

CARBON FOOTPRINT OF MISCANTHUS BIOMASS

Ljiljana Djordjevic

Academy of Applied Technical and Preschool Studies, Department of Vranje, Serbia,
ljiljana.djordjevic@akademijanis.edu.rs

Milica Peric

Innovation Center of Mechanical engineering, Serbia, milica.peric81@gmail.com

Jovana Dzoljic

Academy of Applied Technical and Preschool Studies, Department of Vranje, Serbia,
jovana.dzoljic@akademijanis.edu.rs

Abstract: In this paper an overview of CO₂ emissions from the use of biomass of fast-growing plant miscanthus are given. The aim was to analyze and calculate a carbon footprint of all operations in the life cycle of miscanthus like: preparation for rhizomes planting (application of herbicides, plowing and harrowing on unused agricultural land), planting, fertilization of young plants, irrigation, mowing of plants, baling, transport to the nearest briquetting machine where briquettes are produced or to the nearest pyrolytic plant where pyrolytic diesel is produced. Emissions of CO₂ are taken from previously performed analysis and re-calculated for 1t of miscanthus biomass. The results showed the dominant impact of the briquetting operation due to high electricity consumption (70 kWh) which is in Serbia produced mostly from non-renewable energy sources (about 72%, from coal and natural gas). In accordance with the complete abandonment of coal for energy production which became one of the main goals in the fight against climate change, a future scenario has been created. This scenario involved the production of electricity using only renewable energy sources (hydropower plants with the share of 22%, wind turbines with the share of 28%, solar panels with the share of 25% and heat pumps with the share of 25%). The results show drastic reductions of CO₂ emissions, up to 4,000 times in a case when renewable energy sources are used for electricity production compared to the current electricity mix used in Serbia. Nevertheless, despite high emissions of CO₂ from using electricity from non-renewable sources, it is concluded that miscanthus is a more environmentally friendly solution for energy production than lignite briquettes and firewood that are normally used for the heating of households and that all measures aimed at reducing greenhouse gases emissions should be implemented to avoid catastrophic consequences on the climate and human health in Serbia.

Keywords: CO₂, Electricity, Miscanthus, Renewable Energy Sources, Climate change, Serbia

KARBONSKI OTISAK BIOMASE MISCANTUSA

Ljiljana Djordjevic

Academy of Applied Technical and Preschool Studies, Department of Vranje, Serbia,
ljiljana.djordjevic@akademijanis.edu.rs

Milica Peric

Innovation Center of Mechanical engineering, Serbia, milica.peric81@gmail.com

Jovana Dzoljic

Academy of Applied Technical and Preschool Studies, Department of Vranje, Serbia,
jovana.dzoljic@akademijanis.edu.rs

Apstrakt: U ovom radu dat je pregled emisija CO₂ usled korišćenja biomase brzorastuće biljke miskantusa. Prikazana je analiza ugljeničnog otiska svih operacija u životnom ciklusu miskantusa kao što su: pripreme za sadnju rizoma (primena herbicida, zaoravanje i tanjiranje zaparloženog zemljišta), sadnja rizoma, dubrenje mladih jedinki, navodnjavanje, košenje, baliranje, transport do najbliže briketirke gde se vrši briketiranje ili postrojenja za pirolizu gde se vrši proizvodnja pirolitičkog dizela. Za emisije CO₂ prilikom ovih operacija korišćeni su podaci iz prethodnih istraživanja. Emisije CO₂ su izračunate u odnosu na 1 t proizvedene biomase miskantusa. Rezultati su pokazali dominantan uticaj operacije briketiranje usled velike potrošnje električne energije (70 kWh) koja se u Srbiji proizvodi najvećim delom iz neobnovljivih izvora energije (oko 72%, uglj i prirodni gas). U skladu sa potpunim izbacivanjem uglja kao energenta za proizvodnju električne energije koje predstavlja jedan od glavnih ciljeva u borbi protiv klimatskih promena kreiran je budući scenario koji podrazumeva proizvodnju električne energije korišćenjem isključivo obnovljivih izvora energije (hidroelektrane 22%, vetroturbine 28%, solarni paneli 25% i

