

UDK: 662.613

*Originalni naučni rad
Original scientific paper*

OCENA EMISIJE GASOVA S EFEKTOM STAKLENE BAŠTE LANCA SNABDEVANJA KUKURUZOVINE

Miodrag Višković^{*1}, Đorđe Đatkov¹, Marko Golub¹, Omar Hijazi²,
Mathias Effenberger², Milan Martinov¹

¹ Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka,
Departman za inženjerstvo zaštite životne sredine i zaštite na radu, Novi Sad, Srbija

² Bavarski državni istraživački centar za poljoprivredu,
Institut za poljoprivredno inženjerstvo i stočarstvo, Freising, Nemačka

Sažetak: U okviru istraživanja su, za različite scenarije lanca snabdevanja kukuruzovinom namenjene za proizvodnju biogasa, određene vrednosti emisija gasova s efektom staklene bašte i ocenjen njihov uticaj na doprinos globalnom zagrevanju. Osnovna razlika između scenarija proizilazi iz načina ubiranja kukuruzovine i to silažnim kombajnom i formiranjem velikih četvrtastih i valjkastih bala. Ustanovljeno je da se lanac snabdevanja sa primenom silažnog kombajna rezultuje najvišom vrednošću uticaja, koja iznosi 70 i 85 kg CO_{2 ekv} Mg_{SM}⁻¹, za visok i nizak prinos kukuruzovine respektivno. Za lanac sa ubiranjem u formi četvrtastih bala, te vrednosti iznose 62 i 68 kg CO_{2 ekv} Mg_{SM}⁻¹, a za valjkaste bale 61 i 67 kg CO_{2 ekv} Mg_{SM}⁻¹. Od analiziranih gasova s efektom staklene bašte, dominantan uticaj ima ugljen-dioksid. Smanjenje prinosa kukuruzovine, usled suše, nepovoljno se odražava na lanac snabdevanja, pre svega zbog dužine puta pri ubiranju i transportu.

Ključne reči: kukuruzovina, biogas, gasovi s efektom staklene bašte, LCA

* Kontakt autor. E-mail adresa: miodragviskovic@uns.ac.rs

Projekat "Razvoj malih biogas postrojenja – doprinos održivom razvoju ruralnih oblasti u AP Vojvodini", finansiran od Autonomne pokrajine Vojvodine, Pokrajinski sekretarijat za nauku i tehnološki razvoj

UVOD

Korišćenje obnovljivih izvora energije (OIE) poput biogasa, podstiče se sa ciljem smanjenja zavisnosti društva od fosilnih goriva, kao i smanjenja negativnih uticaja na životnu sredinu. Jedna vrsta negativnog uticaja su emisije gasova koji doprinose efektu staklene bašte (*Greenhouse Gases - GHG*). Brojne ocene uticaja emisija GHG pri proizvodnji biogasa ukazuju na manji uticaj u poređenju sa uticajem konverzije energije iz fosilnih goriva [9], te je podsticanje ove tehnologije opravdano. U okviru samog ciklusa proizvodnje biogasa, značajan doprinos krajnjim vrednostima uticaja ima deo koji se odnosi na, uslovno rečeno, proizvodnju supstrata, tj. lanac snabdevanja supstratom. Tako se uticaj emisija GHG pri proizvodnji biogasa iz otpadnih materija karakterišu povoljnijim vrednostima u odnosu na, recimo, proizvodnju iz energetskog bilja [8], pri čemu izbor vrste otpadne materije takođe može značajno da utiče. U [1] utvrđeno je da korišćenje slame u poređenju s otpadnim materijama poput organske frakcije komunalnog otpada, ima povoljnije vrednosti u pogledu uticaja emisija GHG. Korišćenje kukuruzovine za proizvodnju biogasa je i dalje u razvoju, usled čega nije objavljena ni jedna referenca gde se proizvodnja biogasa iz kukuruzovine ocenjuje u pogledu uticaja emisije GHG na principima ocene životnog ciklusa (*Life Cycle Assessment - LCA*). Takva ocena podrazumevala bi da se u okviru životnog ciklusa razmotri i lanac snabdevanja kukuruzovine. U literaturi je identifikovano svega nekoliko ocena lanca snabdevanja kukuruzovine, ali u sklopu životnog ciklusa proizvodnje bioetanola. Primer predstavlja [15] gde autori, u okviru lanca snabdevanja kukuruzovine razmatraju samo ubiranje i odnošenje hraniva čime izostavljaju druge faze, poput transporta, koje mogu imati značajan uticaj na vrednost uticaja emisija GHG. Predmet istraživanja [4, 6] je metodski pristup u okviru ocene životnog ciklusa bioetanola iz kukuruzovine, tačnije princip primene alokacije u okviru lanca snabdevanja kukuruzovine. Karakteristično za navedene reference je što ne razmatraju mogućnosti da sam lanac snabdevanja kukuruzovine može biti organizovan tako da, na primer, uključuje upotrebu različitih vidova mehanizacije pri ubiranju. Na taj način izostaje uvid u to da li su izborom lanca snabdevanja moguća unapređenja u pogledu emisije GHG. Takođe, jedino se u [15] u okviru senzitivne analize razmatraju drugačije vrednosti prinosa kukuruzovine utvrđujući da ne postoji značajna razlika. Međutim, usled nedovoljnog objašnjenja samog metodskog pristupa, uticaj prinosa kukuruzovine na emisije GHG ostaje nepoznanica.

