

Bibliid: 0350-2953 (2014) 40(2): 77-86
UDK: 662.767.2

Originalni naučni rad
Original scientific paper

**OCENJIVANJE ŽIVOTNOG CIKLUSA ELEKTRIČNE ENERGIJE DOBIJENE IZ
BIOGASA U POSTROJENJU „MIROTIN ENERGO“ U VRBASU
LIFE CYCLE ASSESSMENT OF ELECTRICITY GENERATED IN BIOGAS
PLANT „MIROTIN ENERGO“ IN VRBAS**

Stricky B¹, Kiss F¹, Medugorac M²

¹ Tehnološki fakultet, Univerzitet u Novom Sadu, Bul. cara Lazara 1, Novi Sad

² Mirotin Energo d.o.o., Bul. Oslobođenja 127, Novi Sad

e-mail: borisstricky@gmail.com

SAŽETAK

U radu su prikazani rezultati procene uticaja životnog ciklusa električne energije iz poljoprivrednog kogenerativnog postrojenja na biogas „Mirotin Energo“ u Vrbasu. Procena se zasniva na metodi „Ocenjivanje životnog ciklusa“ i podacima o materijalnim i energetskim tokovima proizvodnje biogasa iz 2013. godine. Rezultati analize pokazuju da je uticaj električne energije dobijene iz biogasa na globalno zagrevanje 0,234 kg CO₂ekv/kWhbiogas, dok su kumulativne potrebe za energijom iz fosilnih izvora procenjene na 0,36 kWhfosilno/kWhbiogas. Električna energija dobijena u preduzeću „Mirotin Energo“ ima znatno manje štetan uticaj na životnu sredinu od prosečne električne energije iz električne mreže u Srbiji (0,95 kg CO₂ekv/kWh i 3,05 kWhfosilno/kWh).

Ključne reči: biogas, LCA, poljoprivreda, kogeneracija

1. UVOD

U zemljama jugoistočne Evrope postoje povoljni klimatski i zemljišni uslovi i farme sa razvijenom ratarskom i stočarskom proizvodnjom (Rutz, 2010). Iz toga proizilaze mogućnosti za razvoj proizvodnje biomase, kao sirovine za proizvodnju biogasa. Biogas nastaje fermentacijom organske materije. Njegova primena je dostigla nivo visoke zrelosti u kogeneraciji (kombinovana proizvodnja električne i toplotne energije), a može se primeniti i kao gorivo u saobraćaju (Martinov i sar., 2012). Poseban značaj proizvodnje i korišćenja biogasa je sprečavanje emisija metana, koje bi nastale prirodnom razgradnjom sirovine. Najvažniji cilj izgradnje biogasnog postrojenja jeste upravo zaštita životne sredine (Martinov i sar., 2012). U Srbiji trenutno postoji nekoliko kogenerativnih biogasnih postrojenja (Tešić i sar., 2012), međutim ima veoma malo podataka o njihovom uticaju na životnu sredinu.

Cilj istraživanja je da se utvrdi uticaj životnog ciklusa električne energije dobijene iz biogasa, proizvedenog u Srbiji, na globalno zagrevanje i da se proceni njena kumulativna potreba za energijom iz fosilnih izvora (KEP). KEP je indikator koji pokazuje za koliko jedinica su se smanjile geološke rezerve fosilnih goriva pri proizvodnji jedne jedinice električne energije iz biogasa. Procena se zasniva na metodi „Ocenjivanje životnog ciklusa“ (eng. Life cycle assessment - LCA). Za razliku od ostalih metoda za procenu uticaja na životnu sredinu, koji su uglavnom ograničeni na procenu uticaja jedne od faza životnog ciklusa proizvoda (npr. sagorevanje biogasa u motoru), LCA uzima u obzir uticaje koji se

javljaju tokom celokupnog životnog ciklusa električne energije dobijene iz biogasa, počev sa proizvodnjom i transportom sirovina, preko fermentacije, i završno sa sagorevanjem biogasa u gasnom motoru.

Iako postoje brojna slična istraživanja uticaja životnog ciklusa električne energije dobijene iz biogasa u Evropi, uočeno je da rezultati procena mnogo variraju. Na primer, Börjesson (2006) navodi podatak da se emisija CO₂ u životnom ciklusu električne energije dobijene iz biogasa kreće u rasponu od 5,4 do 18 g CO₂·MJ⁻¹ u zavisnosti od korišćenih sirovina i tehnologije. Imajući u vidu specifičnosti proizvodnje biogasa u Srbiji (npr. korišćenje električne energije iz mreže u Srbiji, specifičnost sirovina itd.) neophodno je procenu uticaja zasnovati na specifičnim podacima dobijenih iz postrojenja u Srbiji.