toplotne pumpe 25%). Pokazano je da su uštede u emisijama CO₂ nastale ovakvom zamenom energenata i do 4000 puta veće nego u slučaju korišćenja električne energije proizvedene klasičnim putem. I pored ovih visokih emisija CO₂ usled dobijanja struje iz obnovljivih izvora energije, miskantus je dokazano ekološki manje štetno gorivo u odnosu na brikete lignita i ogrevno drvo koji se inače koriste za grejanje domaćinstava i zaključuje se da svakako treba primeniti sve mere koje imaju cilj smanjenje gasova sa efektom staklene bašte kako bi se izbegle katastrofalne posledice po klimu i zdravlje ljudi u Srbiji.

Ključne reči: CO₂, električna energija, miscantus, obnovljivi izvori energije, klimatske promene, Srbija

1. UVOD

Širom sveta zadnjih godina sve su više prisutne i uočljive posledice klimatskih promena. Rast globalne temperature, topljenje lednika, podizanje nivoa svetskog mora, sve ekstremnije vremenske prilike ne zaobilaze ni jedan kutak planete Zemlje. U Republici Srbiji najvidljivije posledice klimatskih promena su povećanja prosečne godišnje temperature ali i sve učestalije i obilnije oluje i sve učestalije suše. Ove posledice imaju i imaće sve veći uticaj na sektor poljoprivrede, upravljanje vodama, šumarstvo, biodiverzitet ali i na javno zdravlje stanovnika (Revizija Inicijalnog Izveštaja Nacionalno Određenog Doprinosu Srbije Prema Sporazumu Iz Pariza Na Klimatske Promene NACRT, 2020). Međunarodna zajednica još od 1997. godine ulaže velike napore da nađe načine da ublaži i spreči negativne posledice klimatskih promena. Jedan od prvih akcija bilo je potpisivanje protokola o klimi u gradu Kjoto u Japanu gde su se države potpisnice obavezale su se da će periodu od 2008. do 2012. godine smanjiti emisije gasova staklene bašte tako da budu za oko 5% niže u odnosu na emisije iz 1990. godine. Iako je ovaj sporazum doživeo neuspeh, 2015. godine ga je zamenio malo manje rigidan sporazum potpisan u Parizu, koji je dao zemljama potpisnicama slobodu da same odrede koliko emisija gasova sa efektom staklene bašte planiraju da smanje u periodu od 2020 do 2030.godine. Republika Srbija se obavezala na smanjenje emisija gasova sa efektom staklene bašte od 9.8% u odnosu na nivo emisija u baznoj 1990.godini (*NDC-Republic of Serbia*, n.d.) što drugim rečima, znači da smanji udeo korišćenja fosilnih goriva a poveća udeo obnovljivih izvora (energija vetra, sunca, vode, biomasa) u proizvodnji energije. Na poslednjem zasedanju Ujedinjenih Nacija (UN) u novembru ove godine u Glazgovu, usvojena je i inicijativa o potpunom prestanku korišćenja uglja do 2040.godine kao i prestanak finansiranja izgradnje novih termoelektrana. Na tom putu Srbiju čeka veliki posao s obzirom da se oko 70% električne energije proizvedene u Srbiji dobija sagorevanjem lignita u termoelektranama (EPS, n.d.).

