

# ODRŽIVI POTENCIJAL ŽETVENIH OSTATAKA ZA PROIZVODNJU NAPREDNIH BIOGORIVA U SRBIJI

*Aleksandar Ž. NESTEROVIĆ<sup>1</sup>\*, Đorđe M. ĐATKOV<sup>1</sup>, Miodrag I. VIŠKOVIĆ<sup>1</sup>, Milan L. MARTINOV<sup>1</sup>*

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

*Evropska unija (EU) je promovisala obnovljive izvore (biogoriva, obnovljiva električna energija) kroz svoju politiku u sektoru saobraćaja za smanjenje emisije gasova staklene bašte i dostizanje dekarbonizovanog sektora 2050. godine. Srbija je članica Energetske zajednice i u obavezi je da sledi politiku EU u ovom polju. Stoga, značajno korišćenje alternativnih goriva u sektoru saobraćaja mora biti podržano. Cilj ovog rada je bio da se ispita održivi potencijal žetvenih ostataka za proizvodnju naprednih biogoriva u Srbiji. Rezultati su pokazali da bi se u Srbiji godišnje moglo proizvesti oko 202 ktoe naprednih biogoriva iz žetvenih ostataka. Održivim potencijalom razmotrenih sirovina iz Vojvodine u budućnosti bi se moglo pokriti do 7% energetske potrebe u sektoru saobraćaja u Srbiji. To bi bilo preko 2 puta više od ciljeva koji su postavljeni. Višak bi se mogao iskoristiti za zamenu biogoriva proizvedenih iz hrane i doprineti postizanju ciljeva dekarbonizacije.*

Ključne reči: *napredna biogoriva; žetveni ostaci; održivi potencijal; Srbija*

## 1. Uvod

Pošto je Srbija članica Energetske zajednice (EnZ), ugovorom se obavezala da će primenjivati direktive Evropske unije iz oblasti obnovljivih izvora energije (OIE), tj. alternativnih goriva i njihove primene u sektoru saobraćaja u procesu dekarbonizacije [1]. Prema *Nacionalnom akcionom planu za korišćenje obnovljivih izvora energije Republike Srbije* [2], a u skladu sa RED I direktivom i Odlukom Ministarskog saveta EnZ od 18. oktobra 2012. godine (D/2012/04/MC – EnZ), cilj za udeo OIE u bruto finalnoj upotrebi energije iznosi 27%, a u sektoru saobraćaja je 10% u 2020. godini. U Srbiji udeo OIE 2020. godine u sektoru saobraćaja iznosio je 1,17%, odnosno oko 24,8 ktoe, što znači da je ispunjeno manje od 12% od definisanog cilja [3]. Celokupna finalna upotreba energije iz OIE odnosila se na električnu energiju u železničkom saobraćaju, tj. nije bilo upotrebe biogoriva i drugih alternativnih goriva u sektoru saobraćaja. Jedan od razloga zbog kojih nije bilo upotrebe biogoriva je i to da je tek 2019. godine usvojen pravni okvir za obavezu korišćenja biogoriva u sektoru saobraćaja [4]. U predlogu *Integrisanog nacionalnog energetskeg i klimatskog plana Republike Srbije za period do 2030. godine sa projekcijama do 2050. godine* razmatra se scenario u kojem bi do 2030.

---

\*Autor za korespondenciju, mejl: [aleksandarnesterovic@uns.ac.rs](mailto:aleksandarnesterovic@uns.ac.rs)

godine udeo biogoriva u sektoru saobraćaja bude do 3%, sa ne više od 2% biogoriva prve generacije i do 1,7% biogoriva proizvedenih iz korišćenog jestivog ulja [5]. Pored toga navodi se da će do 2030. godine 15% novih putničkih automobila biti na električni pogon, a 2040. godine ukupni udeo vozila na električni pogon će biti 20%, a u 2050. godini 50%. Železnički saobraćaj će biti potpuno elektrifikovan do 2040. godine, dok će 20% goriva za vodeni saobraćaj u 2040. godini i 60% u 2050. godini biti iz električne energije, vodonika, bio-LNG.

