

ENERGIJA IZ BIORAZGRADIVOG ORGANSKOG OTPADA

Mr. sc. Andrea Hublin¹, prof. dr. sc. Davor Kralik², dr. sc. Mirjana Čurlin³

¹*EKONERG - Institut za energetiku i zaštitu okoliša, d.o.o., Koranska 5, HR-10000 Zagreb, tel: 01/6000134, e-mail: ahublin@ekonerg.hr*

²*Sveučilište J. J. Strossmayera u Osijeku, Poljoprivredni fakultet Osijek, Trg sv. Trojstva 3, HR-31000 Osijek, tel: 031/224217, e-mail: dkralik@pfos.hr*

³*Sveučilište u Zagrebu, Prehrambeno-biotehnološki fakultet, Pierottijeva 6, HR-10000 Zagreb, tel: 01/4605025, e-mail: mcurlin@pbf.hr*

SAŽETAK

Biorazgradivi organski otpad zbog svoje specifičnosti i neprekidnog priljeva iz industrijske i poljoprivredne proizvodnje kao i uređaja za obradu otpadnih voda predstavlja potencijalnu opasnost za zdravlje ljudi i očuvanje okoliša. Strategijom gospodarenja otpadom Republike Hrvatske (NN 130/05) i Planom gospodarenja otpadom u Republici Hrvatskoj za razdoblje 2007. - 2015. (NN 85/07) uređuje se gospodarenje različitim vrstama otpada, usklađeno s ciljevima hijerarhijskog koncepta gospodarenja otpadom. Iskorištavanjem energetske i materijalne svojstava biorazgradivog organskog otpada u granicama tehničkih, ekoloških i ekonomskih mogućnosti ponovnog korištenja, recikliranja i uporabe, doprinosi se povećanju udjela proizvedene energije iz obnovljivih izvora.

Anaerobna razgradnja uz proizvodnju bioplina bitan je proces u zbrinjavanju i iskorištavanju različitih vrsta biorazgradivog organskog otpada. Korištenje bioplina proizvedenog anaerobnom razgradnjom biorazgradivog organskog otpada predstavlja značajan potencijal u ostvarivanju energetske, ekološke i ekonomske koristi. Korištenjem najboljih raspoloživih tehnika te ostvarivanjem zahtjeva prema kriterijima očuvanja primarnih izvora energije i doprinosa ciljevima ublažavanja klimatskih promjena mogu se ostvariti pozitivni učinci proizvodnje energije iz biorazgradivog organskog otpada. Stvaranje poticajnog okruženja za primjenu okolišu prihvatljivih tehnika/mjera za smanjenje emisija stakleničkih plinova ujedno predstavlja i značajan doprinos smanjenju ranjivosti pojedinih dijelova ekosustava na klimatske promjene.

Zakonodavni i institucionalni okvir proizvodnje i korištenja bioplina u Hrvatskoj u fazi je prilagodbe i nadogradnje s iskustvom dobre prakse, a razvojem domaćih projekata u tom području doprinosi se neovisnosti o tehnologijama razvijenih tržišta.

Ključne riječi:

Biorazgradivi organski otpad, anaerobna razgradnja, bioplina, obnovljivi izvor energije, očuvanje energije, ublažavanje klimatskih promjena

ENERGY FROM BIODEGRADABLE ORGANIC WASTE

Andrea Hublin, M. Sc.¹, prof. Davor Kralik, Ph. D.², Mirjana Čurlin, Ph. D.³

¹*EKONERG - Energy and Environmental Protection Institute, Ltd., Koranska 5, CRO-10000 Zagreb, phone: +385 1 6000134, e-mail: ahublin@ekonerg.hr*

²*University of J. J. Strossmayer in Osijek, Faculty of Agriculture, Trg sv. Trojstva 3, CRO-31000 Osijek, phone: +385 31 224217, e-mail: dkralik@pfos.hr*

³*University of Zagreb, Faculty of Food Technology and Biotechnology, Pierottijeva 6, CRO-10000 Zagreb, phone: +385 1 4605025, e-mail: mcurlin@pbf.hr*

SUMMARY

Biodegradable organic waste due to specific characteristics and continuing intake from industry and agriculture production as well as facilities for wastewater treatment perform potential adversity for health and environmental protection. Management of the different types of waste is arranged by the Waste Management Strategy of the Republic of Croatia (OG 130/05) and Waste Management Plan of the Republic of Croatia for the period 2007 - 2015 (OG 85/07) and harmonised by objectives of the hierarchical concept of waste management. Using of material and energy potentials of waste, in the framework of technical, ecological and economic possibilities, contributes in increasing share of energy generated from renewable energy sources.