Predmet istraživanja je kogenerativno postrojenje na biogas „Mirotin Energo“ u Vrbasu. Pomenuto kogenerativno postrojenje se sastoji iz fermentora, gde se proizvodi biogas, i kogenerativnog postrojenja sa Jenbach gasnim motorom, kao i prateće opreme potrebne za njihov rad (pumpe, kompresori, cevovodi itd.). Kapacitet postrojenja je 1 MW električne energije koja se konstantno proizvodi i predaje električnoj mreži, a toplota dobijena kogeneracijom se koristi za procesne potrebe, kao i za zagrevanje prostorija postrojenja i obližnjih poljoprivrednih gazdinstva. Glavni supstrat za fermentaciju je stočni stajnjak iz obližnje farme, a koriste se i različiti poljoprivredni otpaci, kao i namenski uzgojene sirovine u manjoj meri. Rezervoar za skladištenje ostatka fermentacije je pokriven da bi se sprečilo curenje metana u atmosferu.

2. METOD RADA

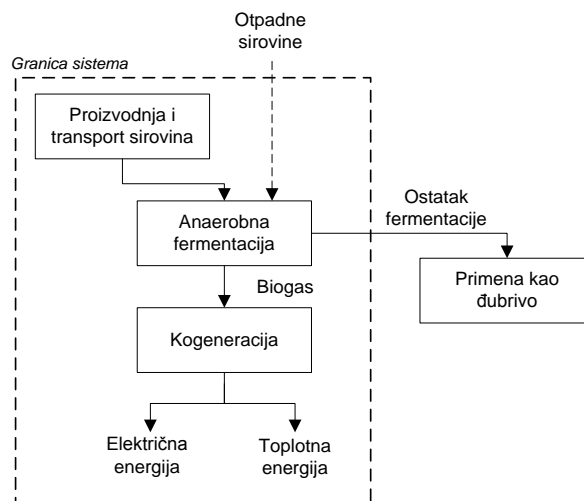
U skladu sa SRPS ISO 14040:2008 LCA se izvodi u četiri faze: i) određivanje cilja, predmeta i područja primene, ii) inventarisanje životnog ciklusa, iii) ocenjivanje uticaja životnog ciklusa i iv) interpretacija rezultata.

2.1. Predmet i područje primene

Primarna funkcija kogenerativnog postrojenja na biogas u Vrbasu je proizvodnja električne energije koja se predaje električnoj mreži. Izbor je načinjen uzimajući u obzir da se potreba za električnom energijom tokom godine ne menja značajno, što nije slučaj kod potrošnje toplotne energije, te je proizvedena toplotna energija dobijena prilikom kogeneracije u ovom postrojenju predstavljena kao sporedna funkcija sistema. Funkcionalna jedinica (FJ) je definisana kao 1 kWh proizvedene električne energije, koja se predaje električnoj mreži, dobijene sagorevanjem biogasa u Jenbach gasnom motoru u okviru kogenerativnog postrojenja „Mirotin Energo“ u Vrbasu. Pri prosečnim radnim uslovima potrošnja biogasa za dobijanje ove energije je 0,49 m³/kWh, što je ujedno i referentni tok. Analiza se zasniva na podacima o materijalnim i energetskim tokovima postrojenja u 2013. godini, samim tim rezultati LCA odražavaju prosečan uticaj životnog ciklusa električne energije proizvedene u postrojenju „Mirotin Energo“ te godine. U ovoj godini postrojenje je radilo neprekidno i proizvedeno je 8392 MWh električne energije.

Analizom su obuhvaćene tri faze životnog ciklusa (slika 1), i to: i) proizvodnja i transport sirovina, ii) fermentacija, i iii) sagorevanje biogasa u gasnom motoru. Četvrta faza životnog ciklusa, postupak sa fermentacionim ostatkom, nije obuhvaćena analizom usled nedostatka pouzdanih podataka o potencijalnom uticaju fermentacionog ostatka na životnu sredinu. Ovaj pristup je u skladu sa ranijim LCA studijama biogasa, u kojima se uticaj

fermentacionog ostatka obično pripisuje poljoprivrednoj proizvodnji kao krajnjem korisniku ovog nusproizvoda (Stucki i sar., 2011).



