

PRISPEVEK BIOPLINSKIH NAPRAV V SLOVENIJI K ZMANJŠEVANJU TOPLOGREDNEGA UČINKA IZ KMETIJSKEGA SEKTORJA

Romana MARINŠEK LOGAR ¹, Neža NOVAK ², Maša VODOVNIK ²

Delo je prispelo 19. marca 2015, sprejeto 20. maja 2015.
Received March 19, 2015; accepted May 20, 2015.

Prispevek bioplinskih naprav v Sloveniji k zmanjševanju toplogrednega učinka iz kmetijskega sektorja

Kmetijstvo je vir emisij toplogrednega plina metana v okolje. Te emisije lahko zmanjšamo z ustreznim skladiščenjem gnojevke in gnoja, s pravilnim gnojenjem in ustrezno predelavo organskih kmetijskih odpadkov v bioplin, kjer metan kontrolirano zajemamo, uporabimo kot vir energije in s tem zmanjšujemo nekontrolirane emisije toplogrednih plinov v atmosfero. Bioplin je obnovljiv vir energije, ki ga proizvajamo z mikrobnano anaerobno razgradnjo v bioplinskih napravah. Substrati v bioplinskih napravah so različne vrste organske biomase kot so živinski gnoj in gnojevka, žetveni ostanki, pokvarjena silaža, odpadki iz živilsko-predelovalne industrije in biorazgradljivi industrijski in komunalni odpadki. Nastali bioplin lahko uporabimo za proizvodnjo toplote in električne energije, očiščenega pa kot pogonsko gorivo (biometan). Presnovljen substrat lahko uporabimo kot kakovostno organsko gnojilo. Bioplin kot obnovljivi vir energije predstavlja zamenjavo za fosilna goriva in tako dodatno zmanjšuje emisije toplogrednih plinov iz fosilnih goriv. V Sloveniji je v uporabi sistem finančnih podpor električni energiji, proizvedeni iz bioplina. Leta 2014 je v Sloveniji delovalo 24 bioplinskih naprav, ki največji delež bioplina proizvedejo iz energetskih rastlin. Premajhen delež bioplina proizvedemo iz gnojevke in gnoja, zato bomo v bodoče prvenstveno podpirali razvoj kmetijskih mikrobioplinskih naprav, ki bodo kot substrat uporabljale živinska gnojila in odpadno organsko biomaso iz agro-živilskega sektorja.

Ključne besede: kmetijstvo / bioplin / toplogredni učinek / Slovenija

The contribution of Slovenian biogas plants to the reduction of agricultural sector green house emissions

Agriculture is a source of emissions of the greenhouse gas methane into the environment. These emissions can be reduced by appropriate storage of animal slurry and manure, with proper fertilization and processing of organic agricultural waste into biogas, where methane is captured and used as an energy source. Biogas is a renewable source of energy that is produced by microbial anaerobic digestion in biogas plants. As a substrate in biogas plants using different types of organic biomass such as animal manure and slurry, crop residues, spoiled silage, waste from food processing industry and biodegradable industrial and municipal waste. Biogas can be used to produce heat and electricity or purified to biomethane as a fuel for vehicles. Digestate can be used as a high-quality fertilizer. Biogas as a renewable energy source represents a replacement for fossil fuels, thus reducing greenhouse gas emissions from fossil sources. The system of financial supports for electricity produced from biogas is applied in Slovenia. There were 24 operating biogas plants in Slovenia in year 2014. Slovenian biogas plants currently produce the majority of biogas from energy crops. As only the minority of biogas is produced from animal excrements we will primarily support the development of agricultural micro-biogas plants that will use animal excrements and organic waste biomass from agri-food sector as substrates.

Key words: agriculture / biogas / green house effect / Slovenia

¹ Univ. v Ljubljani, Biotehniška fak., Odd. za zootehniko, Groblje 3, SI-1230 Domžale, Slovenija, e-naslov: romana.marinsek@bf.uni-lj.si
² Isti naslov kot 1

1 UVOD

Pospešen napredek v kmetijstvu so v zadnjem stoletju omogočila fosilna pogonska goriva. Ker so količine fosilnih goriv omejene in ker njihova intenzivna uporaba povečuje učinek toplogrednih plinov in s tem povezane klimatske spremembe, se osredotočamo na ekonomično izrabo omejenih virov in na iskanje novih tehnologij za izkoriščanje obnovljivih virov, kot je biomasa različnih virov (velik delež tu predstavlja odpadna kmetijska biomasa), za nadaljnjo proizvodnjo energije (Deublein in Steinhauser, 2008).

V zadnjih nekaj letih se je spet močno povečal interes za proizvodnjo bioplina z anaerobno razgradnjo organskih snovi in njegovo uporabo kot obnovljiv vire energije. Interes za proizvodnjo bioplina se je sicer ciklično povečeval z vsako naftno krizo do sedaj, trenutno pa ga podpira tudi globalno okoljsko zavedanje o toplogrednih učinkih. Pri uporabi fosilnih goriv preoblikujemo ogljik, ki je shranjen v zemeljski skorji, in ga izpustimo v ozračje kot toplogredni plin CO_2 . Pri uporabi bioplina se v končni fazi tudi sprošča CO_2 , vendar je v tem primeru ogljik odvzet iz atmosfere s fotosintezo rastlin in je kroženje ogljika zelo kratko, od enega do nekaj let. Če gnoja in gnojevke ne shranjujemo pravilno in sta podvržena spontani anaerobni fermentaciji, v ozračje spuščamo toplogredni plin CH_4 . CH_4 prispeva približno 20 % k antropogenemu učinku tople grede. Polovico vseh virov onesnaževanja s CH_4 , ki ga povzroča človek, predstavlja govedoreja. Pri proizvodnji bioplina CH_4 nastaja kontrolirano, se zajame in se porabi za proizvodnjo energije, pri tem pa so izpusti v ozračje zmanjšani (Berglund, 2006).

Proizvodnja bioplina kot obnovljivega vira energije ima za kmetijski sektor več pozitivnih učinkov: dodatni vir zaslužka v kmetijski dejavnosti, gre za ekonomsko upravičen in okoljsko sprejemljiv način odstranjevanja odpadne kmetijske biomase in stranskih živalskih proizvodov, presnovljen substrat predstavlja kakovostno organsko gnojilo, emisije smradu so manjše kot pri konvencionalnem shranjevanju in raztrosu surovega gnoja in gnojevke, zmanjšuje se odvisnosti od uvoza fosilne energije, saj proizvodnja bioplina poteka lokalno in znotraj državnih meja. V procesu anaerobne razgradnje iz ogljikovih spojin nastaja CH_4 kot energetski plin, nekatere ogljikove spojine pa ostanejo v digestatu, ki ga uporabimo kot gnojilo, ta povečuje vsebnost organske snovi v zemlji in posledično poveča kapaciteto za zadrževanje vode v tleh (Deublein in Steinhauser, 2008).