Anaerobic digestion by biogas utilization is a significant process in reuse and recovery of different types of biodegradable organic waste. Using of biogas generated by anaerobic digestion of biodegradable organic waste represents considerable potential in energy, ecological and economic benefits achievement. Utilization of best available techniques and achievement of requirement according to criteria for energy conservation and contribution to climate change response goals enable acquirement of benefits by energy recovery from biodegradable organic waste. Enabling environment, which stimulate appliance of techniques/measures acceptable for environment as well as reduction of greenhouse gases emissions, represent significant contribution in reduction of vulnerability of specific component of eco system sensitive to climate change.

Legal and institutional framework for production and utilization of biogas in Croatia is still in the phase of adaptation and upgrade with good practice. Development of domestic projects in this field contributes to independence on technologies of developed markets.

Key words:

Biodegradable organic waste, anaerobic digestion, biogas, renewable energy source, energy conservation, climate change mitigation

1. UVOD

Porast potrošnje energije i ograničene količine primarnih izvora energije nameću potrebu sustavnog istraživanja i razvoja tehnika iskorištavanja alternativnih održivih energetske rješenja. Proizvedena energija iz bioplina, koji se smatra neutralnim gorivom s obzirom na ugljikov dioksid (CO₂), smanjuje količinu fosilnog goriva potrebnog za proizvodnju ekvivalentne količine energije, a time i emisiju CO₂ koji nastaje kao produkt izgaranja. Biorazgradivi organski otpad zbog svoje specifičnosti i neprekidnog priljeva iz industrijske i poljoprivredne proizvodnje kao i uređaja za obradu otpadnih voda predstavlja potencijalnu opasnost za zdravlje ljudi i očuvanje okoliša. Smanjenjem količine odloženog biorazgradivog organskog otpada smanjuje se emisija metana (CH₄) koji nastaje anaerobnom razgradnjom otpada na odlagalištima.

Anaerobna razgradnja (digestija) (AD) je biokemijski proces u kojem se biorazgradivi organski supstrati razgrađuju mikrobiološkim procesima bez prisutnosti kisika, uz proizvodnju bioplina i digestata. AD uz proizvodnju bioplina bitan je proces u zbrinjavanju i iskorištavanju biorazgradivog organskog otpada. Nove AD tehnike i tehnologije danas omogućavaju tretiranje biorazgradivog otpada različitih konzistencija, od krutog do tekućeg. Implementacija ovih ekološki prihvatljivih tehnika zavisi uglavnom od kreiranja i pružanja ekonomski atraktivnih poticaja za rad AD postrojenja. Proizvodnja i korištenje bioplina nastalog anaerobnom razgradnjom biorazgradivog organskog otpada predstavlja značajan potencijal u ostvarivanju energetske, ekološke i ekonomske koristi. Digestat se koristi kao gnojivo, bogato makro- i mikro-nutrijentima.

Strategijom gospodarenja otpadom Republike Hrvatske (NN 130/05) i Planom gospodarenja otpadom u Republici Hrvatskoj za razdoblje 2007. - 2015. (NN 85/07) uređuje se gospodarenje različitim vrstama otpada, usklađeno s ciljevima hijerarhijskog koncepta gospodarenja otpadom [1, 2]. Izbjegavanje nastanka otpada (prevencija) ima najviši prioritet, a rezultira smanjenjem količine i štetnosti proizvedenog otpada koji ulazi u iduću fazu sustava. Vrednovanjem (iskorištavanjem) proizvedenog otpada iskorištavaju se materijalna i energetska svojstva otpada u granicama tehničkih, ekoloških i ekonomskih mogućnosti ponovnog korištenja, recikliranja i uporabe, a najvažniji elementi su odvojeno skupljanje i recikliranje otpada te mehanička, biološka, termička i ostale vrste obrade otpada. Odlaganje ostatnog inertnog otpada na uređena kontrolirana odlagališta najniže je rangirano u hijerarhiji gospodarenja otpadom.