Sl. 1. Faze životnog ciklusa električne energije dobijene iz biogasa i granice sistema
Fig. 1. Life cycle phases of electricity from biogas and system boundaries

2.2. Inventarisanje životnog ciklusa biogasa

Pri inventarisanju prvo su određeni relevantni materijalni i energetske ulazi svake pojedinačne faze životnog ciklusa električne energije dobijene iz biogasa, a zatim su prikupljeni podaci o emisijama (izlazni elementarni tokovi) i upotrebi prirodnih resursa (ulazni elementarni tokovi) u životnom ciklusu svakog prethodno utvrđenog ulaza (tabela 1). Ukupna količina elementarnog toka i (E_i) u životnom ciklusu električne energije iz biogasa se računa po sledećem obrascu (1):

$$E_i = \sum_{j=1}^n I_j E_{i,j} \quad (1)$$

gde su:

I_j – količina ulaza j u životnom ciklusu električne energije dobijene iz biogasa

$E_{i,j}$ – količina elementarnog toka i u životnom ciklusu jedinice ulaza j

n – broj ulaza u životnom ciklusu električne energije dobijene iz biogasa

Imajući u vidu da je cilj istraživanja utvrđivanje uticaja električne energije dobijene iz biogasa na globalno zagrevanje i procena KEP životnog ciklusa, inventarisanje je ograničeno na popis elementarnih tokova vezanih za ove dve kategorije uticaja.

Pri inventarisanju životnog ciklusa korišćen je SimaPro 7 LCA računarski program. Vrsta i količina ulaza po pojedinim fazama životnog ciklusa, kao i izvor podataka o elementarnim tokovima u životnom ciklusu pojedinih ulaza dat je u poglavljima 2.2.1 – 2.2.3.

2.2.1. *Proizvodnja i transport sirovina*

S obzirom da se otpaci i proizvodi različito tretiraju u LCA, korisno je sirovine podeliti na otpatke i na namenski proizvedene sirovine za potrebe biogasnog postrojenja. Pri korišćenju otpadnih sirovina za dobijanje biogasa, celokupan uticaj životnog ciklusa nastajanja te sirovine pripisan je procesu proizvodnje u kojem ona nastaje kao otpadni tok (Poeschl i sar., 2011). Eventualni negativni uticaji uklanjanja pojedinih otpada (npr. žetveni ostaci), ili pozitivni uticaji anaerobnog tretiranja drugih (npr. stajnjaka) nisu razmatrani. Posmatranom biogasnom postrojenju se pripisuje samo uticaj transporta otpadne sirovine, pod pretpostavkom da se sirovine prevoze 5 km do fermentora kamionom (izuzev stajnjaka, koji se nalazi u okviru postrojenja).

Kod namenski proizvedenih sirovina (silažni kukuruz i tritikale) celokupni uticaj njihovog životnog ciklusa se pripisuje biogasnom postrojenju. Podaci o emisijama u životnu sredinu i utrošku prirodnih resursa prilikom uzgoja namenskih sirovina, preuzeti su iz Ecoinvent v2.0 baze podataka (ecoinvent, 2007), pri pretpostavci da se one transportuju do fermentora 5 km kamionom. Podaci o vrsti i količini sirovina korišćenih pri proizvodnji biogasa dobijeni su od preduzeća „Mirotin Energo“ (tabela 1).

2.2.2. *Fermentacija*

U fermentoru, pri anaerobnim uslovima dolazi do raspadanja organske materije pod uticajem metanogenih bakterija i dobija se biogas, koji je u stvari mešavina metana, ugljen dioksida, vodonik sulfida i ostalih gasova. Prosečan sastav biogasa proizvedenog u preduzeću „Mirotin Energo“ 2013. godine je sledeći: 52,5% CH₄, 42,5% CO₂, 1% O₂ i 125 ppm H₂S. Jedan deo nastalih gasova CO₂, CH₄ i N₂O se emituje u životnu sredinu prilikom fermentacije sirovina i skladištenja produkata. Prema Jungbluth i sar. (2007) oko 1% proizvedenog CH₄ se emituje u životnu sredinu. Prema istim autorima emisije N₂O u toku fermentacije su 0,1 kg po toni supstrata (Jungbluth i sar, 2010). Uzima se da oko 1% CO₂ nastalog u procesu fermentacije se emituje u atmosferu (Stucki i sar., 2011).

Prema podacima iz preduzeća „Mirotin Energo“, potrebna energija za rad fermentora je 9% ukupno instalisanog kapaciteta (90 kW). Električna energija za potrebe postrojenja se preuzima iz električne mreže Elektroprivrede Srbije (EPS). Potrebna toplota za rad fermentora se obezbeđuje iz kogenerativnog postrojenja.