2 PROCES PROIZVODNJE BIOPLINA

Bioplin je plin brez vonja in barve, ki gori z modrim plamenom, podobno kot utekočinjen naftni plin. Običajno je sestavljen iz 60–70 % CH_4 , 40–30 % CO_2 , vodne pare in vodikovega sulfida v sledeh (Christy in sod., 2014). Nastaja v mikrobnem procesu anaerobne razgradnje, kjer mešana mikroba združba anaerobnih bakterij in arhej kompleksne organske snovi v večstopenjskem procesu pretvori v bioplin, nov mikrobnih celični material, mineralizirano snov in ostanek organske snovi. Postopek poteka brez prisotnosti kisika v bioreaktorjih oz. digestrih. Gre za posnemanje naravnih procesov, ki sicer potekajo v prebavilih živali (posebej pri prežvekovalcih) in ljudi, v močvirjih, ribnikih, riževih poljih, jezerskih sedimentih, termalnih vrelih in oceanih. Procese anaerobne razgradnje uporabljamo za anaerobno čiščenje z organsko snovjo bogatih odpadkov ali trdnih organskih odpadkov in/ali za trajnostno proizvodnjo obnovljive energije iz načrtno vzgojenih energetskih rastlin (Christy in sod., 2014).

Anaerobna metanogena razgradnja je kompleksen proces, ki ga lahko razdelimo na štiri faze: hidrolizo, acidogenezo, acetogenezo in metanogenezo. Različne faze izvajajo različni mikroorganizmi, ki so med seboj povezani in delujejo sinergistično. Prva in druga faza sta med seboj močno povezani, prav tako tretja in četrta, kar omogoča, da lahko proces izvajamo tudi v dveh stopnjah. V prvi fazi eksoencimi fakultativnih in obligatnih anaerobnih bakterij celulozo, beljakovine in maščobe hidrolizirajo do monomerov. Fakultativni anaerobni mikrobi porabijo kisik, raztopljen v vodi, in s tem ustvarijo nizek redoks potencial, ki je potreben za obligatne anaerobne mikrobe. Lignoceluloza in lignin se razgradita počasi in nepopolno, kar je tudi pglavitna ovira pri proizvodnji bioplina iz odpadnih kmetijskih substratov (Deublein in Steinhauser, 2008). Anaerobna razgradnja trdnega lignoceluloznega materiala in dostopnost hidrolitskih mikroorganizmov do trdnih delcev je omejujoč korak. Možna rešitev je predhodno tretiranje, ki ga lahko izvajamo z močnimi kislinami in bazami, encimi, različnimi drugimi kemikalijami, glivami ali hidrolitskimi bakterijami (Čater in sod., 2014).

Monomerne produkte hidrolitične faze kot substrat uporabljajo različne obligatno in fakultativno anaerobne bakterije in jih preoblikujejo v kratkoverižne maščobne kisline (KMK; mravljična, očetna, propanojska, maslena kislina), alkohole, vodik in ogljikov dioksid. Pretvorba organskega materiala v organske kisline zniža pH vrednost v bioreaktorju, kar pri zelo nizkih vrednostih lahko povzroči zaviranje proizvodnje metana in ustavljanje procesa na ravni kratkoverižnih maščobnih kislin. Če tako stanje brez posredovanja v proces traja nekaj dni,

se lahko proces proizvodnje bioplina popolnoma ustavi, restavracija postopka pa lahko traja tudi nekaj mesecev. Zato so KMK zelo pomembna kontrolna točka bioplinskega procesa, ki omogoča dovolj hitro posredovanje in preprečitev ekonomske in okoljske škode (Christy in sod., 2014). Raven KMK ugotavljamo s plinsko kromatografijo po dvojni etrski ekstrakciji (Holdeman in sod., 1977)

Obligatne vodik proizvajajoče acetogene bakterije pretvorijo propanojsko kislino, masleno kislino in alkohole v očetno kislino, vodik in ogljikov dioksid. Homoacetogene bakterije pa pretvorijo vodik in ogljikov dioksid v očetno kislino (Liu in sod., 2011). Acetogene bakterije so v sinotrofičnem odnosu z metanogenimi arhejami, ki porabljajo vodik za tvorbo metana, ker potrebujejo nizek parcialni pritisk vodika za preživetje in rast (Christy in sod., 2014).

V zadnji fazi metanogene arheje proizvedejo metan v striktno anaerobnih pogojih. Metan nastaja na dva načina, in sicer z razcepom očetne kisline v CH_4 in CO_2 ali z redukcijo ogljikovega dioksida z vodikom. Običajno z razcepom acetata nastane okoli 70 % metana, z redukcijo CO_2 pa le okoli 30 %. Če metanogeneza ne poteka pravilno in metan ne nastaja, pride do povečane kislosti, ta zavre tudi acetogenezo. Podobne težave se pojavijo tudi v primerih, ko substrati za bioplinsko proizvodnjo vsebujejo sulfate. V teh primerih se v bioreaktorju namnožijo sulfat reducirajoče bakterije, ki porabljajo H_2 za tvorbo vodikovega sulfida. Za vodik tekmujejo z metanogenimi arhejami, ki posledično proizvedejo manj metana, poleg tega je vodikov sulfid toksičen za metanogene arheje (Deublein in Steinhäuser, 2008).

Proizvodnja bioplina je kompleksen mikrobiološki proces, kjer je za dober izplen bioplina potrebno strokovno vodenje in zagotavljanje konstantnih pogojev. Uspešna proizvodnja bioplina je odvisna je od mnogih parametrov, ki jih moramo med procesom obvladovati.

Najpomembnejši dejavniki, ki vplivajo na proizvodnjo bioplina, so:

- Redoks potencial: med -400 in -100 mV.
- Temperatura: procese glede na temperaturo ločujemo v tri tipe, in sicer psihrofilne (pod 25 °C), mezofilne (25 – 45 °C) in termofilne (45 – 65 °C). Običajno anaerobna razgradnja poteka v mezofilnih ali termofilnih pogojih.
- Substrat: za anaerobno razgradnjo uporabljamo odpadno organsko biomaso, ki daje različne donose bioplina glede na svojo sestavo, ali pa dražje energetske rastline (koruza, oljne rastline), ki dajejo večji izplen bioplina.
- pH: Optimalni pH za anaerobno metanogeno razgradnjo je med $6,8$ in $7,5$.
- C/N razmerje: Primerno razmerje med ogljikom

in dušikom (C/N) za anaerobno razgradnjo je med 20 in 30 . Pri odstopanju od tega intervala se zmanjša donos bioplina.