Pozitivni učinci proizvodnje energije iz bioplina nastalog anaerobnom razgradnjom biorazgradivog organskog otpada odnose se na očuvanje primarnih izvora energije, smanjenje količine odloženog biorazgradivog otpada te ublažavanje klimatskih promjena i poboljšanje kakvoće zraka. Korištenje bioplina za proizvodnju električne energije i topline u kogeneraciji standardna je primjena kod bioplinskih postrojenja u Europi. Električna energija proizvedena iz bioplina može se koristiti za rad električnih uređaja ili se prodaje u mrežu po povlaštenoj cijeni za otkup električne energije iz obnovljivih izvora (*feed-in* tarifa) [3]. Iskorištavanje proizvedene topline važan je parametar za energetske i ekonomske učinkovitost bioplinskog postrojenja. Dio proizvedene topline koristi se za grijanje digestora, a preostali dio se može koristiti za potrebe poljoprivrede, industrije ili grijanje/hlađenje objekata.

U Hrvatskoj je 2007. godine usvojen paket podzakonskih akata koji opisuju proizvodnju električne energije iz obnovljivih izvora energije s tarifnim sustavom za povlaštene proizvođače. Prema Uredbi o minimalnom udjelu električne energije proizvedene iz obnovljivih izvora energije i kogeneracije čija se proizvodnja potiče (NN 33/07) do 31. prosinca 2010. godine minimalni udio električne energije proizvedene iz postrojenja koja

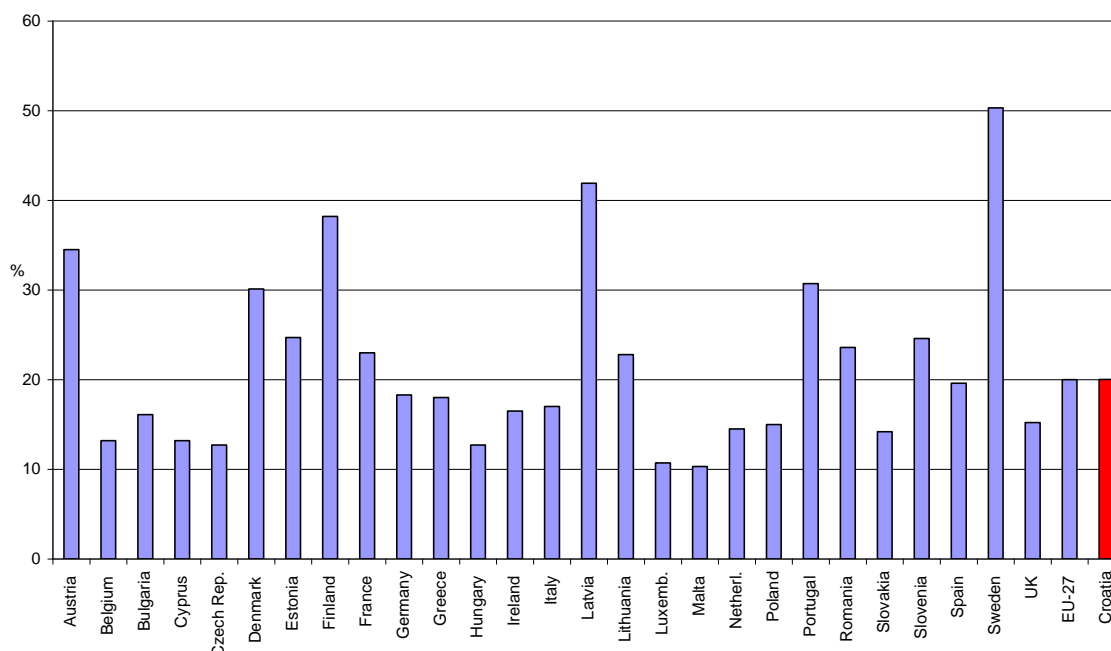
koriste obnovljive izvore energije čija se proizvodnja potiče trebao bi iznositi 5,8% u ukupnoj potrošnji električne energije [4].

Međusektorski utjecaji proizvodnje i korištenja bioplina očituju se kroz sektore proizvodnje obnovljive energije, zaštite okoliša, gospodarenja otpadom te razvoj ruralnih područja. Europski ciljevi proizvodnje energije iz obnovljivih izvora, održivo gospodarenje otpadom i smanjenje emisija stakleničkih plinova temelje se na prihvaćanju obveza članica EU da implementiraju odgovarajuće mjere, među kojima je i korištenje bioplina proizvedenog iz biorazgradivog organskog otpada AD tehnologijama. Zakonodavni i institucionalni okvir proizvodnje i korištenja bioplina u Hrvatskoj u fazi je prilagodbe i nadogradnje s iskustvom dobre prakse, a razvojem domaćih projekata u tom području uvelike se doprinosi neovisnosti o tehnologijama razvijenih tržišta.