Cilj ovog rada je da se istraži održivi potencijal žetvenih ostataka za proizvodnju naprednih biogoriva, poput lignoceluloznog bioetanola (LCB) i biometana, u Srbiji. Prilikom procene održivog potencijala primenjena je sveobuhvatna metodologija, uzimajući u obzir tehničke, ekološke i socio-ekonomske aspekte. Dalji cilj je procena mogućnosti za postizanje ciljeva dekarbonizacije u sektoru saobraćaja sa raspoloživim resursima u Srbiji.

## 2. Materijali i metode

Teoretski potencijal žetvenih ostataka određen je na osnovu podataka o godišnjoj biljnoj proizvodnji za period 2005.-2021. godina, prinosu, sadržaju vlage [5, 6] i RPR (residue to product ratios). RPR se preračunava spram prinosa prema Scarlat *et al.* (2010) [7]. Biljna proizvodnja preračunata u suhu materiju pomnožena sa RPR vrednostima za svaki biljnu vrstu predstavlja količinu nadzemnih biljnih ostataka na bazi suve materije, a ova vrednost predstavlja teoretski potencijal.

Tehnički potencijal predstavlja količinu žetvenih ostataka koja se može sakupiti sa njive, a zavisi od opreme koja se koristi i stanja žetvenih ostataka. Korišćeni su literaturni podaci o efikasnosti žetvenih postupaka, poljoprivredne prakse koja se primenjuje u Srbiji i teoretskog potencijala. Pregledom literature dobijene su sledeće vrednosti za specifične žetvene ostatke [8-11]: pšenica, ječam, ovas i raž (50%), kukuruz (48%), uljana repica (49%), suncokret (32%) i soja (40%).

Održivi potencijal se odnosi na količine žetvenih ostataka koje se mogu ukloniti sa polja bez smanjenja kvaliteta zemljišta (održavanje organske materije i organskog ugljenika u zemljištu i zaštita od erozije). Ovaj potencijal je ocenjen kao udeo od teoretskog potencijala. Pregledom literature [7-12] utvrđeno je da je za pšenicu, raž, ječam i ovas održivi potencijal manji od tehničkog i iznosi 40%, dok je za soju isti za oba potencijala i iznosi 40%, a za kukuruz, uljanu repicu i suncokret primenjena je vrednost tehničkog potencijala jer je održivi potencijal veći od tehničkog.

Na osnovu podataka o veličini gazdinstava i površinama za pojedine useve izvršena je klasifikacija na mala i velika gazdinstva [6]. Ovi podaci su korišćeni za utvrđivanje mogućnosti prikupljanja žetvenih ostataka, budući da se njime određuje postupak ubiranja. Za održivi potencijal razmatrana su velika gazdinstva, jer je na njima moguće prikupiti veće količine žetvenih ostataka, zahvaljujući primeni adekvatne poljoprivredne mehanizacije koju poseduju velika gazdinstva. Za region Vojvodine i Beograda razmatrana su gazdinstva koja imaju zasade na 5 ha i više. Za ostale regione u Srbiji razmatrana su gazdinstva koja imaju zasade na 10 ha ili više zbog usitnjenosti parcela, brdovitog terena i drugih logističkih problema. Takođe, izvršena je alokacija žetvenih ostataka za druge namene. Žetveni ostaci se koriste kao prostirka za stoku, ali i za grejanje. Ovi iznosi su oduzeti da bi se dobili održivi potencijali. Količine žetvenih ostataka koji se koriste za prostirku utvrđene su na osnovu prethodnih istraživanja [13]. Procenjuje se da se za ove namene koristi oko 615,6 hiljada tona suve mase slame godišnje. Za grejanje, procenjuje se da se u Srbiji u proseku godišnje utroše žetveni ostaci, pre svega slama, nešto manje od 200.000 tona suve mase. Ova količina je izračunata tako što se sagleda potreba za toplotnom energijom i zatim se oduzmu drugi energenti koji ulaze u evidenciju, kao