- Inhibitorji: organski odpadki živinorejski farm in rastlin velikokrat vsebujejo toksične snovi, kot so dezinfekcijska sredstva, pesticidi, antibiotiki, prevelike količine amonijaka, sulfata in težkih kovin, ki inhibirajo rast, metabolizem in razmnoževanje mikrobov.
- Mešanje: za prenos substrata do mikroorganizmov, razredčevanje inhibitorjev in zagotavljanje enakomernega pH ter temperature je v bioreaktorju potrebno mešanje z mešali, črpalkami, pihalniki.
- Inokulum: aktivni mikroorganizmi, ki proizvajajo metan, so ključnega pomena za uspešen začetek bioprocasa. Volumen inokuluma mora biti nad 10 % delovnega volumna bioreaktorja in ga ponavadi vnesemo iz enega od delujočih bioreaktorjev (Liu in sod., 2011).

Anaerobne mikroorganizme, ki sodelujejo pri proizvodnji bioplina, lahko razdelimo na dve skupini, nemetanogene bakterije in metanogene arheje (Liu in sod., 2011). Med nemetanogene uvrščamo fermentativne bakterije, vodik proizvajajoče acetogene bakterije in homoacetogene bakterije. Prve opravijo fazi hidrolize in acidogeneze, nekateri najbolj znani rodovi iz te skupine pa so *Clostridium*, *Bacteroides* in *Butyrivibrio*, pri čemer je bila posebej med klostridiji odkrita velika pestrost. Tudi nekatere anaerobne glive delujejo podobno kot fermentativne bakterije. Vodik proizvajajoče acetogene bakterije metabolizirajo C_3 ali višje organske kisline, etanol, nekatere aromatske spojine, H_2 in CO_2 , kar ni termodinamsko ugodno in zato predstavlja omejujoč faktor. Nekateri znani rodovi so *Syntrophomonas*, *Syntrophobacter*, *Fusobacterium* in *Pelobacter*. Homoacetogene bakterije so miksotrofi in lahko uporabljajo H_2 in CO_2 ali nekatere organske spojine za produkcijo očetne kisline, s čimer povečujejo koncentracijo očetne kisline za nastajanje metana ter tudi ohranjajo nizek parcialni pritisk vodika. Funkcija teh bakterij v anaerobni razgradnji še ni popolnoma znana. Ocenjeno je, da proizvedejo 1 – 4 % očetne kisline v digestorju. Poznane homoacetogene bakterije so *Acetobacterium woodii*, *Acetobacterium wieringae* in *Clostridium thermoautotrophicum* (Liu in sod., 2011; Ziganshina in sod., 2014).

Metanogene arheje, ki pretvarjajo anorganske in organske spojine v metan in ogljikov dioksid, razdelimo v dve skupini: tiste, ki uporabljajo acetat, in tiste, ki uporabljajo vodik in CO_2 . Najpomembnejše vrste so iz rodov *Methanobacterium*, *Methanospirillum* in *Methanosarcina*. Metanogene arheje živijo v obligatnem sinotrofičnem odnosu z acetogenimi bakterijami. Zaradi termodinam-

skih razlogov lahko acetogene bakterije razgradijo maščobne kisline od C3–C6 le, ko produkte te razgradnje učinkovito odstranjujejo metanogene arheje (Worm in sod., 2014).

3 BIOPLINSKE NAPRAVE IN SUBSTRATI ZA PROIZVODNJO BIOPLINA

Bioplinska naprava je bioreaktor, ki omogoča proizvodnjo bioplina, energetske izrabo bioplina in hkrati nadzor onesnaževanja. Na voljo je več različnih tipov bioplinarn in različnih tehnologij, njihova uporaba pa je odvisna od vrste substrata, ekonomske situacije in energetske politike. Bioplinske naprave po velikosti razvrstimo v mikro (do 50 kW), majhne (do 1000 kW), srednje (med 1 in 10 MW) in velike (več od 10 MW) (Borroni in Sakulin, 2010).

Kmetijska bioplinska naprava je namenjena razgradnji gnojevke in ostalih kmetijskih odpadnih organskih snovi za produkcijo bioplina. Kmetijska bioplinska naprava običajno vsebuje sledeče sestavne dele: zbirna jama za gnojevko, eden ali več digestorjev, plinohram, oprema za čiščenje in obdelavo bioplina, eden ali več končnih rezervoarjev za shranjevanje predelane (bioplinske) gnojevke, ena ali več kombiniranih toplotnih enot in oprema, potrebna za dovajanje električne energije v javno omrežje in izkoriščanje nastale toplotne energije (Liu in sod., 2011). V zbirni jami se zbira gnoj, gnojevka in/ali drugi organski odpadki in se homogenizira. Glede na vrsto substrata ima lahko zbirna jama še dodatno tehnično opremo, kot so mešalnik, drobilnik in črpalke. Digestor je lahko narejen iz različnih materialov (armiran beton, jeklo, plastična masa ...) in obrnjen navpično ali vodoravno. Opremljen je z mešalnikom in opremo za zbiranje bioplina ter ogrevan, da je zagotovljena konstantna proizvodnja bioplina. V plinohramu se zbira plin do nadaljnje predelave. Lahko je sestavni del digestorja ali ločena enota. V kogeneracijski enoti se bioplin, ki se mu predhodno z ustreznimi filtri odstranijo vodikov sulfid in voda, sežiga v motorju z notranjim izgorevanjem, pri čemer nastajata toplotna in električna energija (Deublein in Steinhauser, 2008).

Obstaja več različnih postopkov fermentacije organskih snovi do bioplina. Uporabljajo se šaržni in kontinuirni procesi. Pri šaržnem se digestor napolni naenkrat in substrat se počasi razgrajuje brez dodajanja ali odvzemanja do konca procesa. Šaržna fermentacija traja od 40 do 100 dni. Lahko se postavi več zaporednih šaržnih digestorjev, vendar so pri tem stroški višji. V takšnem sistemu potekajo v različnih digestorjih različne faze razgradnje. Pri kontinuirnem procesu se ves čas dodaja svež substrat in odvzema digestat. Prednosti so krajši čas zadrževanja

substrata (od 10 do 30 dni) in konstantna proizvodnja bioplina s konstantno sestavo. Slabosti so višji stroški in večja poraba energije zaradi segrevanja in mešanja (Deublein in Steinhauser, 2008).