2. INSTRUMENTI ZA POTICANJE KORIŠTENJA BIOPLINA KAO OBNOVLJIVOG IZVORA ENERGIJE

Cilj Strategije energetske razvoja Republike Hrvatske (NN 130/09) je izgradnja sustava uravnoteženog razvoja odnosa između sigurnosti opskrbe energijom, konkurentnosti i očuvanja okoliša, koji će hrvatskim građanima i gospodarstvu omogućiti kvalitetnu, sigurnu, dostupnu i dostatnu opskrbu energijom, kao preduvjet gospodarskog i socijalnog napretka [5].

Cilj Strategije od 20% obnovljivih izvora energije u bruto neposrednoj potrošnji energije u 2020. godini utvrđen je temeljem energetske-klimatskog paketa Europske unije [6], osobito Direktivom o poticanju primjene obnovljivih izvora u proizvodnji energije (Directive on the promotion of the use of energy from renewable sources 2009/28/EC) (Slika 1) [7]. Strategija postavlja prijelazne ciljeve povećanja u odnosu na 2005. u kojoj je zastupljenost obnovljivih izvora u bruto neposrednoj potrošnji bila 12,7%.



Slika 1. Ciljevi udjela obnovljivih izvora energije u 2020. godini u državama EU i Hrvatskoj, utvrđeni temeljem smjernica energetske-klimatskog paketa

Figure 1. Targets for renewable energy sources share in 2020 in the EU states and Croatia, based on the EU energy and climate package

Za poticanje proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora energije doneseni su sljedeći provedbeni akti:

- Uredba o minimalnom udjelu električne energije proizvedene iz obnovljivih izvora energije i kogeneracije (NN 33/07);
- Uredba o naknadama za poticanje proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora energije i kogeneracije (NN 33/07, 133/07, 155/08);
- Tarifni sustav za proizvodnju električne energije iz obnovljivih izvora energije i kogeneracije (NN 33/07);
- Pravilnik o korištenju obnovljivih izvora energije i kogeneracije (NN 67/07);
- Pravilnik o stjecanju statusa povlaštenog proizvođača električne energije (NN 67/07).

Uredbom o minimalnom udjelu električne energije proizvedene iz obnovljivih izvora energije i kogeneracije čija se proizvodnja potiče postavljen je cilj do kraja 2010. godine. Minimalni udio obnovljivih izvora u proizvodnji električne energije trebao bi biti 1.100 GWh/god, što bi trebalo činiti 5,8 % u ukupnoj potrošnje električne energije. Primjena obnovljivih izvora najviše će doprinijeti smanjenju emisije stakleničkih plinova u razdoblju do 2012. godine.

Glavni mehanizam za razvoj obnovljivih izvora energije su diferencirane poticajne cijene (tarife). Diferencirana poticajna tarifa ovisna je o vrsti izvora, veličini proizvodnog postrojenja te količini proizvedene električne energije. Tablica 1 prikazuje poticajne tarife za električnu energiju proizvedenu iz obnovljivih izvora energije za 2007. godinu [3].

Tablica 1. Poticajne tarife za električnu energiju proizvedenu iz obnovljivih izvora energije (kn/kWh)

Table 1: Feed-in tariffs for electricity generated from renewable energy sources (kn/kWh)

Tip postrojenja	Veličina	
	≤ 1 MW	≥ 1 MW
Sunčane elektrane		
Sunčane elektrane instalirane snage do uključivo 10 kW	3,40	-
Sunčane elektrane instalirane snage veće od 10 kW do uključivo 30 kW	3,00	-
Sunčane elektrane instalirane snage veće od 30 kW	2,10	-
Hidroelektrane instalirane snage do 10 MW	0,69	
Energija do uključivo 5000 MWh proizvedenih u kalendarskoj godini		0,69
Energija za više od 5000 MWh do uključivo 15000 MWh proizvedenih u kalendarskoj godini		0,55
Energija za više od 15000 MWh proizvedenih u kalendarskoj godini		0,42
Vjetroelektrane	0,64	0,65
Elektrane na biomasu		
Kruta biomasa iz šumarstva i poljoprivrede (granjevina, slama, koštice...)	1,20	1,04
Kruta biomasa iz drveno-prerađivačke industrije (kora, piljevina, sječka...)	0,95	0,83
Geotermalne elektrane	1,26	1,26
Elektrane na bioplin iz poljoprivrednih nasada (kukuruzna silaža...) te organskih ostataka i otpada iz poljoprivrede i prehrambeno-prerađivačke industrije (kukuruzna silaža, stajski gnoj, klaonički otpad, otpad iz proizvodnje biogoriva...)	1,20	1,04
Elektrane na tekuća biogoriva	0,36	0,36
Elektrane na deponijski plin i plin iz postrojenja za pročišćavanje otpadnih voda	0,36	0,36
Elektrane na ostale obnovljive izvore (morski valovi, plima i oseka)	0,60	0,50