Cilj ovog rada je da se oceni uticaj emisije GHG različitih lanaca snabdevanja kukuruzovine namenjene za proizvodnju biogasa na globalno zagrevanje. Zadatak je da se primeni ocenjivanje na principima LCA, definisanim u [18, 19]. Takođe treba da se utvrdi smanjenja prinosa kukuruzovine.

MATERIJALI I METODE RADA

Osnove ocene uticaja emisije GHG

Lanac snabdevanja kukuruzovine, čija je funkcija obezbeđivanje sirovine za proizvodnju biogasa, obuhvaćen je granicama sistema i predstavlja predmet ocene uticaja emisije GHG na principima LCA. Funkcionalna jedinica u okviru sistema

definisana je kao 1 Mg_{SM} (*suva materija – SM*) kukuruzovine. Lanac snabdevanja obuhvata sledeće faze: formiranje zboja tokom ubiranja zrna, ubiranje, odnošenje hraniva u sastavu kukuruzovine, utovar i uskladištenje, transport, skladištenje, priprema za preradu. Na ovaj način obuhvaćeni su svi postupci koji se odnose na kukuruzovinu do momenta kada počinje priprema za proizvodnju biogasa. Gajenje kukuruza nije uključeno u granice sistema, kao kod sličnih ocena [4, 6], te nije bilo potrebe za korišćenjem alokacije, jer je kukuruzovina smatrana za otpadni tok pri proizvodnji zrna. Granicama su obuhvaćeni i procesi karakteristični za materijalne ulaze koji se odnose na energiju za proizvodnju goriva, mineralnih hraniva, potrošnog materijala, ali i materijalne ulaze poput mehanizacije i skladištenog prostora.

Za definisanje materijalnog toka, korišćene su vrednosti prinosa kukuruzovine pri različitim agro-klimatskim uslovima u Vojvodini i to u uslovima umerene suše i ekstremne suše, uz ravnotežni sadržaj vlage kukuruzovine, preuzete iz [3]. Korišćene su vrednosti ukupnog prinosa kukuruzovine, 10,8 i 5,3 Mg_{SM} ha⁻¹, za uobičajene i redukovane prinose u Vojvodini/Srbiji.

U okviru inventarisanja, razmatrane su emisije sledećih GHG: ugljen-dioksida, azot-suboksida, sumpor-heksafluorida, azot-trifluorida, nemetanskih volatilnih organskih jedinjenja (NMVOC) i metana. Sprovedena je ocena u odnosu na kategoriju uticaja „globalno zagrevanje“, a rezultati su iskazani u vidu kg CO_{2 ekv} Mg_{SM}⁻¹ kukuruzovine. Kao metod za ocenu uticaja emisija GHG, korišćen je „CML2001 - Apr. 2013, Potencijal globalnog zagrevanja (GWP 100 Godina), bez biogenog ugljenika“. Ocena je sprovedena korišćenjem softvera GaBi 6.

Definisanje lanca snabdevanja

U okviru istraživanja, pri formiranju inventara LCA, jednog od koraka u okviru LCA, definisano je kakvu formu lanca (lanci) snabdevanja kukuruzovine treba da imaju. Proces i od interesa i karakteristični tokovi u okviru modela korišćeni su iz baze podataka Ecoinvent 2.2 i GaBi professional + Extension database 12. Ukoliko je bilo potrebno, identifikovani procesi od interesa prilagođeni su tako da odgovaraju definisanom scenariju, a te vrednosti navedene su u radu. Ukoliko procesi od interesa nisu identifikovani u okviru pomenutih baza podataka, pristupilo se njihovom definisanju pri tome prateći princip objašnjen u [7].