Substrati za proizvodnjo bioplina se uvrščajo v biomaso, ki je alternativni vir energije. Vse rastline in živali v nekem ekosistemu pripadajo biomas. Tudi hrana, iztrebki in bioodpadki iz gospodinjstev in industrije so biomasa. Biomasa, ki se lahko uporablja za proizvodnjo bioplina, se glede na vir deli na naslednje kategorije:

- B1 – energetske rastline – olesenele in neolesenele rastline, ki se gojijo posebej za energetske namene,
- B2 – biorazgradljivi deli produktov, ostankov in odpadkov iz kmetijstva; vključuje snovi rastlinskega in živalskega izvora,
- C1, C2 – biorazgradljivi industrijski in komunalni odpadki

V kmetijskih bioplinarnah kot substrate največ uporabljajo živinsko gnojevko in energetske rastline. Vedno več se uporabljajo tudi kmetijski odpadki in stranski proizvodi, organski del komunalnih odpadkov, organski odpadki prehranske industrije in kanalizacijska gošča (Borroni in Sakulin, 2010).

Bioplin lahko direktno pretvorimo v električno moč v gorivni celici, ga sežigamo, pri čemer se sprošča toplota, ali ga sežigamo za soproizvodnjo toplote in električne energije. Možno je tudi napajanje v mrežo zemeljskega plina ali uporaba kot gorivo za motorna vozila. Bioplin, ki pride iz digestorja, ni čist, ampak vsebuje paro, prah in sledi H₂S, NH₃. Te nečistoče je potrebno odstraniti, glede na nadaljnjo uporabo bioplina. Trdne delce prefiltrirajo z zbiralniki prahu, brozga in pena se odstranita s ciklonskimi separatorji, odstranjevanje plinov v sledih izvedejo v več korakih. Prvi je odstranitev vodikovega sulfida, sledi ločevanje ogljikovega dioksida in drugih neželenih plinskih komponent, na koncu pa še razvlaževanje. Prvi in tretji korak sta prisotna v skoraj vsaki bioplinski napravi. Odstranjevanje ogljikovega dioksida in drugih plinskih komponent je potrebno le, če se bioplin napaja v plinovodno omrežje ali če se uporablja kot pogonsko gorivo za vozila (Deublein in Steinhauser, 2008).

Neposredno izgorevanje bioplina je najpreprostejši način uporabe in je najpogostejši v državah v razvoju. Občasno se uporablja tudi v razvitih državah v gorilnikih za zemeljski plin. Za pridobivanje toplote bioplin ne potrebuje izboljšave, a mora skozi proces kondenzacije, odstranitve delcev, stiskanja, ohlajanja in dehidracije (Holm-Nielsen in sod., 2009). Naprave za soproizvodnjo toplote in električne energije (SPTE naprave) so v slovenskih bioplinarnah zelo pogoste. Pred uporabo v SPTE napravi je potrebno bioplin osušiti. V Evropi se največ uporablja štiritačni motor z notranjim izgoreva-

njem. Novejše tehnologije, kot na primer gorivne celice ali plinske mikroturbine so redko v uporabi (Deublein in Steinhauser, 2008). Za dovajanje bioplina v omrežje zemeljskega plina (česar v Sloveniji še ne izvajamo) in uporabo kot gorivo za vozila ga je potrebno očistiti do t.i. biometana, ki mora vsebovati vsaj 99 % metana. Obstaja veliko različnih metod čiščenja bioplina, najpomembnejše so absorpcija, adsorpcija, membransko in kriogeno odstranjevanje. Odstranjen CO_2 se običajno spušča nazaj v atmosfero, v nekaterih primerih pa se lahko uporabi za povečevanje koncentracije CO_2 za fotosintezo v rastlinjaki in za karbonizacijo v živilski industriji (Starr in sod., 2012).

4 DIGESTAT ALI BIOPLINSKA GNOJEVKA KOT STRANSKI PROIZVOD BIOPLINSKE TEHNOLOGIJE

Presnovljen substrat se lahko uporabi kot gnojilo, in sicer v tekoči ali dehidrirani obliki. Bioplinska gnojevka ima v primerjavi z neobdelano manjše razmerje C/N, manjšo vsebnost suhe snovi, večjo vsebnost NH_4^+ in manjšo vsebnost KMK, ki sicer sproščajo neprijeten vonj. Zaradi zmanjšane vsebnosti suhe snovi se lahko presnovljen substrat hitreje vsrkava v zemljo, pri čemer se zmanjšajo emisije amonijaka pri gnojenju (Amon in sod., 2006).

5 PRISPEVEK BIOPLINSKIH TEHNOLOGIJ K ZMANJŠEVANJU TOPLOGREDNEGA UČINKA

Bioplin se pogosto uporablja kot zamenjava za fosilna goriva, s tem pa se zmanjšujejo emisije CO_2 . CO_2 sicer nastaja med anaerobno razgradnjo in izhaja med izgorevanjem bioplina, a izvira iz rastlin, ki so ga pred kratkim vgradile prek fotosinteze, zato te emisije na daljši rok ne bodo povzročile akumulacije CO_2 v atmosferi, vse dokler ga bodo nove rastline vgrajevale naprej. Pri izgorevanju fosilnih goriv izhaja CO_2 , ki se je vgradil pred 50 do 500 milijoni let. Regeneriranje fosilnih goriv traja zelo dolgo, zato izgorevanje fosilnih goriv prispeva k neto akumulaciji CO_2 v atmosferi. Pri proizvodnji bioplina se porabi veliko manj fosilnih goriv (npr. gorivo za transport), kot se jih nadomesti z uporabo bioplina (Berglund, 2006).

Živinska gnojila vsebujejo velike količine ogljika, ki služi kot vir hranil za mikroorganizme. Pri shranjevanju živinskih gnojil se organska snov v anaerobnih pogojih mikrobnoma razgrajuje, pri tem nastajata CH_4 in CO_2 , ki se nekontrolirano sproščata v ozračje in povečujeta toplogredni učinek. Tudi določen delež dušika, ki ga izločijo