Istraživanje predstavljeno u ovom radu se bavi pregledom i kvantifikacijom emisija najčešće emitovanog gasa sa efektom staklene bašte, ugljen-dioksida (CO₂) tokom životnog ciklusa proizvoda od biomase biljke miskantus. Miskantus (*Miscanthus × giganteus* Greef et Deu.) je višegodišnja hibridna zeljasta biljka iz porodice trava koja zbog svojih povoljnih karakteristika sve više zaokupira pažnju širom sveta. Ove karakteristike su: veoma efikasna konverzija solarne energije, obrazovanje visokih prinosa, niske potrebe za agrohemijskim i energetskim unosima, niske potrebe za vodom i niska vlažnost pokošene biomase kao i CO₂ neutralnost sagorevanja (Bauen et al., 2010; Lewandowski & Kicherer, 1997; Morandi et al., 2016; Murphy et al., 2013; Parajuli et al., 2015; Perić et al., 2018; Smeets et al., 2009). Sve ove karakteristike čine miskantus izuzetno "zelenim" izvorom energije. U Srbiji je uzgoj ove biljke još uvek na eksperimentalnom nivou (Ž. S. Dželetović, 2012) ali je pokazano da se skoro svake godine uz mala ili nikakva ulaganja ostvaruju relativno visoki prinosi biomase (18-30 t ha⁻¹) (Ž. Dželetović et al., 2014b) i da bi njegov plantažni uzgoj i korišćenje za grejanje domaćinstava u Srbiji pokazali značajne redukcije emisija gasova sa efektom staklene bašte (Perić et al., 2018a).

2. MATERIJALI I METODE

U proceni emitovanog CO₂ korišćeni su proračuni iz prethodnih istraživanja autora (Perić et al., 2018a; Perić et al., 2018b). U ovim istraživanjima urađena je analiza procene uticaja životnog ciklusa tokom proizvodnje briketa od biomase miskantusa (Perić et al., 2018a) i proizvodnje dizela procesom brze pirolize (Perić et al., 2018). U obzir su uzeti prosečni godišnji prinosi biomase miskantusa sa zaparloženog poljoprivrednog zemljišta, 23.5 t ha⁻¹ (85% suve mase) koji su dobijeni zimskom žetvom kada biomasa ima najpovoljnije karakteristike za sagorevanje (Ž. Dželetović et al., 2014a; Fournel et al., 2015).

U proceni količine emitovanog CO₂ analizirane su emisije svih faza životnog ciklusa briketa: primena herbicida, zaoravanje i tanjiranje na zaparloženom zemljištu kao priprema za setvu, sadnja rizoma miskantusa, đubrenje, navodnjavanje, košenje, baliranje biomase, transport do najbliže briketirke gde se vrši briketiranje ili postrojenja za pirolizu gde se vrši proizvodnja pirolitičkog dizela. Ove emisije su preračunate u odnosu na 1 tonu dobijanje biomase miskantusa. Briketiranje 1 tone miskantusa se vrši na BIOMASSER® setu koji se sastoji od mlina za male bale i dve briketirke prilikom čega se troši 70 kWh električne energije (Perić et al., 2018b). Miks električne energije korišćen u prethodnim istraživanjima je unapređen u skladu sa najnovijim podacima koji pokazuju da se u Srbiji 70% električne energije dobija iz termoelektrana, 20% iz hidro elektrana, 8% iz energije vetra i 2% iz prirodnog

gasa (EPS, n.d.). Za pirolizu je odabrana putanja sa manjim emisijama gasova sa efektom staklene bašte (gde se vodonik (H₂) koji se koristi za stabilizaciju dobijenog sirovog pirolitičkog bio-ulja dobija od samog prinosa ulja u odnosu putanju gde se za njegovu proizvodnju koriste velike količine prirodnog gasa.

3. REZULTATI I DISKUSIJA

Rezultati iz tabele 1. jasno ukazuju na dominantan uticaj operacije briketiranja u emitovanju CO₂ gde razlog za ovako visoke emisije, pored niske produktivnosti procesa, leži u korišćenju velike količine električne energije dobijene pretežno iz neobnovljivih izvora energije (oko 73%, termoelektrane i prirodni gas). Faktori za proračun emisija CO₂ obnovljivih i neobnovljivih izvora energije dati su u tabeli 2.