Pri definisanju lanca snabdevanja kukuruzovine, vođeno je računa da smanjenje produktivnosti pri žetvi zrna ne sme da je više od 10 %; povećanje gubitaka zrna ne sme da je više od 0,5 %; povećanje sadržaja pepela kukuruzovine ne sme da je više od 5 %. Na pomenute zahteve, faze u okviru lanca snabdevanja koje imaju uticaja su formiranje zboja i ubiranja kukuruzovine. Analizom dostupne literature [12, 13, 14, 16], u okviru koje se predlažu tri pristupa organizacije ovih faza: sa jednim prohodom, dva i više prohoda na polju, ustanovljeno je da postupak sa dva prohoda daje najpovoljnije rezultate u skladu sa postavljenim zahtevima, ali i u pogledu efikasnosti ubiranja kukuruzovine i potrošnje goriva. On podrazumeva da se u toku žetve zrna kukuruza, sprovodi i formiranje zboja, dok se u drugom prohodu sprovodi ubiranje kukuruzovine.

Za potrebe ocene, u okviru faze formiranja zboja pretpostavljena je primena tehničkog rešenja na kombajnu koji u toku žetve zrna formira zboj od usitnjene kukuruzovine [12, 16]. Potrošnja goriva pri žetvi zrna dodatno je uvećana za 32,7 % usled primene sitnilice žetvenih ostataka i *Cornrower*-a [16]. Međutim, kako se rad

sitnilice žetvenih ostataka može smatrati za deo sistema gajenja kukuruza, praktično je u oceni korišćena samo potrošnja goriva za rad *Cornrower*-a za formiranje zboja. Od dodatne potrošnje goriva, 20 % je smatrano za posledicu rada *Cornrower*-a. Kako je inicijalna potrošnja kombajna oko 28 L ha^{-1} [20], proizilazi da je potrošnja goriva uslovljena radom *Cornrower*-a oko 2 L ha^{-1} .

U okviru faze ubiranja kukuruzovine razmatrana su tri načina ubiranja i to: korišćenjem silažnog kombajna, baliranjem velikih četvrtastih (u nastavku teksta koristiće se termin četvrtaste bale) i valjkastih bala [12, 13]. Pri ubiranju korišćenjem silažnog kombajna, za potrošnju goriva usvojena je vrednost $14,5 \text{ L ha}^{-1}$ pri dužini sečenja od približno 6 mm, uz efikasnost ubiranja od 61 % [13]. Gustina ubrane kukuruzovine u vidu silaže u tom slučaju iznosi približno $68 \text{ kg}_{\text{SM}} \text{ m}^{-3}$ [10]. Kada je u pitanju baliranje, [10] navode različite gustine ubrane kukuruzovine u zavisnosti od sadržaja vlage, te se za potrebe ove analize usvaja da su gustine četvrtastih i valjkastih bala 110 i $90 \text{ kg}_{\text{SM}} \text{ m}^{-3}$ respektivno. Efikasnost ubiranja iznosi 41 %, a za dimenzije su usvojene vrednosti $120/90/260$ cm, odnosno $\phi 180/150$ cm. Usled redukovanog prinosa, potrošnja goriva je korigovana za dodatnih 25 %, zbog dužeg puta za formiranje bala.

Ubiranjem kukuruzovine odnosi se količina hraniva koju je neophodno nadoknaditi, te se samim tim potrebna dodatna količina hraniva uključuje u granice sistema i u ukupni bilans emisije GHG uključuju emisije nastale kao posledica njihove nadoknade. Kako se smatra da azot sadržan u kukuruzovini nije lako dostupan biljkama tokom sledećih sezona [2], uzeto je u obzir da se praktično odnose samo fosfor i kalijum u formi aktivnih materija. Vrednosti odnošenja fosfora i kalijuma u formi P_2O_5 i K_2O iznose 2,35 odnosno $14,0 \text{ kg Mg}_{\text{SM}}^{-1}$ kukuruzovine [2]. Pretpostavljeno je da se one nadoknađuju u formi jediničnog superfosfata i kalijum-nitrata.

Faza utovara i uskladištenja podrazumeva, u slučaju korišćenja silažnog kombajna za ubiranje, paralelno kretanje traktora sa silažnim kombajnom uz potrošnju goriva od 5 L h^{-1} [20]. U slučaju baliranja, ova faza podrazumeva rad na utovaru i istovaru bala.

Pri transportu kukuruzovine, razmatran je traktor sa prikolicom. U skladu sa načinom ubiranja, pretpostavljene su i različite nosivosti prikolica. Pri ubiranju u vidu silaže, pretpostavljen je transport silažnom prikolicom zapremine 35 m^3 . U slučaju četvrtastih bala, pretpostavljeno je nošenje 15 bala (10 u prvom i 5 u drugom redu, paralelno postavljenih u odnosu na uzdužnu osu prikolice), a u slučaju valjkastih 14 (8 u prvom redu i 6 u drugom, normalno postavljenih na uzdužnu osu prikolice). Na taj način, ostvarene su nosivosti prikolica od 2,34, 4,65 i $4,76 \text{ Mg}_{\text{SM}}$, respektivno za pomenute forme ubrane kukuruzovine. Kao reprezentativno transportno rastojanje (radijus) usvojeno je 20 km, s tim što je pri redukovanom prinosu transportno rastojanje uvećano za dodatnih 20 %.