živali, se po mikrobnih pretvorbah sprosti v ozračje kot N_2O med shranjevanjem živinskih gnojil. N_2O nastaja iz dušikovih spojin v procesu nitrifikacije in denitrifikacije. Med nitrifikacijo se dušik iz sečnine in amonijaka oksidira preko nitrita do nitrata. Če temu sledi anaerobna faza denitrifikacije, iz nitrita nastaja N_2O kot vmesni produkt in uhaja v ozračje. Med anaerobno razgradnjo se ogljik, ki predstavlja energijo, potrebno za denitrifikacijo, vključuje v mikrobnoma biomasa ali pa se pretvori v CH_4 in CO_2 . Če pa izvajamo anaerobno razgradnjo živinskih gnojil pri kontroliranih pogojih (proizvodnja bioplina), ves nastali CH_4 lahko zajamemo in pretvorimo v energijo. S tem ne le zmanjšamo emisije CH_4 , ki ima do 24-krat večji toplogredni učinek kot CO_2 , ampak tudi zmanjšamo porabo fosilnih goriv, torej gre za dvakratni prispevek k zmanjševanju učinka tople grede (Amon in sod., 2006). Amon in sodelavci (2006) so preučevali emisije CH_4 in N_2O v atmosfero med shranjevanjem in po uporabi surove gnojevke na polju. Iz neobdelane gnojevke so med shranjevanjem in po uporabi na polju izhajali toplogredni plini (TGP) v obsegu 92,4 ekv. $\text{kg CO}_2/\text{m}^3$. Po anaerobni razgradnji so se emisije TGP zmanjšale na 37,9 ekv. $\text{kg CO}_2/\text{m}^3$. Kontrolirana anaerobna obdelava gnojevke v bioplinarni je dobra rešitev za zmanjševanje izpustov CH_4 in N_2O ter tudi zmanjševanje neprijetnih vonjav, saj se amonijak, ki je glavni vir neprijetnih vonjav, v bioplinskem procesu reducira do raztopljenega amonijevega iona, ki ne povzroča smradu.

V Sloveniji prispeva govedoreja kar 82 % izpustov CH_4 . Od leta 1986 do 2011 so se izpusti CH_4 v kmetijstvu zmanjšali za 7,2 %, izpusti N_2O pa za 21,3 %. K zmanjšanju je največ prispevala govedoreja, pri kateri so se precej zmanjšali izpusti CH_4 zaradi fermentacije v prebavilih ter izpusti N_2O pri skladiščenju živinskih gnojil. To je predvsem posledica izboljšane učinkovitosti reje. V prašičereji pa so se izpusti zmanjšali tudi zaradi izboljšane načina ravnanja z živinskimi gnojili. Izpusti CH_4 na uhlevljeno žival pri skladiščenju prašičjega gnoja so se zmanjšali za 20 % zaradi separacije gnojevke in njene obdelave v anaerobnih digestorjih za pridobivanje bioplina (Verbič in Mekinda Majaron, 2013). V slovenski živinoreji obstaja kar precejšen potencial za dodatno zmanjšanje izpustov toplogrednega CH_4 z obsežnejšo predelavo živinskih gnojil v kmetijskih bioplinskih napravah. Trenutno ta dejavnost poteka v majhnem obsegu.

6 PREGLED STANJA NA PODROČJU PROIZVODNJE BIOPLINA V SLOVENIJI

V letu 2013 je bila Slovenija v 51,3 % energetsko odvisna od uvoza energije. V strukturi bruto domače porabe so kot vir energije prevladovali naftni proizvodi

Preglednica 1: Višina podpor električni energiji proizvedeni iz bioplina v letu 2014 (*Biomethane Regions, 4. novice, 2013: 4*)

Table 1: The subsidies for the electricity produced from biogas in year 2014 (*Biomethane regions, 6. Novice, 2014:6*)

Velikostni razred proizvodne naprave	Zagotovljeni odkup (€/MWh _{el})		Obratovalna podpora (€/MWh _{el})	
	B1 in B2 vhodni substrat (energetske rastline)	C1 in C2 vhodni substrat (biološko razgradljivi odpadki)	B1 in B2 vhodni substrat (energetske rastline)	C1 in C2 vhodni substrat (biološko razgradljivi odpadki)
Mikro (do 50 kW)	165,55	139,23	127,44	101,12
Mala (do 1 MW)	161,75	139,23	122,34	99,82
Srednja (do 10 MW)	147,77	129,15	107,92	89,30

s 35 % deležem, obnovljivi viri energije (OVE) brez hidro energije pa so predstavljali le 9,2 %. Ostali del je bil razdeljen med zemeljski plin, jedrsko in hidro energijo, trdna goriva in neobnovljive industrijske odpadke. Poraba bioplina je bila 5,4 % v strukturi porabe obnovljivih virov energije (brez hidro energije) (Energetska bilanca Republike Slovenije za leto 2013). Direktiva 2009/28/ES Evropskega parlamenta in sveta z dne 23. aprila 2009 o spodbujanju uporabe energije iz obnovljivih virov, spremembi in poznejši razveljavitvi direktiv 2001/77/ES in 2003/30/ES za Slovenijo določa, da mora do konca leta 2020 doseči najmanj 25 % delež OVE v rabi bruto končne energije in 10 % delež OVE v prometu, kar je tudi zapisano v Nacionalnem akcijskem načrtu za obnovljive vire energije. K povečani porabi OVE lahko prispeva tudi kmetijski sektor z bioplinom (Akcijski načrt za obnovljive vire energije 2010–2020). V Akcijskem načrtu za energetska učinkovitost je zapisano, da bo Slovenija do leta 2020 za 20 % zmanjšala skupne emisije toplogrednih plinov glede na leto 1990.

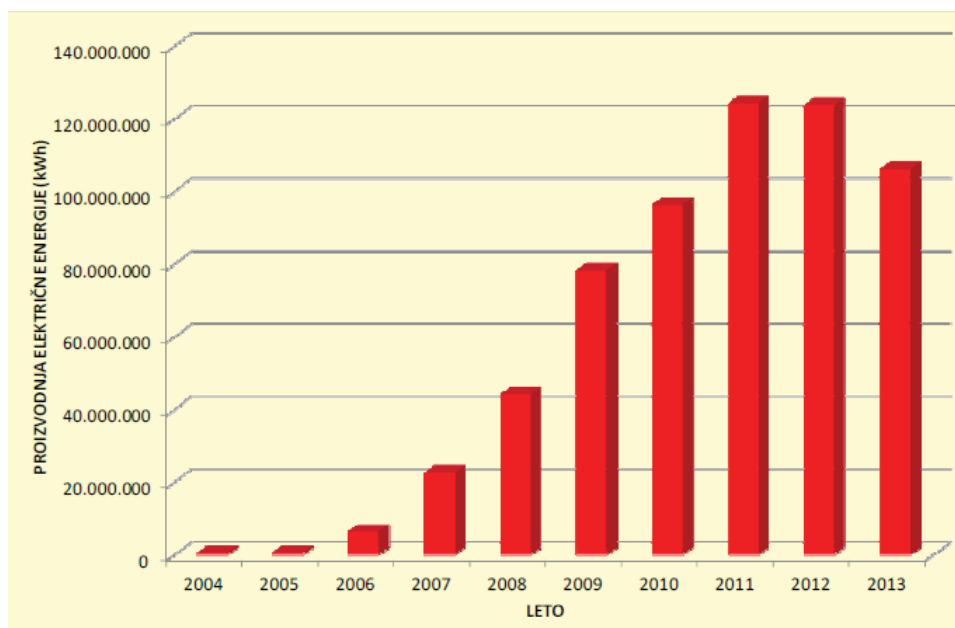
Pred letom 2002 je bilo pridobivanje bioplina z anaerobno razgradnjo omejeno na bioplin iz čistilnih naprav in zajetje deponijskega plina na deponijah komunalnih odpadkov. Pridobivanje plina iz odpadkov in ostankov kmetijstva je bilo pred tem letom omejeno na eno samo napravo, in sicer na prašičjo farmo Ihan (Kranjc in sod., 2010). Razvoj bioplinarn se je v Sloveniji začel po letu 2002, ko je vlada Republike Slovenije zagotovila ustrezne odkupne cene in premije za kvalificirane proizvajalce električne energije in se je povečal interes za izgradnjo bioplinarn na kmetijske odpadke na velikih živinorejskih farmah (Poje, 2011). Priložnost za gradnjo bioplinarn so izkoristile predvsem večje kmetije in investitorji, ki so načrtovali bioplinarne naprave nad 1 MW_{el}. Velike bioplinarne naprave so začele bioplin proizvajati pretežno iz načrtno gojenih, pogosto uvoženih energetskih rastlin. V letu 2008 se je stanje na trgu EU spremenilo in prišlo je do velikega zvišanja cen kmetijskih rastlin, na primer koruze, kar je porušilo njihovo ekonomsko vzdržnost (Grmek, 2009). V letu 2009 je stopila v veljavo nova shema podpor proizvodnji zelene