što su ogrevno drvo, prirodni gas, daljinsko grejanje itd. Takođe, umanjena je količina kukuruzovine, tj. oko 40,35% su rane i srednje rane sorte kukuruza, čija kukuruzovina se može iskoristiti za proizvodnju biogoriva. Korišćenjem održivog potencijala žetvenih ostataka za biogoriva i prinosa za LBC i biometan iz različitih žetvenih ostataka, procenjen je potencijalni koji bi se mogao proizvesti u Srbiji. Prinosi su određeni pregledom literature [14-19].

### 3. Rezultati

U tab. 1 prikazan je održivi potencijal žetvenih ostataka za proizvodnju naprednih biogoriva. Takođe, predstavljene su i količine naprednih biogoriva u hiljadama tona ekvivalentne nafte koje bi se mogle dobiti iz razmotrenih sirovina. Količina za žetvene ostatke se odnose kada bi se celokupan potencijal iskoristio samo za jedan tip biogoriva (LBC ili biometan).

**Tabela 1. Potencijal sirovina za proizvodnju naprednih biogoriva**

	Potencijal, kt/god	LBC, ktoe/god	Biometan, ktoe/god
Žetveni ostaci	1155,0	200,4	202,2

Ako bi se energetska potencijal naprednih biogoriva dobijenih iz razmatranih sirovina upoređio sa energetskim potrebama u sektoru saobraćaja u Srbiji u 2020, 2030. i 2050. godini [5], mogao bi da pokrije oko 7,5%-9,2% energetska potreba u sektoru saobraćaja.

U Vojvodini, koja je poljoprivredni region Srbije, moglo bi da se obezbedi dovoljno sirovina da zadovolji potrebe održivog potencijala. Oko 80% održivog potencijala za napredna biogoriva bi se moglo prikupiti samo iz ovog regiona, odnosno za proizvodnju oko 160-162 ktoe naprednih biogoriva. Ovo je dovoljno da se u budućnosti pokrije do 7% energetskih potreba u sektoru saobraćaja u Srbiji.

### 4. Zaključci

Dobijeni rezultati su pokazali da bi održivi potencijal razmatranih sirovina za proizvodnju naprednih biogoriva u Srbiji mogli značajno da premaše ciljeve koji su postavljeni predlogom Integrisanim nacionalnim energetskim i klimatskim planom. Srbija bi na ovaj način mogla da postigne značajan napredak u dekarbonizaciji sektora saobraćaja i poveća svoju energetska nezavisnost. Korišćenjem manje od 50% definisanog održivog potencijala mogli bi se ispuniti postavljeni zahtevi. Održivi potencijal u Vojvodini, tipičnom poljoprivrednom regionu, mogao bi se efikasnije iskoristiti, zbog adekvatnijih logističkih aspekata i nižih troškova. Upotrebom održivih potencijala razmatranih sirovina bi se izbegla upotreba biogoriva prve generacije i na taj način dodatno smanjiti emisije gasova sa efektom staklene bašte u sektoru saobraćaja i doprineti postizanju ciljeva dekarbonizacije. Višak bi se mogao koristiti i u drugim sektorima osim sektoru saobraćaja kako bi doprineo odgovarajućim ciljevima dekarbonizacije, na primer, u sektoru grejanja i hlađenja ili biogasa za generisanje električne energije.

### Zahvalnica

Ovo istraživanje finansirano je projektom Departmana za inženjerstvo zaštite životne sredine Fakulteta tehničkih nauka – Razvoj inovativnih inženjerskih pristupa za unapređenje stanja životne i radne sredine.