Za potrebe definisanja faze skladištenja kukuruzovine u slučaju njenog ubiranja u vidu silaže, usvojeno je skladištenje u silo jami dimenzija $30 \times 18 \text{ m}$, sa dva bočna zida visine 3 m i debljine 0,2 m, izrađenih od armiranog betona sa zapreminskim udelom armatura od 5 %. Za korisnu zapreminu silo jame usvojena je vrednost od 70 % ukupne, a pretpostavljeno je da silaža nakon sabijanja traktorom ima gustinu od $80 \text{ kg}_{\text{SM}} \text{ m}^{-3}$. Za debljinu donje ploče silo jame usvojeno je da je 0,2 m i smatrano je da je izrađena samo od betona. Takođe je pretpostavljeno korišćenje dve zaštitne poli-etilenske folije dimenzija $30 \times 10 \text{ m}$, specifične mase 220 g m^{-2} [21]. Smatrano je da silo jama ima životni vek 20 godina, dok je za foliju usvojeno, na osnovu navoda proizvođača, 10 godina. U okviru faze skladištenja, pretpostavljen je i rad traktora koji sabija

kukuruzovinu, pri čemu troši 6 L h^{-1} dizel goriva [20]. U slučaju ubiranja kukuruzovine u vidu četvrtastih bala, skladištenje je definisano na otvorenom uz korišćenje zaštitne cerade. Za oblik kamare usvojeno je ređanje bala u tri vrste sa po četiri bale po visini, uz jednu dodatnu balu u srednjoj vrsti radi formiranja krova, nagiba cerade [10]. Pretpostavljeno je korišćenje namenske cerade dimenzija $12,5 \times 9,8 \text{ m}$ specifične mase 130 g m^{-2} i veka trajanja 5 godina [21]. U slučaju ubiranja kukuruzovine u vidu valjkastih bala, usvojen je identičan vid skladištenja kao i kod četvrtastih, sa tim što oblik kamare ima formu piramide sa tri bale u prvom redu. Za potrebe ovog istraživanja usvojeno je da gubici SM, pri skladištenju za sve scenarije iznose 4 % od inicijalne vrednosti.

Faza pripreme za procesiranje kukuruzovine u slučaju ubiranja u formi silaže, podrazumeva transport traktorom sa prednjim utovarivačem zapremine kašike $1,6 \text{ m}^3$ i ukupnom trajanju te operacije od 3 minuta po jednom zahvatu uz potrošnju goriva od 5 L h^{-1} [20]. Kod ubiranja u vidu bala, transport traktorom podrazumeva korišćenje prednjeg utovarivača u vidu viljuške. S obzirom da je granicama sistema usvojeno da kukuruzovina treba da je u formi neophodnoj za procesiranje u fermentoru (ili opciono nekim vidom predtretmana), usvojena je dodatna operacija dezintegracija bala sa mašinom uz sitnjenje, uz potrošnju električne energije $11 \text{ kWh Mg}_{\text{SM}}^{-1}$ kukuruzovine [5].

Kako su razmatrana tri načina ubiranja kukuruzovine i dve vrednosti prinosa, ukupno je ocenjivano šest scenarija za lanac snabdevanja kukuruzovine i to: UP-SK, RP-SK, UP-ČB, RP-ČB, UP-VB, RP-VB (UP-uobičajen prinos, RP-redukovani prinos; SK-silažni kombajn; ČB-četvrtaste bale; VB-valjkaste bale).

REZULTATI ISTRAŽIVANJA I DISKUSIJA

U okviru rezultata neće biti prikazani rezultati inventarisanja, već ocene uticaja emisije razmatranih gasova izraženim u vidu $\text{kg CO}_2_{\text{ekv}} \text{ Mg}_{\text{SM}}^{-1}$. U tabeli 1 su date vrednosti za analizirane scenarije. Od razmatranih GHG, kao dominantan gas odgovoran na rezultate uticaja je ugljen-dioksid. Sa vrednošću uticaja između približno 55 i 80 $\text{kg CO}_2_{\text{ekv}} \text{ Mg}_{\text{SM}}^{-1}$ u zavisnosti od posmatranog scenarija, značajno je uticajniji od ostalih gasova poput npr. metana čija vrednost je oko 2,5 odnosno 3,5 $\text{kg CO}_2_{\text{ekv}} \text{ Mg}_{\text{SM}}^{-1}$. Primetna je manja vrednost uticaja u slučaju metana za scenarije sa silažnim kombajnom koji su posledica manjih emisija metana usled nekorišćenja polietilenskih veziva kao u slučaju lanca snabdevanja sa baliranjem kukuruzovine. Azot-suboksid i NMVOC imaju još manji uticaj i vrednosti za oba gasa i analizirane scenarije ne prelaze 0,7 $\text{kg CO}_2_{\text{ekv}} \text{ Mg}_{\text{SM}}^{-1}$. Emisije gasova poput sumpor-heksafluorida i azot-trifluorida registrovane su u tragovima, te u tabelu nisu unešene.