elektrike. Podpore sestavljata zagotovljeni odkup električne energije in finančna pomoč za poslovanje (obratovalna podpora). Na podlagi zagotovljenega odkupa center za podpore, ne glede na ceno električne energije na trgu, odkupi vso prevzeto neto proizvedeno električno energijo po zagotovljenih cenah energije, določenih z uredbo. Obratovalna podpora se dodeli neto proizvedeni električni energiji, ki ima potrdilo o izvoru in jo proizvajalci električne energije prodajajo na trgu (Kranjc in sod., 2010; Biomethane Regions, 4. novice, 2013).

Ker je bilo v Sloveniji leta 2010 večino bioplina proizvedenega iz koruze in koruzne silaže, je leta 2011 prišlo do spremembe v Uredbi, po kateri so višine podpore odvisne tudi od vrste vhodnih substratov (pregl. 1). Če gnoj in gnojevka letno predstavljata prostorninsko več kot 30 % substrata, je bioplinarna naprava upravičena do dodatka v višini 10 % obratovalne podpore, če pa predstavljata več kot 70 % substrata, je naprava upravičena do dodatka v višini 20 % obratovalne podpore. S tem se spodbuja uporaba gnoja in gnojevke namesto energetskih rastlin za proizvodnjo bioplina, kar podpira trajnostni razvoj in realno omejuje emisije TPG. Za naprave, nastale po 1. 7. 2012, dodatno velja, da če uporabljajo več kot 40 % prostorninskih odstotkov načrtno proizvedenih energetskih rastlin, niso upravičene do podpore (Določanje višine podpor električni energiji proizvedeni iz OVE in SPTE in višine podpor v letu 2014, 2014).

V Sloveniji je bilo leta 2013 24 delujočih bioplinarn naprav z deklaracijami in skupno nazivno močjo 33,6 MW_{el}, njihova povprečna velikost pa je bila 1 MW_{el}, proizvedle so več kot 10⁷ kWh električne energije (slika 1). Največja bioplinarna je v Lendavi (Ecos d.o.o.) Njena nazivna moč je 7 MW_{el} in kot substrat uporablja le koruzno in drugo silažo (Biomethane Regions, 6. novice, 2014).

Bioplinarne naprave v Sloveniji kot substrat v največjem deležu uporabljajo energetske rastline, ki dajo dober izkoristek metana. Gnojevka se uporablja v manjši meri. Bioplinarne, ki so pridobile obratovalno dovoljenje pred letom 2011, imajo sklenjene pogodbe, ki jim 15 let zagotavljajo subvencionirano odkupno ceno elektrike ne



Slika 1: Proizvodnja električne energije iz bioplina v Sloveniji od leta 2004 do leta 2013 (Biomethane Regions, 6. novice, 2014: 3)

Figure 1: Production of electric power from biogas between years 2004 and 2013 in Slovenia (Biomethane Regions, 6. Novice, 2014: 3)

glede na vrsto uporabljenih substratov. Višina podpore bioplinarnam vpliva na pridelovalce tako, da uporabljajo kosubstrate (predvsem koruzno silažo) in odpadke, pridelane izven kmetij, ki jih dodajajo gnojevki. Med odpadki, ki jih uporabljajo kmetijske bioplinarne, prevladujejo odpadki iz živilske industrije in komunalnih dejavnosti. Za doseganje večjih donosov bioplina slovenske bioplinarne največ uporabljamo koruzno silažo. V prihodnosti bi bila za bioplinarne lahko zanimiva tudi raba bioremediacijskih rastlin s površin, ki so kontaminirane s težkimi kovinami, vendar bioplinarska gnojevka potem ne bi bila uporabna kot gnojilo. Tla bi se tako postopoma očistila (Country Specific Conditions and barriers to Implementation for Anaerobic Digestion). Prav tako bi lahko koruzno silažo nadomestili in povečali izplen bioplina v kmetijskih bioplinarskih napravah z načrtnim gojenjem sekundarnih posevkov na obstoječih kmetijskih površinah in s pridelavo ustrezne biomase na opuščeni in manj kakovostnih kmetijskih površinah (Pšaker, 2011). Živalska gnojila, predvsem gnojevka in gnojnica, imata za pridelavo bioplina nekoliko neugodno razmerje C/N, z dodajanjem rastlinske biomase pa je možno razmerje ustrezno povečati. V Sloveniji se je leta 2011 Kmetijski inštitut Slovenije vključil v EU projekt »Biomethane Regions«, ki spodbuja razvoj proizvodnje metana iz živalskih in rastlinskih odpadkov in uporabo v javnem omrežju zemeljskega plina ter za pogon vozil (Biomethane Regions, 1. novice, 2011).

Bioplinarske naprave, ki so odmaknjene od večjih naselij in mest in ne morejo izkoristiti vse presežne to-

plotne energije, so primerne za dovajanje metana v javno plinovodno omrežje. Bioplin lahko očistijo do čistega metana (biometan) direktno na bioplinarskih napravah in ga vbrizgajo v javno omrežje ter s tem transportirajo do potencialnih uporabnikov na velike razdalje. Takšno rešitev bi v Sloveniji lahko uporabili na kmetijah, ki imajo nad 150 GVŽ. To bo izvedljivo, ko bo obstajala pravna in tehnična zakonodaja za vbrizgavanje biometana v obstoječe plinsko omrežje (Biomethane Regions, 4. tehnične novice, 2013), zaenkrat pa te možnosti še ni.

