kontaktu sa obrađenom osokom ne budu opečene. Kada je vreme toplo i suvo, ostatak fermentacije sa svojim visokim sadržajem soli može da dovede do opekotina na livadama i pašnjacima, pa u tom slučaju, ako je potrebno, treba da se razblaži vodom.

Tokom procesa fermentacije razgrađuje se samo lako dostupna organska masa, a pretežno teško razgradljiva, relativno stabilna, organska supstanca ostaje. Dejstvo fermentovane osoke na formiranje humusa isto je kao i u slučaju sa neobrađenim supstratom, ali je smanjeno dejstvo na oživljavanje zemljišta, jer se daje manje hranljivog humusa.

ZAKLJUČCI

Tehnologija biogasa otvara mogućnost da se materijali iz široke palete biogenih otpadaka različitoga porekla, koji na drugi način mogu da se uklone samo uz delimični utrošak energije, sada iskoriste kao veoma vredni obnovljivi energenti. U poređenju sa tehnikama proizvodnje električne struje iz drugih obnovljivih i fosilnih biogenih energenata, korišćenjem biogasa iz osoke ostvaruje se znatno smanjenje emisije CO_2 . Brojni pozitivni sporedni efekti fermentacije omogućuju, u poređenju sa uobičajenim skladištenjem i iznošenjem neobrađene osoke, pod pretpostavkom pravilne primene u poljoprivredi, značajno manje zagađenje životne sredine.

Napori istraživača i razvojnih jedinica pre svega koncentrišu se na tehnologije obrade pripreme biogasa radi njegove primene u energetske svrhe, te za pogon gorivih ćelija za efikasnu proizvodnju električne struje uz male emisije štetnih materija. Uključivanje prerađenog i odgovarajuće pripremljenog biogasa u javnu mrežu gasa, sada nudi jednu novu mogućnost rešavanja problem lokalnog korišćenja biogasa za proizvodnju toplote. U oblasti materijala koji se primenjuju, a takođe i u području biohemiskih procesa, ima još dosta prostora za poboljšanja i povećanja specifičnog stepena korisnog dejstva i specifičnog prinosa energije.

NAPOMENA: Ovaj rad omogućen je sredstvima fondacije Alexander von Humboldt – Bonn, Nemačka i Ministarstva za nauku, tehnologiju i razvoj Srbije, broj projekta EE722-1014B/04

LITERATURA

- [1] International Energy Agency: Renewables Information 2002/2003, IEA/OECD
- [2] Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung: Globale Umweltveränderungen: Welt im Wandel: Energiewende zur Nachhaltigkeit. Berlin: WBGU, 2003.
- [3] BMU: Erneuerbare Energien in Zahlen – nationale und internationale Entwicklung – Stand: November 2003. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit http://www.bmu.de/files/erneuerbare_energien_zahlen.pdf
- [4] Brown, L. R., G. Gardner und B. Halweil: Wie viel ist zu viel? – 19 Dimensionen der Bevölkerungsentwicklung. Deutsche Stiftung Weltbevölkerung (Hrsg.) Stuttgart: Balance-Verlag, 2001 ISBN 3-930723-30-1.
- [5] Plautz, M.: Technik der DML Dieselmotorenwerk Leipzig GmbH zur energetischen Verwertung von Biogasen. In: A. Mennerich (Hrsg.): Biogas, Verwertung und Aufbereitung, Bd. 9, ATV-Schriftreihe, Abwassertechnische Vereinigung e.V. (ATV), Hennef, 1997.
- [6] Pott, J.: Wirkungsgrade verschiedener Motorentypen. In: Biogas - mit neuer Energie Ressourcen schonen, 10. Jahrestagung des Fachverbandes Biogas e.V. (Borken bei Kassel), S. 52-58, 2001.
- [7] Kaltschmitt, M. und H. Hartmann: Energie aus Biomasse. Berlin, Heidelberg: Springer Verlag, 2001.
- [8] Fachverband Biogas: Anlagenstatistik Stand Juli 2002. http://www.godis.de/fvb_datenbank/file/notmember/medi/en/Info_Anlagenstatistik_Jul02.pdf [17.03.2004 10:00]
- [9] Kaltschmitt, M., A. Scheuermann und R. Wilfert: Biogas als regenerative Energie – Aktuelle Entwicklungen von EEG und Biomasseverordnung. In: Biogas – Energieträger der Zukunft. VDI-Berichte 1751, VDI-Gesellschaft Energietechnik, Düsseldorf: VDI-Verlag, 2003, S. 1-14.
- [10] Plöchl, M. und M. Heiermann (Hrsg): Ökologische Bewertung der Bereitstellung landwirtschaftlicher Cosubstrate zur Biogaserzeugung. In: Biogas und Energielandwirtschaft - Potenzial, Nutzung, Grünes GasSM, Ökologie und Ökonomie, 18.-19. November 2002, Potsdam. Bornimer Agrartechnische Berichte, Vol. 32, 2; überarbeitete Auflage: S. 98-106.
- [11] Nill, M., R. Wilfert, M. Kaltschmitt und P. Weiland: Umweltaspekte einer Biogasgewinnung und -nutzung. In: Biogas – Energieträger der Zukunft. VDI-Berichte 1751, VDI-Gesellschaft Energietechnik, Düsseldorf: VDI-Verlag, 2003, S. 43-54.
- [12] Otto, J. C. G. und W. Bidlingmaier (Hrsg.): Umweltbiotechnologie. Stuttgart, Jena, Lübeck, Ulm: G. Fischer Verlag, 1997 ISBN 3-437-25230-5.
- [13] Böhm, R.: Aspekte der Seuchenhgiene und Anforderungen an die Verwertung von Klärschlamm, Kompost und Gülle. In: Landwirtschaftliche Verwertung von Klärschlamm, Gülle und anderen Düngern unter Berücksichtigung des Umwelt- und Verbraucherschutzes, BMU/BMVEL Wissenschaftliche Anhörung, 25.-26.10.2001, Bonn (KTBL-Schrift 404): S. 61-84. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL), Darmstadt: 2002.
- [14] Kuhn, E.: Kofermentation. Arbeitspapier 219, KTBL Schriften. Münster-Hiltrup: Landwirtschaftsverlag, 1995.
- [15] Messner, H.: Düngewirkung anaerob fermentierter und unbehandelter Gülle. Dissertation an der Technischen Universität München, 1988.
- [16] Schulz, H. und B. Eder: Biogas-Praxis. 2. überarbeitete Auflage, Freiburg: Ökobuch-Verlag, 2001 ISBN 3-922964-59-1
- [17] Möller, K.: Systemwirkungen einer "Biogaswirtschaft" im ökologischen Landbau: Pflanzenbauliche Aspekte, Auswirkungen auf den N-Haushalt und auf die Spurengasemissionen. Justus-Liebig-Universität Gießen, Professur für Organischen Landbau <http://www.uni-giessen.de/orglandbau/biogas-uebersicht>

Primljeno: 29.03.2004.

Prihvaćeno: 02.04.2004.