## Reference

- [1] \*\*\*, Zakon o ratifikaciji Ugovora o osnivanju Energetske zajednice između Evropske zajednice i Republike Albanije, Republike Bugarske, Bosne i Hercegovine, Republike Hrvatske, Bivše Jugoslovenske Republike Makedonije, Republike Crne Gore, Rumunije, Republike Srbije i Privremene Misije Ujedinjenih nacija na Kosovu u skladu sa Rezolucijom 1244 Saveta bezbednosti Ujedinjenih nacija, Službeni glasnik RS 62/2006, Beograd, Srbija, 2006
- [2] \*\*\*, Nacionalni akcioni plan za korišćenje obnovljivih izvora energije Republike Srbije, Ministarstvo energetike, razvoja i zaštite životne sredine, Beograd, Srbija, 2013
- [3] \*\*\*, Baza podataka Eurostat, <https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/> (pristupljeno avgusta 2023)
- [4] \*\*\*, Uredba o udelu biogoriva na tržištu: 71/2019-3, Službeni glasnik RS 71/2019-3, Beograd, Srbija, 2019
- [5] \*\*\*, Integrisani nacionalni energetska i klimatski plan Republike Srbije za period do 2030. godine sa projekcijama do 2050. godine, Ministarstvo rudarstva i energetike, Beograd, Srbija, 2023
- [6] \*\*\*, Baza podataka Republičkog zavoda za statistiku Republike Srbije, <https://data.stat.gov.rs/Home/Result/> (pristupljeno avgusta 2023)
- [7] Scarlat, N., *et al.*, Assessment of the availability of agricultural crop residues in the European Union: potential and limitations for bioenergy use, *Waste management*, 30 (2010), 10, pp. 1889-1897
- [8] Golub, M., *et al.*, Ukupan i raspoloživ prinos žetvenih ostataka suncokreta, *Cont. Agr. Engng*, 38 (2012), 1, pp. 39-47
- [9] Golub, M., *et al.*, Harvestable and on-field remaining crop residues of wheat and soybean, *Proceedings 41st International Symposium Agricultural Engineering: Actual Tasks on Agricultural Engineering*, Opatija, Croatia, 2013, pp. 301-312
- [10] Veselinov, B., *et al.*, Potencijal žetvenih ostataka uljane repice u Srbiji, *Agricultural engineering*, 40 (2015), 3, pp. 59-68
- [11] Martinov, M., *et al.*, Potentials of crops residues – A case study for the province Vojvodina, *Die Bodenkultur: Journal of Land Management, Food and Environment*, 70 (2019), pp. 181-188
- [12] Golub, M., *et al.*, Investigation on Possibilities for Sustainable Provision of Corn Stover as an Energy Suoce: Case Study for Vojvodina, *AMA-Agric. Mech. Asia Afr. Lat. A*, 47 (2016), 4, pp. 8-15
- [13] Viskovic, M., *et al.*, Stajnjak u Srbiji – količine i emisije gasova s efektom staklene bašte, *J. Agric. Sci. (Belgr.)*, 67 (2022), 1, pp. 29-46
- [14] Sharma, S.K., *et al.*, Fermentation of enzymatically saccharified sunflower stalks for ethanol production and its scale up, *Bioresource technology*, 85 (2002), 1, pp. 31-33
- [15] Kim, S., Dale, B.E., Global potential bioethanol production from wasted crops and crop residues, *Biomass and bioenergy*, 26 (2004), 4, pp. 361-375
- [16] Kahr, H., *et al.*, Evaluation of the biomass potential for the production of lignocellulosic bioethanol from various agricultural residues in Austria and Worldwide, *Energy Procedia*, 40 (2013), pp. 146-155
- [17] Kuglarz, M., *et al.*, Integrated production of cellulosic bioethanol and succinic acid from rapeseed straw after dilute-acid pretreatment, *Bioresource technology*, 265 (2018), pp. 191-199
- [18] Kim, S. Evaluation of alkali-pretreated soybean straw for lignocellulosic bioethanol production, *International Journal of Polymer Science*, 2018 (2018)
- [19] Tse, T.J., *et al.*, Production of bioethanol—A review of factors affecting ethanol yield, *Fermentation*, 7 (2021), 4, 268