V zadnjih letih se je v Evropski uniji povečal interes za mikro bioplinarske naprave, ki tudi za Slovenijo predstavljajo najprimernejši način proizvodnje bioplina. To so naprave z močjo, manjšo od 50 kW. Njihove prednosti so, da so zasnovane kot manjši objekti, zato na kmetiji ni potrebno žrtvovati veliko prostora. Lahko jih načrtujemo tako, da se tudi arhitekturno ujamejo s krajino, kar je zelo pomembno na turističnih kmetijah. Veliko prednost imajo tudi v primeru naravnih nesreč, ko pride do energetskih izpadov, saj so manj ranljive od velikih sistemov in zagotavljajo lastno energetsko oskrbo. Lahko se jih postavi v kontejnerski izvedbi in ni potrebno opravljati večjih gradbenih del. Koncept mikro bioplinarske naprave je v Sloveniji predstavilo podjetje Omega Air (Omega Air) iz Ljubljane (Biomethane Regions, 3. tehnične novice, 2012). Podjetje Omega Air se je v zadnjih dveh letih uveljavilo kot edini ponudnik kmetijskih mikrobioplinarskih naprav, ki ponuja kompletno načrtovanje in postavitev bioplinarske naprave. Podjetje zaposluje ustrezno uspo-

sobljen multidisciplinarni tim, česar do sedaj v Sloveniji nismo imeli, in smo bili vezani na tuje ponudnike.

V Sloveniji imamo tudi velik potencial za izrabo gospodinjskih organskih odpadkov, ki jih lahko dodajamo v kmetijske bioplinarne za povečanje razmerja C/N in s tem povečamo proizvodnjo bioplina. Poleg tega kot ko-substrate lahko uporabljamo tudi odpadke iz proizvodnje mleka, iz klavnic, iz prehranske industrije, industrije pi-jač ... Za uspešno anaerobno razgradnjo sta pomembni sestava in kakovost substrata, zato je potrebno gospodinjske organske odpadke predhodno obdelati (mletje) in sanitirati, kar povzroči nekaj dodatnih stroškov in dodatne porabe energije (Cesaro in Belgiorno, 2014).

7 ZAKLJUČKI

V Sloveniji imamo le pet kmetijskih bioplinarn, ki anaerobno presnavljajo gnojevko in/ali gnoj rejnih živali ter druge organske odpadke iz agroživilskega sektorja ter na ta način le v majhnem deležu prispevajo k zmanjšanju emisij toplogrednih plinov iz kmetijstva. Dostopnost investicijskih kreditov, državne podpore zeleni energiji, ugodne odkupne cene bioplinske elektrike in zakonodaja pred letom 2011 so vzpodbudile za slovenski prostor neustrezno rast velikih bioplinarn (nad 1 MW_e) po letu 2002. Tako večina slovenskih bioplinarn trenutno proizvaja bioplin iz koruze in koruzne silaže. V stremljenju po dobičku so predvsem v SV Sloveniji nekateri živinorejci opustili rejo več sto glav goveda in začeli koruzo pridelovati izključno za proizvodnjo bioplina. Ker so bile investicije v bioplinarne načrtovane v prevelikem obsegu, je večina pomurskih bioplinarn danes v finančnih težavah in ne obratuje s polno zmogljivostjo. Preusmeritev velikih slovenskih bioplinarn na odpadne agro-živilske substrate je težavna, ker bi bile potrebne dodatne investicije v prilagoditev tehnologij in pridobitev okoljevarstvenih dovoljenj (OVD). Pridobivanje OVD (po Zakonu o varstvu okolja; Ur. list RS, št 39/2006) za velike bioplinarne je v Sloveniji trenutno zelo zapleten postopek, saj OVD nasprotujejo civilne iniciative, podobno kot izbiram lokacij za deponije odpadkov in sežigalnicam. Za kmetijski sektor (in slovenski prostor nasploh) so primerne manjše mikrobioplinarne, ki živinska gnojila in odpadno kmetijsko biomaso predelajo na mestu nastanka, ne obremenjujejo okolja s transportom substratov in digestat (bioplinsko gnojevko) uporabijo za gnojenje kmetijskih površin.

8 VIRI

- Bannink A., Valk H., Van Vuuren A.M. 1999. Intake and Excretion of Sodium, Potassium and Nitrogen and the Effects on Urine Production by Lactating Dairy Cows. *Journal of Dairy Science*, 82: 1008–1018. doi:10.3168/jds.S0022-0302(99)75321-X
- Akcijski načrt za obnovljive vire energije za obdobje 2010–2020. 2010. Ljubljana: 134 str. http://www.mgrt.gov.si/fileadmin/mgrt.gov.si/pageuploads/Energetika/Porocila/AN_OVE_2010-2020_final.pdf (15. maj 2014)
- Al-Mansour F. 2008. Regionalna strategija in akcijski plan za razvoj proizvodnje bioplina v Sloveniji. Ljubljana, Inštitut Jožef Štefan. http://www.kis.si/datoteke/File/kis/SLO/MEH/Biogas/STRATEGIJA_RAZVOJA_BIOPLINSKIH_NAPRAV.pdf (15. maj 2014)
- Amon B., Kryvoruchko V., Amon T., Zechmeister-Boltenstern S. 2006. Methane, nitrous oxide and ammonia emissions during storage and after application of dairy cattle slurry and influence of slurry treatment. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 112: 153–162. doi:10.1016/j.agee.2005.08.030
- Berglund M. 2006. Biogas Production from a Systems Analytical Perspective. Lund, Lund University, Faculty of Engineering: 59 str.
- Biomethane Regions, 1. novice. 2013. Jejčič V. (ur.). Ljubljana, Kmetijski inštitut Slovenije: 7 str. http://www.kis.si/datoteke/file/kis/SLO/MEH/Biomethane/D6.1.2_NOVICE_1_BIOMETHANE_REGIONS_JUNIJ_2011.pdf (15. maj 2014)
- Biomethane Regions, 3. novice. 2012. Poje T. (ur.). Ljubljana, Kmetijski inštitut Slovenije: 8 str. http://www.kis.si/datoteke/file/kis/SLO/MEH/Biomethane/e-novice/NOVICE_3_BIOMETHANE_REGIONS_SEPTEMBER_2012.pdf (15. maj 2014)
- Biomethane Regions, 3. tehnične novice. 2013. Jejčič V. (ur.). Ljubljana, Kmetijski inštitut Slovenije: 17 str. http://www.kis.si/datoteke/file/kis/SLO/MEH/Biomethane/e-novice/TEHNICNE_NOVICE_3_BIOMETHANE_REGIONS_OKTOBER_2012.pdf (15. maj 2014)
- Biomethane Regions, 4. novice. 2013. Jejčič V. (ur.). Ljubljana, Kmetijski inštitut Slovenije: 8 str. http://www.kis.si/datoteke/file/kis/SLO/MEH/Biomethane/e-novice/NOVICE_4_BIOMETHANE_REGIONS_MAREC_2013.pdf (15. maj 2014)
- Biomethane Regions, 4. tehnične novice. 2013. Jejčič V. (ur.). Ljubljana, Kmetijski inštitut Slovenije: 10 str. http://www.kis.si/datoteke/file/kis/SLO/MEH/Biomethane/e-novice/TEHNICNE_NOVICE_4_BIOMETHANE_REGIONS_JULIJ_2013.pdf (15. maj 2014)
- Biomethane Regions, 6. novice. 2014. Jejčič V. (ur.). Ljubljana, Kmetijski inštitut Slovenije: 7 str. http://www.kis.si/datoteke/file/kis/SLO/MEH/Biomethane/e-novice/NOVICE_6_BIOMETHANE_REGIONS_MAREC_2014.pdf (21. avgust 2014)
- Borroni V., Sakulin C. 2010. Country specific conditions for the implementation of biogas technology, Comparison of Remuneration. *Biogas Regions*: 12 str. http://www.kis.si/datoteke/File/kis/SLO/MEH/Biogas/PRIMERJAVA_