Tabela 1. Emisije CO₂ u toku svake operacije životnog ciklusa po toni proizvedene biomase miskantusa [kg^{t-1}]:

operacija u životnom ciklusu:	kg CO ₂ [1 tona miskantusa]
primena herbicida	0.88
oranje	0.86
tanjiranje	0.32
sadnja	0.11
đubrenje	0.16
navodnjavanje	0.40
košenje	2.55
baliranje	1.37
transport	3.26
briketiranje	20,000.00
proizvodnja pirolitičkog dizela	20

Emisije CO₂ prilikom proizvodnje električne energije od obnovljivih izvora energije, OIE (energija sunca, vetra, hidro potencijal) su neznatne i nisu uzete u razmatranje (Dones et al., n.d.; Wang & Sun, 2012). Emisije gasova sa efektom staklene bašte se dešavaju samo u toku proizvodnje i održavanja postrojenja koja koriste OIE. U slučaju hidroelektrana u razmatranje su uzete emisije koje su rezultat razlaganja organske materije u vodama akumulacionih jezera (Smoot, n.d.) (Tabela 2).

U cilju umanjivanja ugljeničnog otiska operacije briketiranja kreiran je nov scenario u kome je razmatran drugačiji miks za dobijanje električne energije u električnoj mreži Srbije a koji je u skladu sa prihvatanjem inicijative UN o napuštanju uglja i termoelektrana za proizvodnju električne energije. Usvajanje ove inicijative od strane Republike Srbije treba očekivati u bliskoj budućnosti. U budućem scenariju proizvodnje električne energije bez korišćenja uglja i prirodnog gasa, 28% električne energije se dobija iz farmi vetrogeneratora, 25% iz solarnih panela, 22% iz hidroelektrana a 25% iz geotermalne energije. Takođe je uzeta u obzir efikasnija proizvodnja i korišćenje ovih izvora energije gde su i evidentirane niže emisije CO₂ (niža vrednost iz Tabele 2). Udeo geotermalne energije od 25% je odabran s obzirom da postoji veliki potencijal geotermalne energije u Srbiji i u skladu sa nastojanjima zemalja Evropske Unije da geotermalne pumpe učestvuju sa 30% u ukupnoj proizvodnji energije (Antonijević & Komatina, 2011). Emisije CO₂ usled korišćenja geotermalnih pumpi se vezuju za emisije rashladnih gasova kao što je HFC-134a (IUPAC ID: 1,1,1,2-Tetrafluoroetan) koji ima veliki potencijal da izazove globalno zagrevanje. Emisije CO₂ nastale potrošnjom 70 kWh električne energije za rad briketirke u budućem scenariju su prikazani u Tabeli 3.

Rezultati pokazuju da od svih OIE, vetrogeneratori imaju najmanju ugljenični otisak, a odmah zatim toplotne pumpe. Ove emisije su dobijene od izgradnje i održavanja postrojenja koja koriste OIE jer su emisije od same upotrebe ovih izvora zanemarljivo male. Velike količine emitovanog CO₂ iz neobnovljivih izvora energije potiču od sagorevanja uglja u termoelektranama a ne i od izgradnje i održavanja termoelektrana. Ove emisije su potpuno izostavljene iz ovog istraživanja jer su i bez njih drastično veće količine CO₂ u odnosu na OIE.

Ukoliko bi se električna energija potrebna za briketiranje 1 t biomase miskantusa u potpunosti dobijala iz obnovljivih izvora energije, uštedelo bi se 4000g CO₂. Ovaj podatak osim što pokazuje drastično smanjenje ugljeničnog otiska proizvodnje briketa od miskantusa, takođe ukazuje na neophodnost što hitnijeg prelaska na obnovljive izvore energije u električnoj mreži Srbije.

Tabela 2. Emisije CO₂ po utrošenom kWh električne energije od različitih izvora i proračuni emisija za potrošnju 70 kWh električne energije za briketiranje 1 t suve biomase (85%) miskantusa:

izvori za dobijanje el. energije	g CO ₂ [70 kWh]	g CO ₂ [1 kWh]	
termoelektrane (lignit)	2x10 ⁷	392,857–413,247	(Dones et al., n.d.; Jurich, n.d.)
prirodni gas	896	485–991(pros 640)	(Dones et al., n.d.)
hidroelektrane	259	18.5	(Smoot, n.d.)
solarni paneli	/	40–50	(Alsema, 2012; NREL Solar, n.d.)
vetrogeneratori	28	5.0–8.2	(Wang & Sun, 2012)
geotermalna energija toplotna pumpa (sa rashladnim gasom HFC-134a)	/	11-22	(Dones et al., n.d.)
UKUPNO:	20,001,183		