2.2.3. *Kogenerativno postrojenje*

Kogenerativno postrojenje za kombinovano dobijanje električne i toplotne energije (KPETE postrojenje) u preduzeću „Mirotin Energo“ se sastoji od Jenbach gasnog motora koji sagoreva biogas i pokreće generator električne energije. Tokom rada, motor se zagreva, i toplota rashladnih fluida, kao i izduvnih gasova, se dalje koristi za proizvodnju toplotne energije. Emisije izduvnih gasova prilikom rada motora u prosečnom KPETE postrojenju na biogas su preuzete iz rada Stucki i sar. (2011).

Sva proizvedena električna energija se predaje električnoj mreži Srbije, a deo toplotne energije se 2013. godine iskoristio za grejanje prostorija i objekata u poljoprivrednom gazdinstvu „Sava Kovačević“. Prema podatku iz preduzeća „Mirotin Energo“ troši se 200 kW toplotne energije u grejnoj sezoni koja traje 5 meseci.

Tab. 1. Relevantni tokovi u životnom ciklusu 1 kWh električne energije dobijene iz biogasa
 Tab. 1. Relevant flows in the life cycle of 1 kWh electricity from biogas

Ulazni tokovi/Inputs	Jed./Unit	Količina/ Amount	Inventar životnog ciklusa/ Life cycle inventory
Sirovine/Raw materials			
Čvrst stajnjak/Cattle manure	kg	1,293	otpad*/waste
Kukuruzna silaža/Maize silage	kg	0,722	ecoinvent v2.01
Tritikale silaža/Triticale silage	kg	0,025	ecoinvent v2.02
Grašak/Peas	kg	0,115	otpad*/waste
Rezanac repe/Sugarbeet cutoff	kg	0,931	otpad*/waste
Surutka/Whey	l	0,032	otpad*/waste
Polutečni stajnjak/Liquid manure	kg	0,256	otpad*/waste
Uljana repica/Oilrape	kg	0,002	otpad*/waste
Senaža/Hay	kg	0,048	otpad*/waste
Suncokret/Sunflower	kg	0,009	otpad*/waste
Otpad soje/Soybean waste	kg	0,001	otpad*/waste
Otpad kukuruza/Corn waste	kg	0,000	otpad*/waste
Transport/Transport	tkm	6,97·10 ⁻⁴	ecoinvent v2.03
Fermentacija/Fermentation			
Električna energija iz mreže/ Electricity from grid	kWh	9,39·10 ⁻²	ecoinvent v2.04
CH4	g	1,837	emisija u vazduh/emission to air
CO2, biološki/CO2, biogenic	g	4,080	emisija u vazduh/emission to air
N2O	g	0,088	emisija u vazduh/emission to air
Infrastruktura/Infrastructure	p	4,61·10 ⁻⁹	ecoinvent v2.05
KPETE postrojenje/CHP plant			
Ulje za podmazivanje/Lubricating oil	g	0,003	ecoinvent v2.06
CO, biološki/CO, biogenic	kg	3,39·10 ⁻³	emisija u vazduh/emission to air
CO2, biološki/CO2, biogenic	kg	0,899	emisija u vazduh/emission to air
CH4	kg	1,13·10 ⁻³	emisija u vazduh/emission to air
NMVOC	kg	1,56·10 ⁻⁴	emisija u vazduh/emission to air
N2O	kg	5·10 ⁻⁶	emisija u vazduh/emission to air
NOx,	kg	1,84·10 ⁻³	emisija u vazduh/emission to air
KPETE postrojenje, delovi za el. energ./ CHP plant, parts for electricity only	p	9,15·10 ⁻⁹	ecoinvent v2.07
KPETE postrojenje, zajednički delovi/ CHP plant, common parts	p	8,42·10 ⁻⁹	ecoinvent v2.08
Izlazni tokovi/Outputs			
Električna energija/Electricity	kWh	1	Glavni proizvod/ Main product
Toplotna energija/Heat	kWh	0,086	Sporedni proizvod/ Co-product10
Fermentacioni ostatak/Fermented slurry	kg	-	Ne razmatra se/Not considered

Napomene: * otpadne sirovine nemaju uticaj na rezultate LCA biogasa (vidi poglavlje 2.2.1.). 1Silage maize IP, at farm/CH. 2Wheat grains IP, at farm/CH. 3Truck 28t. 4Electricity, medium voltage, production CS, at grid/CS. 5Anaerobic digestion plant covered, agriculture/CH/I. 6Lubricating oil, at plant/RER. 7Cogen unit 1MWe, components for electricity only/RER/I. 8Cogen unit 1MWe, common components for heat+electricity/RER/I. 10 Iskorišćeni deo dobijene toplotne energije.