- PLACILA_ZA_PROIZVEDENO_ELEKTRIKO.pdf (15. maj 2014)
- Cesaro A., Belgiorno V. 2014. Pretreatment methods to improve anaerobic biodegradability of organic municipal solid waste fractions. *Chemical Engineering Journal*, 240: 24–37. doi:10.1016/j.cej.2013.11.055
- Christy P. M., Gopinath L. R., Divya D. 2014. A review on anaerobic decomposition and enhancement of biogas production through enzymes and microorganisms. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 34: 167–173. doi:10.1016/j.rser.2014.03.010
- Country Specific Conditions and Barriers to Implementation for Anaerobic Digestion Plants in Slovenia. Ljubljana, Kmetijski inštitut Slovenije: 19 str. http://www.kis.si/datoteka/file/kis/SLO/MEH/Biomethane/D2.1.1_COUNTRY_SPECIFIC_CONDITIONS_AND_BARRIERS_REPORT_AIS_SLOVENIA.pdf (15. maj 2014)
- Čater M., Zrec M., Marinšek Logar R. 2014 Methods for improving anaerobic lignocellulosic substrates degradation for enhanced biogas production. *Springer science reviews*, 2: 59–61
- Deublein D., Steinhauser A. 2008. *Biogas from Waste and Renewable Resources*. Weinham, WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA: 443 str.
- Določanje višine podpor električni energiji proizvedeni iz OVE in SPTE in višine podpor v letu 2014. 2013. Ljubljana, Borzen, organizator trga z električno energijo, d.o.o.: 12 str. http://www.borzen.si/si/cp/Shared%20Documents/Podpore_slo.pdf (20. dec. 2014)
- Energetska bilanca Republike Slovenije za leto 2013. 2013. Ljubljana, Vlada Republike Slovenije: 82 str. <http://www.energetika-portal.si/dokumenti/statisticne-publikacije/letna-energetska-bilanca/> (20. dec. 2014)
- Grmek T. 2009. Potencial bioplina v Sloveniji, Zbirno poročilo. Ljubljana, Agencija za prestrukturiranje energetike d.o.o.: 14 str. http://www.big-east.eu/downloads/fr-reports/ANNEX%203-6_WP2_D2.2_Summary%20Report%20Slovenia-Slovenian.pdf (18. okt. 2014)
- Holdeman, L.V., Cato, E.P., Moore, W.E.C. 1977. *Anaerobe laboratory manual*, 4th Edition, VPI, Blacksburg, Virginia
- Holm-Nielsen J.B., Al-Seadi T., Oleskowicz-Popiel P. 2009. The future of anaerobic digestion and biogas utilization. *Biore-source Technology*, 100, 22: 5478–5484. doi:10.1016/j.biortech.2008.12.046
- Kranjc N., Mihelič M., Premrl T. 2010. Poročilo o proizvodnji bioplina v Sloveniji. Ljubljana, Gozdarski inštitut Slovenije: 15 str.
- Liu X., Yan Z., Yue Z.B. 2011. *Biogas*. V: *Comprehensive Biotechnology*. Moo-Young M. (ur.). Oxford, Elsevier: 99–144
- Omega Air. <http://www.omega-air.si/index.php?PageID=708> (15. maj 2014)
- Poje T. 2011. [KM24] Proizvodnja obnovljive energije iz kmetijskih virov. Ljubljana, Agencija Republike Slovenije za okolje. http://kazalci.arso.gov.si/?data=indicator&ind_id=467 (15. maj 2014)
- Pšaker P. 2011. Potencial kmetijstva za proizvodnjo bioplina v Sloveniji. Magistrsko delo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za zootehniko: 127 str.
- Starr K., Gabarrell X., Villalba G., Talens L., Lombardi L. 2012. Life cycle assessment of biogas upgrading technologies. *Waste Management*, 32: 991–999. doi:10.1016/j.wasman.2011.12.016
- Verbič J., Mekinda Majaron T. 2013. [KM14] Izpusti metana in didušikovega oksida. Ljubljana, Agencija Republike Slovenije za okolje. http://kazalci.arso.gov.si/print?ind_id=558&lang_id=302 (21. avgust 2014)
- Worm P., Koehorst J.J., Visser M., Sedano-Nú-ez V.T., Schaap P.J., Plugge C.M., Sousa D.Z., Stams A.J.M. 2014. A genomic view on syntrophic versus non-syntrophic lifestyle in anaerobic fatty acid degrading communities. *BBA Bioenergetics*
- Ziganshina E.E., Bagmanova A.R., Khilyas I.V., Ziganshin A.M. 2014. Assessment of a biogas-generating microbial community in a pilot-scale anaerobic reactor. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 117, 6: 730–736. doi:10.1016/j.jbiosc.2013.11.013
- Zakon o varstvu okolja (ZVO-1-UPB1). Ur.l. RS št 39-1682/2006: 4151. [https://www.uradni-list.si/1/content?id=72890#!/Zakon-o-varstvu-okolja-\(uradno-precisceno-besedilo\)-\(ZVO-1-UPB1\)](https://www.uradni-list.si/1/content?id=72890#!/Zakon-o-varstvu-okolja-(uradno-precisceno-besedilo)-(ZVO-1-UPB1)) (15. dec. 2014)