Tabela 3. Predviđanja budućeg scenarija za dobijanje električne energije za briketiranje 1 tone biomase miskantusa u skladu sa inicijativom o napuštanju uglja u Srbiji do 2040.godine:

izvori za dobijanje el. energije u Srbiji	g CO ₂ [70 kWh]	udeo u proizvodnji električne energije
hidroelektrane	3,988	22%
solarni paneli	700	25%
vetrogenerator	98	28%
toplotne pumpe	192	25%
UKUPNO:	4,978	100%

5. ZAKLJUČAK

U ovom radu prikazana je analiza ugljeničnog otiska proizvodnje briketa od miskantusa i pirolitičkog dizela. Analizom svih operacija i procesa u životnom ciklusu ovih proizvoda, zaključuje se da briketiranje biomase miskantusa ima najveći ugljenični otisak usled velikog udela neobnovljivih izvora energije u proizvodnji električne energije u Srbiji a koja se koristi za rad briketike. Predviđanja budućeg scenarija u skladu sa inicijativom o prestanku korišćenja uglja i prelasku u potpunosti na obnovljive izvore energije do 2040. godine, pokazuju da bi uštede u emisijama CO₂ bile i za oko 4000 puta veće u odnosu na trenutno stanje. Uštede u emisijama bi bile još veće ako bi se uzelo u obzir briketiranje biomase miskantusa sa plantaže površine 1 ha a plantažno gajenje miskantusa na nekoliko stotina ha u Srbiji bi imalo neuporedivo manji ugljenični utisak. Čak i pored visokih emisija CO₂ koje se javljaju tokom briketiranja biomase, miskantus ima za oko 98% niži ugljenični otisak u odnosu brikete lignita i za oko 80% niži ugljenični otisak u odnosu na ogrevno drvo, koji predstavljaju najčešće korišćena čvrsta goriva za grejanje domaćinstava u Srbiji. Svakako, zaključuje se, trebaju se preduzeti sve mere u cilju smanjenja emisija sa efektom staklene bašte kako bi se sprečile nepovratne posledice po klimatski sistem Srbije pa se s tim u vezi kao jedna od mera predlaže i korišćenje biomase biljke miskantus.

ACKNOWLEDGEMENTS

Autori zahvaljuju Ministarstvu prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije na finansiranju projekta „Unapređenje industrijskog postrojenja sa fluidizovanim slojem u okviru razvoja tehnologije za energetski efikasno i ekološki opravdano sagorevanje različitih otpadnih materija u fluidizovanom ložištu“ (ev. br. TR33042).

REFERENCE

- Alsema, E. (2012). Energy Payback Time and CO₂ Emissions of PV Systems. In *Practical Handbook of Photovoltaics* (pp. 1097–1117). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-385934-1.00037-4>
- Antonijevic, D., & Komatina, M. (2011). Sustainable sub-geothermal heat pump heating in Serbia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(8), 3534–3538. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.05.008>
- Bauen, A. W., Dunnett, A. J., Richter, G. M., Dailey, A. G., Aylott, M., Casella, E., & Taylor, G. (2010). Modelling supply and demand of bioenergy from short rotation coppice and Miscanthus in the UK. *Bioresource Technology*, 101(21), 8132–8143. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2010.05.002>