2.3. Metod alokacije

U radu se primenjuje energetska alokacija (vidi Kiss i Bošković, 2012) za raspodelu ukupnog uticaja životnog ciklusa na dva izlazna proizvoda sistema (električna i toplotna energija). Pri čemu u razmatranje ne ulazi sva proizvedena toplotna energija, već samo ona količina koja je iskorišćena. Znajući količine proizvedene električne i iskorišćene toplotne energije (tabela 1.) uzima se da se 92% uticaja životnog ciklusa pripisuje električnoj energiji, a 8% toplotnoj.

2.4. Metod za ocenjivanje uticaja životnog ciklusa biogasa

Za procenu uticaja na globalno zagrevanje (izraženog preko kg CO₂ekv/FJ) koristi se ReCiPe 2008 (Goedkoop i sar., 2009) LCIA metod koji je izrađen u skladu sa preporukama Međunarodnog Panela o Klimatskim Promenama (IPCC). Kumulativne potrebe za energijom iz fosilnih izvora (izražene preko MJfosilno/FJ) su procenjene metodom „Cumulative energy demand (CED)“ (Frischknecht i Jungbluth, 2004). Obe ove metode su integrisane u SimaPro 7 računarski program koji je korišćen za proračune.

3. REZULTATI I DISKUSIJA

3.1. Kumulativna potreba za energijom

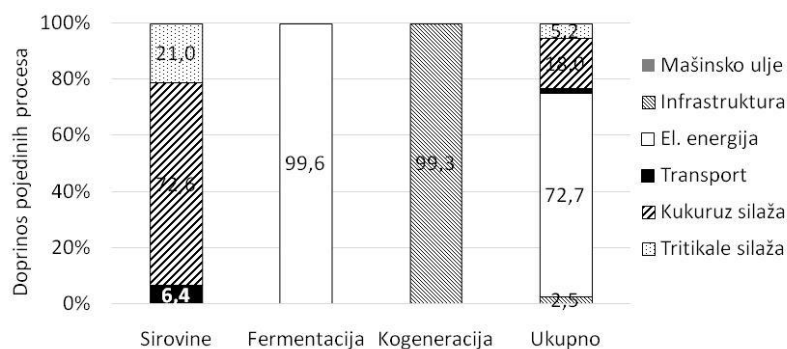
U životnom ciklusu 1 kWh električne energije iz biogasa utrošeno je 1,3 MJ energije iz fosilnih izvora (tabela 2). Odnos energije sadržane u utrošenim fosilnim gorivima i energije sadržane u električnoj energiji iz biogasa je 0,36, što ukazuje da je električna energija proizvedena u preduzeću „Mirotin Energo“ većim delom (64%) iz obnovljivih izvora.

Tab. 2. Kumulativne energetske potrebe 1 kWh električne energije iz biogasa

Tab. 2. Cummulative fossil energy demand of 1 kWh electricity from biogas

Fosilno gorivo Fossil fuel	Jedinica Unit	Ukupno Total	Sirovine Raw material	Fermentacija Fermentation	Kogeneracija Cogeneration
Ugalj (Coal)	MJfosilno	0,963	0,039	0,917	0,008
Gas (Gas)	MJfosilno	0,12	0,087	0,026	0,007
Nafta (Oil)	MJfosilno	0,229	0,2	0,015	0,014
Ostalo (Other)	MJfosilno	1,69·10 ⁻⁴	3,04·10 ⁻⁵	1,39·10 ⁻⁴	7,72·10 ⁻⁸
Ukupno (Total)	MJfosilno	1,312	0,326	0,958	0,028

Faza fermentacije je odgovorna za 73% KEP električne energije iz biogasa. Veliki udeo ove faze se može objasniti potrošnjom električne energije iz mreže EPS-a u procesu fermentacije. Proizvodnja električne energije u Srbiji se uglavnom zasniva na sagorevanju niskokaloričnog lignita, što objašnjava veliki udeo uglja u ukupnoj potrošnji fosilnih goriva (tabela 2). Proizvodnja namenski uzgajanih sirovina (silazni kukuruz i tritikale) je odgovorna za 25% KEP (tabela 2; slika 2). Korišćenje dizel goriva u motorima poljoprivredne mehanizacije i korišćenje značajnih količina prirodnog gasa u proizvodnom lancu mineralnih đubriva (pre svega azotnih) objašnjavaju visoke potrebe životnog ciklusa sirovina za energijom iz fosilnih izvora.