Posmatrano preko udela pojedinačnog gasa ukupnoj vrednosti ocene uticaja, emisije ugljen-dioksida odgovorne su za između 92 i 95 % ukupnog uticaja, zavisno od analiziranog scenarija. Uticaj emisije metana za sve razmatrane scenarije je niži od 6 %, dok je udeo emisija azot-suboksida i NMVOC-a nešto niži od 1 %.

Za ukupne vrednosti uticaja, scenario sa silažnim kombajnom karakteriše se višim vrednostima od scenarija sa baliranjem. Vrednost ocene uticaja za scenario sa korišćenjem silažnog kombajna i pri uobičajenom prinosu kukuruzovine iznosi približno $70 \text{ kg CO}_2_{\text{ekv}} \text{ Mg}_{\text{SM}}^{-1}$, dok u slučaju redukovanog prinosa, ta vrednost raste za približno 20 % i iznosi oko $85 \text{ kg CO}_2_{\text{ekv}} \text{ Mg}_{\text{SM}}^{-1}$. Približne vrednosti za scenarije sa drugačijim

načinom baliranja ukazuju na mali značaj izbora načina baliranja. U slučaju uobičajenog prinosa, vrednost uticaja emisije GHG iznosi oko 61 kg CO_{2 ekv} Mg_{SM}⁻¹, odnosno 67 kg CO_{2 ekv} Mg_{SM}⁻¹ pri redukovanom prinosu kukuruzovine.

Tabela 1 Uticaj analiziranih gasova, jedinjenja i ukupni, u kg CO_{2 ekv} Mg_{SM}⁻¹
Table 1 Impac of analyzed gasses, compounds and total, in, kg CO_{2 eq} Mg_{DM}⁻¹

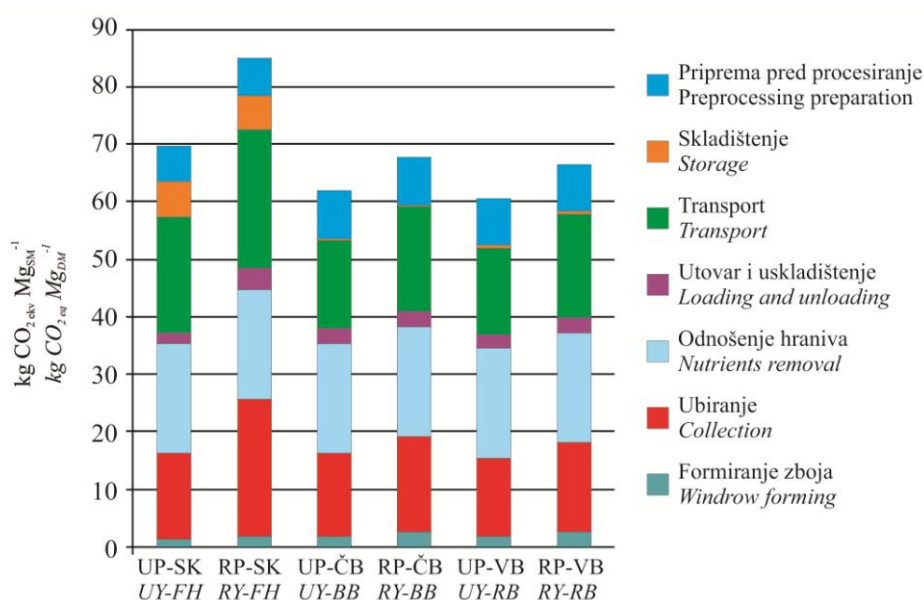
| Jedinjenje Compound | Scenario Scenario | | | | | |
|----------------------------------|----------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | UP-SK UY-FH | RP-SK RY-FH | UP-ČB UY-BB | RP-ČB RY-BB | UP-VB UY-RB | RP-VB RY-RB |
| Ugljen-dioksid Carbon dioxide | 66,2 | 80,7 | 57,4 | 63,1 | 56,2 | 61,9 |
| Azot-suboksid Nitrous oxide | 0,6 | 0,7 | 0,5 | 0,6 | 0,5 | 0,5 |
| NMVOC | 0,6 | 0,7 | 0,5 | 0,6 | 0,5 | 0,5 |
| Metan Methane | 2,4 | 2,8 | 3,5 | 3,6 | 3,4 | 3,6 |
| Ukupno Total | 69,7 | 84,9 | 61,9 | 67,8 | 60,6 | 66,5 |