- Dones, R., Heck, T., & Hirschberg, S. (n.d.). *GREENHOUSE GAS EMISSIONS FROM ENERGY SYSTEMS: COMPARISON AND OVERVIEW*.
- Dželetović, Ž., Maksimović, J., & Živanović, I. (2014a). Prinos *Miscanthus × giganteus* gajenog na dve lokacije u Srbiji (Yield of *Miscanthus × giganteus* during crop establishment at two locations in Serbia). *Journal on Processing and Energy in Agriculture*, 18(2), 62–64.
- Dželetović, Ž., Maksimović, J., & Živanović, I. (2014b). Yield of *Miscanthus × giganteus* during crop establishment at two locations in Serbia. *Journal on Processing and Energy in Agriculture*, 18(2), 62–68.
- Dželetović, Ž. S. (2012). *Miskantus (Miscanthus x giganteus Greef et Deu.) - proizvodne odlike i produktivnost biomase*. Zaduzbina Andrejevic.
- EPS. (n.d.). *Energy flux, proizvodnja i potrošnja električne energije*.
- Fournel, S., Palacios, J. H., Morissette, R., Villeneuve, J., Godbout, S., Heitz, M., & Savoie, P. (2015). Influence of biomass properties on technical and environmental performance of a multi-fuel boiler during on-farm combustion of energy crops. *Applied Energy*, 141, 247–259. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.12.022>
- Jurich, K. (n.d.). *CO2 Emission Factors for Fossil Fuels*.
- Lewandowski, I., & Kicherer, A. (1997). Combustion quality of biomass : practical relevance and experiments to modify the biomass quality of *Miscanthus x giganteus*. *European Journal of Agronomy*, 6(96), 163–177.
- Morandi, F., Perrin, A., & Østergård, H. (2016). *Miscanthus* as energy crop: Environmental assessment of a miscanthus biomass production case study in France. *Journal of Cleaner Production*, 137, 313–321. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.07.042>
- Murphy, F., Devlin, G., & McDonnell, K. (2013). *Miscanthus* production and processing in Ireland : An analysis of energy requirements and environmental impacts. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 23, 412–420. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.01.058>
- NDC-Republic of Serbia. (n.d.). Retrieved December 4, 2021, from <https://www4.unfccc.int/sites/NDCStaging/pages/Party.aspx?party=SRB>
- NREL solar. (n.d.). Retrieved December 4, 2021, from <https://www.nrel.gov/docs/fy13osti/56487.pdf>
- Parajuli, R., Sperling, K., & Dalgaard, T. (2015). Environmental performance of *Miscanthus* as a fuel alternative for district heat production. *Biomass and Bioenergy*, 72, 104–116. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2014.11.011>
- Perić, M., Komatina, M., Antonijević, D., Bugarski, B., & Dželetović, Ž. (2018a). Life cycle impact assessment of *Miscanthus* crop for sustainable household heating in Serbia. *Forests*, 9(10). <https://doi.org/10.3390/f9100654>
- Perić, M., Komatina, M., Antonijević, D., Bugarski, B., & Dželetović, Ž. S. (2018b). Life Cycle Impact Assessment of *Miscanthus* Crop for Sustainable Household Heating in Serbia. *Forests*, 9(654), 1–26. <https://doi.org/10.3390/f9100654>
- Peric, M. M., Komatina, M. S., Antonijevic, D. L., Bugarski, B. M., & Dželetovic, Ž. S. (2018). Diesel production by fast pyrolysis of *Miscanthus Giganteus*, Well-Topump analysis using the greet model. *Thermal Science*, 2018. <https://doi.org/10.2298/TSCI171215113P>
- Revizija inicijalnog izveštaja nacionalno određenog doprinosa Republike Srbije prema Sporazumu iz Pariza Prilagođavanje na klimatske promene NACRT. (2020).
- Smeets, E., Lewandowski, I., Faaij, A., Smeets, E. M. W., & Lewandowski, I. M. (2009). Costs and environmental performance of miscanthus biomass supply chains in different European regions production and supply chains in a European setting. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13, 1230–1245. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2008.09.006>
- Smoot, G. (n.d.). *What Is the Carbon Footprint of Hydropower Energy? A Life-Cycle Assessment*. Retrieved December 4, 2021, from <https://impactful.ninja/the-carbon-footprint-of-hydropower/>
- Wang, Y., & Sun, T. (2012). Life cycle assessment of CO₂ emissions from wind power plants: Methodology and case studies. *Renewable Energy*, 43, 30–36. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2011.12.017>