Zakonodavni okvir vezan uz obnovljive izvore potaknuo je interes novih investitora u pogledu izgradnje postrojenja za proizvodnju električne energije iz obnovljivih izvora. Mnogi su razlozi za interes investitora u području obnovljivih izvora enegije: energetska

tržište ima najveći dugoročni potencijal rasta, osiguran je dobar povrat investicije, značajna raspoloživost prirodnih resursa, racionalizacija poslovanja, smanjenje štetnog utjecaja na okoliš, razvoj tvrtke kao društva koje maksimizira iskorištavanje svih svojih resursa.

U 2009. godini u Hrvatskoj je registrirano jedno bioplinsko postrojenje koje kao sirovinu koristi biorazgradivi organski otpad iz poljoprivrede te ima status povlaštenog proizvođača električne energije. Investicijsko planiranje za naredno razdoblje velikih tvrtki prehrambeno prerađivačke industrije također ide u smjeru izgradnje bioplinskih postrojenja. U poljoprivrednim bioplinskim postrojenjima prerađuju se supstrati koji potječu ili su vezani za poljoprivrednu proizvodnju (stajski gnoj, gnojovka, ostaci i nus-proizvodi usjeva te energetske usjevi). U slučajevima kada se za proces AD koristi homogena mješavina dvaju ili više supstrata (npr. gnojovka i organski otpad iz prehrambene industrije) postupak se naziva kodigestija, a to je ujedno i najčešći način proizvodnje bioplina. Prema veličini, funkciji i lokaciji razlikuju se bioplinska postrojenja za obiteljska gospodarstva (mala postrojenja), bioplinska postrojenja za farme (srednje velika postrojenja) i centralizirana bioplinska postrojenja sa zajedničkom kodigestijom (velika postrojenja) [8].

Prva elektrana na odlagališni plin u Hrvatskoj radi od kraja 2004. godine na zagrebačkom odlagalištu Prudinec-Jakuševac (snaga 2x1 MW). Do 2012. godine planira se sanacija i zatvaranje svih postojećih odlagališta, kao i izgradnja centara za gospodarenje otpadom u kojima će se vršiti obrada i iskorištavanje gorive frakcije komunalnog otpada te proizvodnja bioplina iz stabiliziranog organskog dijela komunalnog otpada u bioplinskim reaktorima. Prosječan period iskorištavanja bioplina u bioplinskom reaktoru je cca 5 godina, nakon čega je organska tvar iz otpada u potpunosti razgrađena. Krajnji rezultat je potpuno energetska iskorištenja otpada, smanjenje emisija stakleničkih plinova te značajno smanjenje potrebnih površina za konačno odlaganje otpada [2].

Prilagodba zakonima EU u pogledu pročišćavanja otpadnih voda i planirane investicije u izgradnju novih i adaptaciju starih uređaja za obradu otpadnih voda usmjereni su ka iskorištavanju obnovljivih izvora energije i zaštiti okoliša. Sve se više pažnje posvećuje izgradnji sustava odvodnje kao i izgradnji i modernizaciji klasičnih komunalnih uređaja za obradu otpadnih voda, koji kao nus-proizvod fizikanih, kemijskih i bioloških postupaka proizvode značajne količine mulja. Obzirom na značajnu produkciju mulja u klasičnim uređajima za obradu otpadnih voda problem zbrinjavanja mulja postaje gotovo jednaki teret okolišu kao i nepročišćena otpadna voda. Od osobite je važnosti iznaći novija rješenja obrade otpadnih voda, kako bi se produkcija mulja smanjila. Opterećenje organskim ugljikom, iskazano kao kemijska i biokemijska potrošnja kisika (KPK, BPK), predstavlja onečišćujuću komponentu otpadne vode i ujedno je vrijedan energetska izvor. Procesi pročišćavanja komunalnih otpadnih voda uglavnom se provode aerobnim postupcima, ali za zbrinjavanje mulja iz takvih uređaja koriste se AD tehnologije. Svakodnevna produkcija aktivnog mulja i njegovo skupo zbrinjavanje uvelike će dati prednost novijim tehnologijama obrade otpadnih voda, a jedna od takvih je tehnologija membranskog bioreaktora [9].