Sl. 2 Doprinos pojedinih procesa KEP životnog ciklusa električne energije iz biogasa
Fig. 2. Contribution of processes to CED of electricity from biogas

3.2. Uticaj na globalno zagrevanje

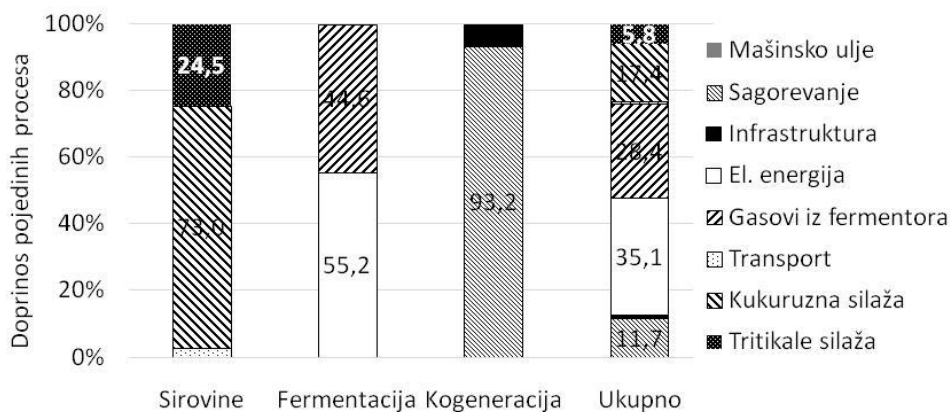
Uticaj gasova sa efektom staklene bašte (eng. Greenhouse Gases – GHG) koje se emituju u životnom ciklusu 1 kWh električne energije dobijene iz biogasa je procenjen na 0,234 kg CO₂ekv (tabela 3). Emisija CO₂, koja se uglavnom pripisuje fazi fermentacije (77%), je odgovorna za oko 40% uticaja na globalno zagrevanje. Ostatak uticaja na globalno zagrevanje se pripisuje emisijama N₂O i CH₄. Faza fermentacije je odgovorna za preko 60% ukupne emisije CH₄, dok se ostatak uglavnom oslobađa pri sagorevanju biogasa u gasnom motoru. Emisija N₂O se dobrim delom pripisuje fazi proizvodnje sirovina (tabela 3). Naime, značajna količina N₂O nastaje u procesu denitrifikacije amonijum-nitratnog đubriva koji se koristi pri gajenju silažnog kukuruza i tritikalea.

Tab. 3. Uticaj životnog ciklusa 1 kWh električne energije iz biogasa na globalno zagrevanje

Tab. 3. Life cycle global warming impact of 1 kWh electricity from biogas

Emisija Emission	Jedinica Unit	Ukupno Total	Sirovine Raw material	Fermentacija Fermentation	Kogeneracija Cogeneration
CO ₂	kg CO ₂ ekv	0,103	0,02	0,081	0,002
CH ₄	kg CO ₂ ekv	0,07	0,001	0,043	0,026
N ₂ O	kg CO ₂ ekv	0,06	0,035	0,024	0,001
Ostalo (Other)	kg CO ₂ ekv	3,32·10 ⁻⁴	1,01·10 ⁻⁴	1,75·10 ⁻⁴	5,56·10 ⁻⁵
Ukupno (Total)	kg CO ₂ ekv	0,234	0,056	0,149	0,029

Zbog korišćenja prekrivenog rezervoara za skladištenje ostatka fermentacije, emisije GHG su znatno smanjene (Stucki i sar., 2011). Uočavamo da iako je udeo faze fermentacije i dalje najveći (63%), njega najviše čini emisija CO₂, koja je najvećim delom uzrokovana korišćenjem električne energije iz električne mreže Srbije. Ovo potvrđuje i podatak da je u fazi fermentacije preko 50% emisije GHG upravo zbog potrošnje električne energije (slika 3). Doprinos faze proizvodnje i transporta sirovina ukupnom uticaju na globalno zagrevanje je manji od 25%, što se objašnjava korišćenjem otpadnih sirovina, tj. goveđeg stajnjaka i otpadne biomase okolne industrije, što ima veoma povoljan uticaj na životnu sredinu.