UP – uobičajen prinos; RP – redukovani prinos; SK – silažni kombajn; ČB – četvrtaste bale; VB – valjkaste bale
UY – common yield; RY – reduced yield; FH – forage harvester; BB – big rectangular bales; RB – round bales

Posmatrano po pojedinačnim fazama u okviru lanca snabdevanja, faze ubiranja, odnošenje hraniva i transporta su dominantne, slika 1. U okviru faze ubiranja, emituje se oko 15 kg CO_{2 ekv} Mg_{SM}⁻¹ pri svim scenarijima, dok je samo pri korišćenju silažnog kombajna pri redukovanom prinosu ta vrednost viša i iznosi oko 24 kg CO_{2 ekv} Mg_{SM}⁻¹. Razlog za to je generalno veća potrošnja goriva pri korišćenju silažnog kombajna u poređenju sa scenarijima sa baliranjem, te pri redukovanom prinosu to povećanje potrošnje ima primetan uticaj. Faza odnošenja hraniva odgovorna je za uticaj od približno 19 kg CO_{2 ekv} Mg_{SM}⁻¹. Pri transportu silaže, usled manje mase kukuruzovine koja se transportuje u poređenju sa balama, ostvaruje se i povećan uticaj emisije GHG usled veće potrošnje goriva za transport iste mase kukuruzovine. To povećanje iznosi oko 5 kg CO_{2 ekv} Mg_{SM}⁻¹ kod scenarija sa uobičajenim prinosom, odnosno 9 kg CO_{2 ekv} Mg_{SM}⁻¹ pri redukovanom. Transport valjkastih bala je sa vrednošću uticaja od približno 15 kg CO_{2 ekv} Mg_{SM}⁻¹ najefikasniji vid transporta. Što se tiče ostalih faza, uticaj usled utovara i uskladištenja ne prelazi 3 kg CO_{2 ekv} Mg_{SM}⁻¹, a izvesno je povećanje uticaja pri utovaru silirane kukuruzovine pri redukovanom prinosu s obzirom na duže vreme potrebno da se prikolica napuni silažom. Pri skladištenju silirane kukuruzovine, usled korišćenja silo jame, odnosno građevinskih materijala, uticaj emisija GHG je veći nego pri skladištenju kukuruzovine u vidu bala. Emisije u okviru faze pripreme za procesiranje rezultat su potrošnje dizel goriva tokom rada traktora i potrošnje električne energije pri radu dezintegratora bala. Emisije usled potrošnje goriva su u slučaju silirane kukuruzovine veće u okviru ove faze zbog manje ostvarene nosivosti pri transportu kukuruzovine od mesta skladištenja do mesta procesiranja, u poređenju sa baliranjem

kukuruzovinom. Vrednosti uticaja su između 6 i 8,5 kg CO₂ ekv Mg_{SM}⁻¹, zavisno od posmatranog scenarija.

Izraženo u vidu međusobnog doprinosa pojedinačnih faza u okviru lanca snabdevanja kukuruzovine ukupnom uticaju, faze formiranja zboja i utovara i uskladištenja doprinose najmanje ukupnom uticaju. Te faze ne doprinose sa više od 4 % posmatrano pojedinačno za svaku fazu. Za sve načine ubiranja kukuruzovine, doprinos ukupnom uticaju faze ubiranja je približno isti i kreće se u opsegu od 22 do 24 %. Jedino se ubiranje silažnim kombajnom pri redukovanom prinosu karakteriše većom vrednošću koja iznosi 28 %. Transport se karakteriše najvećim udelom koji je između 25 i 30 %. Pri skladištenju silirane kukuruzovine, doprinos uticaju emisija GHG ove faze je oko 8 %, dok pri skladištenju doprinos nije veći od 1 %. U fazi pripreme pred procesiranje, pri baliranoj kukuruzovini, doprinos iznosi oko 13 %, a u slučaju silirane kukuruzovine svega oko 8 %.