3. ENERGETSKI POTENCIJAL BIOPлина DOBIVENOG ANAEROBNOM RAZGRADNOM BIORAZGRADIVOG ORGANSKOG OTPADA

Biorazgradivi organski otpad može biti biljnog ili životinjskog porijekla, a uključuje kuhinjski i vrtni otpad, gnojovku iz poljoprivredno stočarske proizvodnje, mulj iz komunalnih uređaja za obradu otpadnih voda, otpad iz klaonica i druge vrste otpada iz industrije, posebice prehrambeno prerađivačke. Takav biorazgradivi organski otpad koristi se kao supstrat u AD procesima u svrhu pridobivanja bioplina. AD nudi alternativni

tretman za širok raspon supstrata poljoprivrednog i industrijskog porijekla. Tekući ili kruti biorazgradivi organski otpad iz prehrambene i poljoprivredne proizvodnje ili odlagališta komunalnog otpada, kao što su sirutka, otpad klaonica, masti iz flotacijskih uređaja, gnojovka i usjevi, mogu se koristiti kao supstrati u AD procesima. Karakteristike pojedinih supstrata prikazane su u tablici 2 [10].

Tablica 2. Karakteristike supstrata za anaerobnu digestiju.

Table 2. Characteristics of of substrates for anaerobic digestion

Vrsta supstrata	Organska tvar	C:N omjer	Suha tvar (ST), %	Hlapive krute tvari (HKT), % ST	Iskorištenje na bioplina, m ³ kg ⁻¹ HKT
Svinjski izmet	Ugljikohidrati, bjelančevine, masti	3-10	3-8	70-80	0,25-0,50
Izmet goveda	Ugljikohidrati, bjelančevine, masti	6-20	5-12	80	0,20-0,30
Izmet peradi	Ugljikohidrati, bjelančevine, masti	3-10	10-30	80	0,35-0,60
Iznutrice	Ugljikohidrati, bjelančevine, masti	3-5	15	80	0,40-0,68
Sirutka	75-80% laktoza 20-25% bjelančevine	n.a.*	8-12	90	0,35-0,80
Koncentrirana sirutka - plazma	75-80% laktoza 20-25% bjelančevine	n.a.*	20-25	90	0,80-0,95
Trop (ostatak nakon fermentacije)	Ugljikohidrati	4-10	1-5	80-95	0,35-0,78
Slama	Ugljikohidrati i masti	80-100	70-90	80-90	0,15-0,35
Vrtni otpad	n.a.*	100-150	60-70	90	0,20-0,50
Trava	n.a.*	12-25	20-25	90	0,55
Travnata silaža	n.a.*	10-25	15-25	90	0,56
Otpad od voća	n.a.*	35	15-20	75	0,25-0,50
Ostaci hrane	n.a.*	n.a.*	10	80	0,50-0,60

n.a.* - nije primjenjivo

Osnovni razlozi za najčešće provođenje kodigestije u AD postupcima su korištenje velikih reaktora za digestiju kod centraliziranih bioplinskih postrojenja i uređaja za obradu otpadnih voda te ostvarivanje većeg prinosa bioplina uz istovremeno smanjenje količine otpada.

Bioplin je smjesa CH₄ (50-85 vol.%), CO₂ (15-50 vol.%) i plinova u tragovima (vodena para; vodikov disulfid, H₂S i vodik, H₂). Iako se nalaze u bioplina u malim tragovima, ovi plinovi uvelike utječu na njegova fizikalna svojstva kao i na odabir tehnologije za pročišćavanje i krajnju uporabu bioplina. Sastav supstrata je glavni čimbenik koji utječe na iskorištenje na metanu. U tablici 3 su prikazani specifični prinosi na bioplina (iskorištenje) u zavisnosti od glavnih komponenata supstrata.