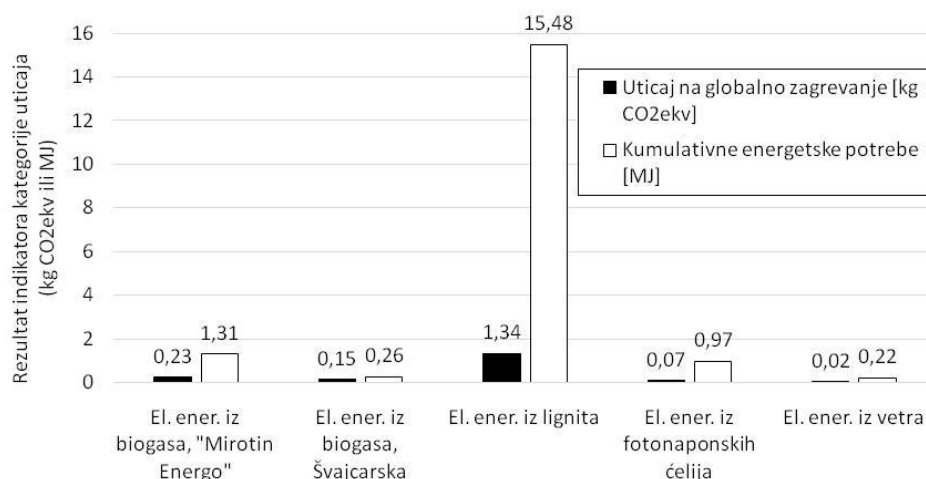


Sl. 3. Doprinos pojedinih procesa ukupnom uticaju GHG u životnom ciklusu električne energije dobijene iz biogasa

Fig. 3. Contribution of processes to GHG related impacts in the life cycle of electricity from biogas

3.3. Uporedni prikaz uticaja različitih tehnologija proizvodnje električne energije

Električna energija proizvedena u preduzeću „Mirovin Energo“ ima veći uticaj na globalno zagrevanje i utrošak fosilnih izvora energije od električne energije dobijene iz prosečnog kogenerativnog postrojenja na biogas u Švajcarskoj (slika 4). Ovo je pre svega posledica mnogostruko štetnijeg uticaja električne energije (koja se koristi za rad biogasnog postrojenja) iz električne mreže u Srbiji nego u Švajcarskoj (0,95 kg CO₂ekv/kWh i 3,05 kWh_{fossilno}/kWh naspram 0,02 kg CO₂ekv/kWh i 0,08 kWh_{fossilno}/kWh; prema podacima iz ecoinvent, 2007).



Sl. 4. Uticaj proizvodnje 1 kWh električne energije na životnu sredinu

Fig. 4. Environmental impact of 1 kWh electricity production

Električna energija proizvedena u preduzeću „Mirotin Energo“ ima znatno manje štetan uticaj na životnu sredinu od električne energije iz lignita (slika 4), goriva na koje se oslanja proizvodnja električne energije u Srbiji. Međutim, električna energija dobijena iz biogasa ima negativniji uticaj od solarnih elektrana i elektrana na vetar (prema podacima iz ecoinvent, 2007; slika 4).

4. ZAKLJUČAK

Uticaj električne energije dobijene iz biogasa u preduzeću „Mirotin Energo“ je veći od uporednih biogasnih postrojenja u Švajcarskoj, što je rezultat korišćenja električne energije iz mreže u Srbiji, koja ima znatno negativniji uticaj s aspekta globalnog zagrevanja i KEP od iste u Švajcarskoj. Sa druge strane, električna energija dobijena u ispitivanom postrojenju ima znatno manje štetan uticaj na životnu sredinu od električne energije iz električne mreže u Srbiji. Radom „Mirotin Energo“ postrojenja postiže se ekološki čistija i u većoj meri obnovljiva električna energija u Srbiji.

U ovoj studiji nisu razmatrani uticaji korišćenja fermentacionog ostatka kao đubriva, te pozitivni ili negativni uticaji ovog postupka se nisu odrazili na rezultate analize. Takođe nisu uzeti u obzir ni pozitivni efekti sprečene emisije metana, koja bi nastala pri prirodnoj razgradnji sirovine, što je nedostatak analize.

Radi potpunije analize buduća istraživanja treba usmeriti na: i) iznalaženje metoda za sagledavanje očekivanih uticaja uklanjanja žetvenih ostataka na kvalitet zemljišta i prinos ratarskih useva, ii) procenu pozitivnih efekata prerade otpada stočarske i ratarske proizvodnje, te iii) na kvantifikovanje uticaja korišćenja fermentacionog ostatka na životnu sredinu.

5. LITERATURA

- [1] Börjesson P, Berglund M (2006) Environmental systems analysis of biogas systems—Part I: Fuel-cycle emissions, *Biomass and Bioenergy*, vol. 30, p. 469-485.
- [2] ecoinvent v. 2,0 database (2007) Swiss Centre for Life Cycle Inventories. St-Gallen, Switzerland.
- [3] Frischknecht R, Jungbluth N (2004) Implementation of Life Cycle Impact Assessment Methods, Ecoinvent Report No. 3. Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, Switzerland.
- [4] Goedkoop M, Heijungs R, Huijbregts M, De Schryver A, Struijs J, van Zelm R (2009) ReCiPe 2008 – A life cycle impact assessment method which comprises harmonised category indicators at the midpoint and the endpoint level. Ministry of Housing, Spatial Planning and the Environment, Netherlands.
- [5] Jungbluth N, Chudacoff M, Dauriat A, Dinkel F, Doka G, Faist Emmenegger M, Gnansounou E, Kljun N, Schleiss K, Spielmann M, Stettler C, Sutter J (2007) Life Cycle Inventories of Bioenergy. ecoinvent report No. 17, v2.0. ESU-services, Uster, CH
- [6] Jungbluth N, Frischknecht R, Orthlieb A, Büsser S, Leuenberger M (2010) Aktualisierung und Ergänzung der naturemade Kennwertmodelle: Ökobilanzen für die Prüfung des globalen Kriteriums von Energieprodukten. ESU-services im Auftrag vom Verein für umweltgerechte Energie (VUE), Uster, Switzerland.
- [7] Kiss F, Bošković G (2012) Life cycle energy requirements of biodiesel produced from rapeseed oil in Serbia. *Journal on Processing and Energy in Agriculture*, vol. 16, no. 1, p. 28-33.

[8] Martinov M, Đatkov Đ, Golub M, Bojić S, Višković M (2012) Biometan u poljoprivredi. Traktori i pogonske mašine, vol.17, no. 4, p. 94-101.

[9] Poeschl M, Ward S, Owende P (2011) Environmental impacts of biogas deployment Part I: life cycle inventory for evaluation of production process emissions to air. Journal of Cleaner Production, vol. 24, p. 168-183.

[10] Rutz D (2010) Promoting Biogas in Eastern Europe: Final Report of the BiG>East Project, WIP Renewable Energies, Germany. Dostupno na internetu: <http://www.big-east.eu> [08/2012]

[11] Stucki M, Jungbluth N, Leuenberger M (2011) Life Cycle Assessment of Biogas Production from Different Substrates. Bundesamt für Energie BFE, Forschungsprogramm Biomasse, Bern, Switzerland.

[12] Tešić M, Sakalaš Ž, Kiš F (2012) Propisi za proizvodnju električne i toplotne energije iz biogasa u Srbiji, Hrvatskoj i Mađarskoj i njihovi efekti u praksi. Revija agronomska saznanja. vol. 22, no. 1-2, p. 23-27.

LIFE CYCLE ASSESSMENT OF ELECTRICITY GENERATED IN BIOGAS PLANT „MIROTIN ENERGO“ IN VRBAS

Stricky B¹, Kiss F¹, Medugorac M²

¹Faculty of Technology, University in Novi Sad, Bul. cara Lazara 1, Novi Sad

²Mirotin Energo d.o.o., Bulevar Oslobođenja 127, Novi Sad

e-mail: borisstricky@gmail.com

SUMMARY

In this article the life cycle environmental impact of electricity generated from biogas in the cogeneration plant „Mirotin Energo“ in Vrbas, Serbia is assessed. The assessment is based on the Life cycle assessment (LCA) method, and data on material and energy flows associated with electricity production in 2013 provided by „Mirotin Energo“. Emissions emitted during the fermentation process and combustion of biogas are calculated based on representative literature data. Life cycle impact assessment (LCIA) was limited to the assessment of global warming impact (GWI) and cumulative fossil energy demand (CED) of electricity from biogas. Assessment results have revealed that the GWI and CED of electricity from biogas are 0.234 kg CO₂ekv/kWh_{biogas} and 0.36 kWh_{fossil}/kWh_{biogas}, respectively. It was concluded that electricity generated in „Mirotin Energo“ has significantly lower environmental impact than the average electricity produced in Serbia (0.95 kg CO₂ekv/kWh and 3.05 kWh_{fossil}/kWh).

Key words: biogas, Life cycle assessment, agriculture, cogeneration

Primljeno: 10. 05. 2014. god.

Prihvaćeno: 18. 05. 2014. god.