UP – uobičajen prinos; RP – redukovani prinos; SK – silažni kombajn; ČB – četvrtaste bale; VB – valjkaste bale
UY – common yield; RY – reduced yield; FH – forage harvester; BB – big rectangular bales; RB – round bales

Slika 1. Ukupne vrednosti uticaja emisija GHG za analizirane scenarije

Figure 1. Total values of GHG emission impact assessment for analyzed scenarios

ZAKLJUČCI

Poređenjem vrednosti ocene uticaja za tri razmotrena lanca snabdevanja kukuruzovinom koji se razlikuju u načinu ubiranja kukuruzovine, primetno je da se baliranjem kukuruzovine ostvaruju povoljniji rezultati. Dominantan razlog za to je efikasniji način transporta ubrane kukuruzovine, odnosno veća nosivost koja je omogućena za baliranu kukuruzovinu. Kako je u ovom istraživanju korišćena jedna

vrednost transportnog rastojanja, treba imati u vidu da bi njenim povećanjem emisije GHG bile značajno veće, te se time fazi transporta i njenoj optimizaciji mora pridati značajna pažnja ukoliko se teži scenariju sa što manjim vrednostima emisija GHG. Iako je na osnovu rezultata primetno da su i u fazi skladištenja emisije manje pri baliranju, skladištenje silirane kukuruzovine bez silo jame nego samo u vidu gomile ili eventualno u silažnim vrećama (ukoliko se pokaže da je to ekonomski opravdano), vrednost emisija se može značajno smanjiti. Unapređenja u okviru faze pripreme pred procesiranje, pre svega smanjenjem potrošnje energije bi logično bile poželjne, ali s obzirom na njihov mali doprinos ukupnim emisijama, ne bi značajno doprinele poboljšanju rezultata ocene uticaja emisija GHG. U okviru ostalih faza snabdevanja kukuruzovinom, zbog niskog doprinosa ukupnoj vrednosti ocene uticaja, unapređenja verovatno nisu moguća. Izvesno je jedino da bi korišćenje tehničkog rešenja *Cornrower* za formiranje zboja u pogledu emisija GHG bilo izuzetno povoljno. Nepovoljni agro-klimatski uslovi koji za rezultat imaju redukovanje prinosa kukuruzovine negativno utiču i na rezultate ocene uticaja emisija GHG, što treba imati u vidu pri razvoju strategija ubiranja kukuruzovine. Povećanje vrednosti uticaja pokazalo se manje u slučaju baliranja i iznosilo je oko 10 % u poređenju sa povećanjem u slučaju siliranja za koju je ta vrednost iznosila nešto manje od 20 %. Stoga je opravdano prednost pri planiranju strategija dati scenarijima koji podrazumevaju baliranje kukuruzovine.

Za nastavak istraživanja predlaže se, pored ocene uticaja emisija GHG, razmatranje i drugih kategorija uticaja na životnu sredinu. Kako je faza transporta kukuruzovine razmatrana samo za jedno transportno rastojanje, u okviru budućih istraživanja sprovedeće se razmatranje uticaja transportnog rastojanja na krajnje rezultate ocene uticaja. Kao krajnji zadatak postavljeno je razmatranje celokupnog životnog ciklusa i posledičnih uticaja na životnu sredinu proizvodnje biogasa iz kukuruzovine.

LITERATURA

- [1] Catalina, Croxatto, Vega, G., ten Hoeve, M., Birkved, M., Sommer G.S. 2014. Choosing co-substrates to supplement biogas production from animal slurry – A life cycle assessment of the environmental consequences. *Bioresource Technology* 171 (2014): 410-420.
- [2] Cook, D.E., Shinnars, K.J. 2011. Economics of alternative corn stover logistics systems. *ASABE Paper* No. 1111130. St. Joseph, Mich.
- [3] Golub, M., Bojic, S., Djatkov, Dj., Mickovic, G., Martinov, M. 2012. Corn stover harvesting for renewable energy and residual soil effects. *Agricultural mechanization in Asia, Africa and Latin America –AMA* 43 (4): 72-79.
- [4] Luo, L., Van Der Voet, E., Huppes, G., Udo de Haes, H.A. 2009. Allocation issues in LCA methodology: a case study of corn stover-based fuel ethanol. *International Journal of Life Cycle Assessment* 14 (2009): 529-539.
- [5] Mani, S., Tabil, G.L., Sokhansanj, S. 2004. Grinding performance and physical properties of wheat and barley straws, corn stover and switchgrass. *Biomass and Bioenergy* 27 (4): 339-352.
- [6] Murphy, C.W., Kendall, A. 2013. Life cycle inventory development for corn and stover production systems under different allocation methods. *Biomass and Bioenergy* 58 (2013): 67-75.
- [7] Nemecek, T., Kägi, T. 2007. Life Cycle Inventories of Swiss and European Agricultural Production Systems. Objavljeno u: *Final report ecoinvent V2.0 No. 15a*. Zurich and