Tablica 3. Specifični prinos na bioplinu zavisno od glavnih komponenata supstrata
 Table 3. Specific biogas yields depending on substrates main components

Organska tvar u supstratu	Iskorištenje, m ³ kg ⁻¹ HKT	CH ₄ , % vol.	CO ₂ , % vol.	Ogrjevna vrijednost, kWh kg ⁻¹ HKT
Ugljikohidrati	0,790	50	50	4,0
Masti	0,125	68	32	4,9
Proteini	0,700	71	29	8,0

Proizvodnja bioplina anaerobnom razgradnjom stajskog gnoja i drugih ostataka kod poljoprivredne proizvodnje značajno je alternativno energetska rješenje. Prema podacima o stočarskoj proizvodnji u razdoblju od 2005. do 2007. godine, dnevna količina životinjskih ekskremenata u Hrvatskoj, na bazi broja uvjetnih grla (UG), iznosi 784 015,26 m³. Anaerobnom fermentacijom ekskrementa toga broja životinja godišnje bi se moglo proizvesti 426 995 250,00 Nm³ bioplina [11]. Ogrjevna vrijednost bioplina, koja ovisi o omjeru CH₄ i CO₂, iznosi 20-25 MJ/m³.

Stajski gnoj sa životinjskih farmi ujedno predstavlja i potencijalnu opasnost za zdravlje ljudi i očuvanje okoliša, zbog visoke koncentracije taloživih tvari, KPK, dušika i fosfora. Proizvedena energija iz bioplina, koji se smatra neutralnim gorivom s obzirom na CO₂, smanjuje količinu fosilnog goriva potrebnog za proizvodnju ekvivalentne količine energije, a time i emisiju CO₂ koji nastaje kao produkt izgaranja [12, 13]. Smanjenjem količine odloženog biorazgradivog organskog otpada smanjuje se emisija CH₄ koji bi nastao anaerobnom razgradnjom otpada.

U okviru istraživanja proizvodnje bioplina iz stajskog gnoja sa farmi goveda i svinja u Hrvatskoj u 2007. godini i njegovog korištenja za proizvodnju električne energije i topline, izvršena je usporedba sa literaturnim podacima [11]. Usporedba je pokazala dobro slaganje rezultata koji su prikazani u tablici 4.

Tablica 4: Potencijal proizvodnje bioplina iz stajskog gnoja goveda i svinja u 2007. godini
 Table 4: Potentials of biogas production from cattle and pig manure in 2007

Parametar	Goveda		Svinje	
	Eksperiment. podaci	Literaturni podaci	Eksperiment. podaci	Literaturni podaci
Ukupan broj životinja	467 000	-	1 348 000	-
Broj uvjetnih grla (UG)	345 000,59	-	412 000,62	-
Dnevna količina životinjskih ekskremenata (Nm ³ /UG)	1,43	1,20	0,74	1,30
Proizvodnja električne energije (kWh)	61 134,97	51 302,07	21 628,05	37 995,22
Proizvodnja topline (kWh)	72 381,50	60 739,72	25 606,79	44 984,90

Uobičajeni sistemi skupljanja odlagališnog plina na odlagalištima komunalnog otpada aktivnim otplinjavanjem mogu skupiti 50-60% proizvedenog odlagališnog plina, što prema količini odloženog otpada na većim odlagalištima u Hrvatskoj iznosi oko 80 Mm³ plina godišnje. Iz te količine odlagališnog plina moglo bi se proizvesti oko 180 GWh električne energije i 270 GWh toplinske energije godišnje [14]. U okviru centara za gospodarenje otpadom biorazgradiva frakcija komunalnog otpada nakon biostabilizacije (isušivanja) sadrži cca 80% organske tvari. Jedna tona ove komponente u periodu od 5 godina, nakon aktivacije (dodatka vode), može proizvesti 180 m³ bioplina koji sadrži 60% metana. Dobiveni bioplin koristiti će se za proizvodnju električne energije. Kazete koje se pune 5 godina biorazgradivom frakcijom komunalnog otpada služe kao energetska spremnici koji

se aktiviraju po potrebi. Ukoliko je bioreaktorsko odlagalište dulje vrijeme zabrtvljeno, smanjuje se iskoristivost bioplina [15].

Proces AD otpadnih voda uglavnom se koristi za obradu otpadnih voda iz prehrambene industrije koja se odlikuje visokim organskim opterećenjem, što je vrlo važno kod procesa pridobivanja bioplina. Ako se uz to promatra i značajno manja produkcija mulja u odnosu na aerobnu obradu, tada su svakako ovi procesi značajni sa ekonomskog i energetskog stajališta, kao i sa stajališta zaštite okoliša. U slučaju visoko opterećenih otpadnih voda korištenjem AD tehnologija mogu se proizvesti značajne količine energije. Stoga ovakvi sustavi trebaju biti integrirani dio procesnog postrojenja i zajedno s njim činiti energetski zatvoreni ciklus.

4. ZAKLJUČAK

U današnjim izazovima razvoja tržišta, ekologija i energetika moraju biti ključni čimbenici gospodarskog razvoja. Redizajn procesa, ponovna uporaba nus-produkata industrijske i poljoprivredne proizvodnje i otpada te ponovna uporaba otpadnih voda i mulja u svrhu dobivanja energije samo su neki od mogućih scenarija prema efikasnijoj razvojnoj strategiji. U takvom scenariju korištenje obnovljivih izvora energije, među kojima je i bioplin dobiven anaerobnom razgradnjom biorazgradivog organskog otpada, dolazi u središte energetske politike. Pri tome je nužno zaštititi prirodni eko-sustav, a primjena troškovno-učinkovitih tehnologija treba postati integralni dio sektorskih gospodarskih programa i strategija.

5. POPIS KRATICA I SIMBOLA

AD	- anaerobna razgradnja (digestija)
BPK	- biokemijska poteba na kisiku
CH ₄	- metan
C/N	- odnos ugljik dušik
CO ₂	- ugljikov dioksid
H ₂	- vodik
H ₂ S	- vodikov disulfid
HKT	- hlapive krute tvari
KPK	- kemijska potrošnja kisika
ST	- suha tvar
UG	- uvjetno grlo

6. LITERATURA

- [1] *Strategija gospodarenja otpadom Republike Hrvatske (NN 130/05)*, Hrvatski sabor, Zagreb, 2005.
- [2] *Plan gospodarenja otpadom u Republici Hrvatskoj za razdoblje 2007. - 2015 godine (NN 85/07)*, Vlada Republike Hrvatske, Zagreb, 2007.
- [3] <http://www.hrote.hr>
- [4] *Uredba o minimalnom udjelu električne energije proizvedene iz obnovljivih izvora energije i kogeneracije čija se proizvodnja potiče (NN 33/07)*, Vlada Republike Hrvatske, Zagreb, 2007.
- [5] *Strategija energetskog razvoja Republike Hrvatske (NN 130/09)*, Hrvatski sabor, Zagreb, 2009.
- [6] *The Sixth Environment Action Programme of the European Community 2002-2012*, European Commission, http://ec.europa.eu/environment/newprg/strategies_en.htm
- [7] *Odluka o prihvaćanju Petog nacionalnog izvješća Republike Hrvatske prema Okvirnoj konvenciji Ujedinjenih naroda o promjeni klime (NN 24/10)*, Vlada Republike Hrvatske, Zagreb, 2010.
- [8] *Priručnik za bioplin*, BiG>East Biogas for Eastern Europe, Intelligent Energy for Europe, Zagreb, 2008.
- [9] Čurlin, Mirjana: Modeliranje hidrodinamike i kinetike procesa obrade otpadnih voda u membranskom bioreaktoru, Doktorska disertacija, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije, 2008.
- [10] Al Seadi, T.: *Good practice in quality management of AD residues from biogas production*, IEA Bioenergy, Task 24 Energy from Biological Conversion of Organic Waste, 2001
- [11] Brdarić, D., Kralik, D., Kukić, S., Spajić, R., Tunjić, G. *Konverzija organskog gnoja u bioplin*, Poljoprivreda, 15 (2009) 2, 3-7
- [12] *Waste Treatment Industries, Integrated Pollution Prevention and Control, Reference Document on Best Available Techniques for the Waste Treatments Industries*, European Commission, Joint Research Centre, Institute for Prospective Technological Studies, Seville, 2006
- [13] *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*, Institute for Global Environmental Strategies, Volume 2 Energy, Hayama, 2006
- [14] Scenariji smanjenja emisija stakleničkih plinova u Republici Hrvatskoj za 'Post-Kyotsko razdoblje' do 2020., s pogledom na 2030. i 2050. godinu, EKONERG - Institut za energetiku i zaštitu okoliša, Zagreb, 2009.
- [15] Anić Vučinić, A.; Hublin, A.; Ružinski, N.: *Smanjenje emisije stakleničkih plinova implementacijom Plana gospodarenja otpadom u RH*, Energija i okoliš 2008, Franković, Bernard (ur.), Rijeka: Hrvatski savez za sunčevu energiju, Rijeka, 2008., 35-43.