- Dubendorf, Switzerland: Agroscope Reckenholz-Taenikon Research Station ART, Swiss Centre for Life Cycle Inventories.
- [8] Poeschl, M., Ward, S., Owende, P. 2012. Environmental impacts of biogas deployment e Part II: life cycle assessment of multiple production and utilization pathways. *Journal of Cleaner Production* 24 (2012): 184-201.
- [9] Rehl, T., Lansche, J., Muller, J. 2012. Life cycle assessment of energy generation from biogas – Attributional vs. consequential approach. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16 (6): 260-266.
- [10] Schon, N.B., Darr, J.M., Webster, E.K., Jennett, N. 2013. Analysis of storage methods and tarping practices for corn stover bales. Objavljeno u: *ASABE Annual International Meeting*, Paper Number: 131620215. Missouri, USA, American Society of Agricultural and Biological Engineers.
- [11] Shah, A., Darr, M.J., Webster, K., Hoffman, C. 2011. Outdoor storage characteristics of single-pass large square corn stover bales in Iowa. *Energies* 4 (10): 1687-1695.
- [12] Shinnars, J.K., Bennett, G.R., Hoffman, S.D. 2012. Single- and two-pass corn grain and stover harvesting. *Transactions of the ASABE* 55 (2): 341-350.
- [13] Shinnars, J.K., Binversie, N.B., Muck, E.R., Weimer, J.P. 2007. Comparison of wet and dry corn stover harvest and storage. *Biomass and Bioenergy* 31 (4): 211-221.
- [14] Shinnars, K.J., Adsit, G.S., Binversie, B.N., Digman, M.F., Muck, R.E., Weimer, P.J. 2007. Single-pass, split-stream harvest of corn grain and stover. *Transactions of the ASABE* 50 (2): 355-363.
- [15] Spatari, S., Zhang, Y., Maclean, L.H. 2005. Life cycle assessment of switchgrass and corn stover derived ethanol fueled automobiles. *Environmental Scientific Technologies* 39 (2005): 9750-9758.
- [16] Straeter, J.E. 2011. Comrower system of stover harvest. *ASABE Paper* No. 1110596. St. Joseph, Mich.
- [17] Xue, X., Pang, Y., Landis, A. 2014. Evaluating agricultural management practices to improve the environmental footprint of corn-derived ethanol. *Renewable Energy* 66 (2014): 454-460.
- [18] Anonim. 2008. SRPS ISO 14040: Upravljanje zaštitom životne sredine – Ocenjivanje životnog ciklusa – Principi i okvir. Institut za standardizaciju Srbije. Beograd.
- [19] Anonim. 2009. SRPS ISO 14040: Upravljanje zaštitom životne sredine – Ocenjivanje životnog ciklusa – Zahtevi i uputstva za primenu. Institut za standardizaciju Srbije. Beograd.
- [20] Anonim. 2014. Cenovnik usluga Zadružnog saveza Vojvodine za 2014. Novi Sad: Zadružni savez Vojvodine.
- [21] <http://www.zillnet.de/> [datum pristupa sajtu: Februar, 2015]

GHG EMISSIONS OF CORN STOVER SUPPLY CHAIN

Miodrag Visković¹, Djordje Djatkov¹, Marko Golub¹, Omar Hijazi²,
Mathias Effenberger², Milan Martinov¹

¹ University of Novi Sad, Faculty of Technical Sciences,
Department of Environmental Engineering and Occupational Safety, Novi Sad, Serbia

² Bavarian State Research Center for Agriculture,
Institute for Agricultural Engineering and Animal Husbandry, Freising, Germany

Abstract: Within this investigation, different scenarios for supply chains of corn stover intended for biogas production were evaluated in terms of emissions of the greenhouse gasses and their impact to global warming. A primary difference between the scenarios was due to application of different stover collection techniques i.e. forage harvester, baling of big rectangular and round bales. It was found that the supply chain, which includes the application of forage harvester for stover collection is characterized by the highest value of impact, approximately 70 and 85 kg CO_{2 eq} Mg_{DM}⁻¹, respectively for the usual and reduced corn stover yield. For the supply chain which includes baling of big rectangular bales, these values are around 62 and 68 kg CO_{2 eq} Mg_{DM}⁻¹, and for the baling of round bales, values are 61 and 67 kg CO_{2 eq} Mg_{DM}⁻¹. Among the analyzed greenhouse gases emissions, the dominant impact is due to the emissions of carbon dioxide. The reduction of the corn stover yield, caused by extreme drought, is followed by higher GHG emissions, first of all due to longer distances during harvest and transportation.

Key words: corn stover, biogas, GHG emissions, LCA

Prijavljen: 09.04.2015.
Submitted:
Ispravljen:
Revised:
Prihvaćen: 21.08.2015.
Accepted: