

## PROIZVODNJA BIOPLINA IZ ORGANSKOG OTPADA OD PROČIŠĆAVANJA SOJE\*

Matko Bošnjaković<sup>1</sup>, Vesna Gantner<sup>2</sup>, Sanja Antunović<sup>2</sup>, Davor Kralik<sup>2</sup>

Originalni naučni rad - *Original scientific paper*

### Rezime

Soja se uglavnom koristi kao osnova za proizvodnju hrane za ljude i životinje. U procesu obrade, prvi korak tehnološke prerade soje je mehaničko pročišćavanje od nečistoća. Pročišćavanjem soje nastaje otpad velikog energetskog potencijala. U Republici Hrvatskoj se u 2021. godini proizvelo 228.000 tona soje, a prema podacima za 2022. godinu jednog od otkupljivača soje u Republici Hrvatskoj, prosječni udio nečistoće iznosio je 6,79%. Uzevši u obzir navedeni postotak nečistoća, dolazimo do podatka da je u 2021. godini nastalo oko 15.481 tonu otpada od pročišćavanja soje. Korištenjem navedenog otpada kao sirovine u procesu anaerobne fermentacije može se proizvesti značajna količina bioplina, koji se zatim može iskoristiti kao pogonsko gorivo za proizvodnju energije. Provedenim laboratorijskim ispitivanjima utvrđeno je da se postupkom anaerobne fermentacije od jedne tone otpada pročišćavanja soje može proizvesti oko 513,81 m<sup>3</sup> bioplina s udjelom metana od oko 57,2%. Kalkulacijom dolazimo do podatka da je navedena količina otpada dovoljna za proizvodnju oko 19.000 MWh električne energije godišnje. S prosječnom potrošnjom električne energije u kućanstvima u 2021 godini u Republici Hrvatskoj od 2.728 kWh, ukupna proizvedena električna energija od otpada od pročišćavanja soje dovoljna je da podmiri godišnje potrebe za električnom energijom za 6.980 kućanstava.

Ključne riječi: *soja, anaerobna fermentacija, organski otpad, energija*

---

\*Rad prezentiran na 32. Međunarodnoj naučno-stručnoj konferenciji poljoprivrede i prehrambene industrije / Paper presented at the 32<sup>nd</sup> International Scientific-Expert Conference of Agriculture and Food Industry, 1-2 December, 2022, Sarajevo, Bosnia and Herzegovina

<sup>1</sup> Energija Gradec d.o.o.

<sup>2</sup> Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek

Korespondencija: Matko.Bosnjakovic@energijagradec.hr

## UVOD

Soja (*Glycine max* (L.) Merrill) pripada starim ratarskim kulturama. Potječe iz Azije, s područja Dalekog istoka (Kine, Japana, Indije i dr. ) gdje se uzgaja već više od 4.000 godina. Biljka se može koristiti u razne svrhe, te je njena iskoristivost maksimalna, jer se koristi njeno zrno i stabljika. Zrno soje jedan je od glavnih izvora jestivih ulja i bjelančevina za prehranu ljudi i hranidbu domaćih životinja. Ono može biti korišteno u razne industrijske svrhe (Lakić, 2016.).

U Hrvatskoj se soja prvi puta pojavljuje između 1876. i 1878. godine, kada je austrijski biokemičar Friedrich Haberlandt provodio pokuse na cijelom području Austrougarske te u Dubrovniku. Na samom području Hrvatske, točnije na imanju Korija kraj Virovitice, Stjepan Čmelik nabavio je novu kolekciju sorata soje izravno iz Kine i Mandžurije. Između 1931. i 1934. godine ta soja se proširuje na istočno područje Slavonije na imanju u Ernestinovu gdje ostvaruje urod između 1.600 i 2.200 kg ha<sup>-1</sup> pod imenom Osječanka ili Čmelikova (Lakić, 2016.).

Čisto sjeme je sjeme koje pripada deklariranoj vrsti, gdje spada zrelo i neoštećeno sjeme vrste, normalne veličine.

Primjese su sve ono što nije čisto sjeme deklarirane vrste.

Dijele se na:

- organske korisne,
- organske nekorisne i
- neorganske (anorganske) primjese

Organske korisne primjese: spadaju oštećena zrna, sjeme stranih kultura i lom zrna. Organske primjese su korisne jer služe kao stočna hrana. Organske nekorisne primjese čine sjemenke korova, ostaci biljke, pljeva, slama, dijelovi špage, mrtvi i živi kukci i grinje, te njihovi fragmenti i ekskrementi i mikroorganizmi. Najopasniji su živi nametnici, te sjeme korova koje prenosi vlagu na zrno. Neorganske primjese su sve ono što je anorganskog podrijetla (prašina, kamenčići, pijesak, komadiće žice i sl.) (Rozman i Liška, 2011).

Prisutnost primjese znatno utječe na kvalitetu skladištenja i učinkovitost sušenja, te ukoliko se ne izdvoje imati će negativan utjecaj na kvalitetu gotovog proizvoda.

Prema istraživanju iz 1991. godine (William, 1996) sadržaj primjesa u soji je bio sljedeći: 37,5% biljni ostaci stabljike soje, 24,2% lom zrna, 23,5% korov, 9,6% prašina, 2,4% cijelo zrno soje, 2,3% mahune, 0,6% insekti.

Prema posljednjem Izvješću o poljoprivrednoj proizvodnji u 2021., a kojega je objavio Državni zavod za statistiku (DZS), te je godine proizvedeno 228.000 tona soje požnjevenih na 87.000 hektara, odnosno, prinos po hektaru je bio 2,6 tona, dok je u

2020. godini proizvedeno 266.000 tona soje požnjevenih na 86.000 hektara, odnosno, prinos po hektaru te je godine bio 3,1 tonu.

Tablica 1. Površina i proizvodnja žitarica i ostalih usjeva u 2021. – privremeni podaci, DZS

Table 2. Area and production of cereals and other crops in 2021 - provisional data, DZS

	Ostvarena proizvodnja					
	površina, u 000 ha	prirod t ha <sup>-1</sup>	ukupno, tona u 000	površina, tis. ha	prirod t ha <sup>-1</sup>	ukupno, tona, u 000
	2020			2021		
Kukuruz - ukupno	288	8,4	2.431	287	7,8	2.231
Krumpir (kasni i sjem.)	7	20,2	140	7	15,3	101
Soja	86	3,1	266	87	2,6	228
Suncokret	39	3,1	120	41	3,0	125
Šećerna repa	10	74,0	774	10	70,3	717
Lucerna, sijeno	26	7,6	201	28	6,9	191
Silažni kukuruz	30	41,9	1.261	25	35,2	883

Prema podacima za 2022. godinu jedne od većih poljoprivrednih tvrtki u Republici Hrvatskoj, a koja otkupljuje i soju, udio primjesa, tj. otpada nakon pročišćavanja se penje i do 20,4%, dok je prosječni udio primjesa iznosio 6,79%.

Kada bi navedeni prosječni udio primjesa primijenili na ukupnu količinu proizvedene soje u 2021. godini, a koja je iznosila 228.000 tona, dolazi se do ukupne količine primjese za 2021. godinu od 15.481,2 tona.

Jedna od primjena i način kako korisno iskoristiti primjesu soje jest korištenje kao sirovine za proizvodnju bioplina, odnosno električne energije, na bioplinskom postrojenjima procesom anaerobne fermentacije (AF).

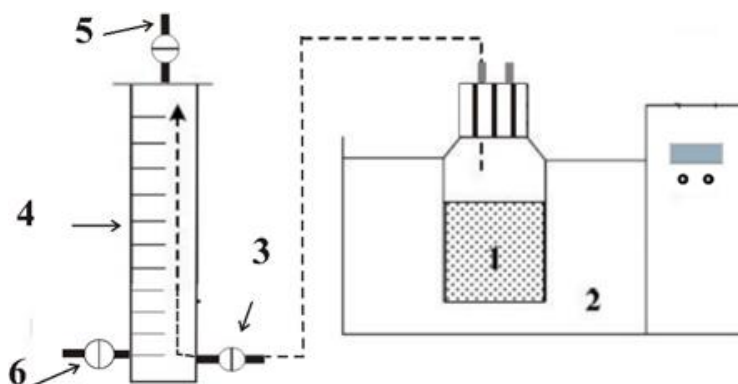
## MATERIJALI I METODE

Pravilnikom „Kontrola kakvoće soje, suncokreta i uljane repice u otkupu“ (NN 88/2010) definirano je:

- (1) Soja koja se otkupljuje mora sadržavati najmanje 13% vlage i najviše 2% nečistoće.
- (2) Ukoliko kvaliteta soje odstupa od minimuma iz stavka 1. ovoga članka pri obračunu troškova otkupa cijena se za svaki dodatni postotak proporcionalno smanjuje odnosno povećava za 1%.

Istraživanje je provedeno u Laboratoriju za biomasu i obnovljive izvore energije pri Fakultetu agrobiotehničkih znanosti Osijek. Za potrebe istraživanja korištena je goveđa

gnojovka s farme muznih krava i organski otpad nakon prosijavanja soje. Anaerobna fermentacija (AF) je provedena u diskontinuiranim reaktorima zapremine 1,0 l pri termofilnim uvjetima (55°C) i vremenu hidraulične retencije od 28 dana. Kontrolnu grupu (K) činila je goveđa gnojovka (500 g), a eksperimentalnu grupu činila je 475 g goveđe gnojovke i 25 g organski otpad nakon prosijavanja soje (PS). Sve grupe postavljene su u tri ponavljanja. Anaerobna fermentacija je svakodnevno praćena, te je prikupljan proizvodeni bioplin u baždarene mjerne posude koje su gibljivim prozirnim crijevom povezane sa reaktorom.



Slika 1. Shematski prikaz aparature za anaerobnu fermentaciju (D. Kralik)  
 Picture 1. Schematic representation of apparatus for anaerobic fermentation (D. Kralik)

1 - reaktor sa supstratom za kodigestiju; 2 - vodena kupelj; 3-ulazni ventil; 4 - graduirani cilindar sa zasićena otopina natrijevog klorida; 5 – izlazni ventil za uzorkovanje plina; 6 - izlazni ventil za zasićenu otopinu

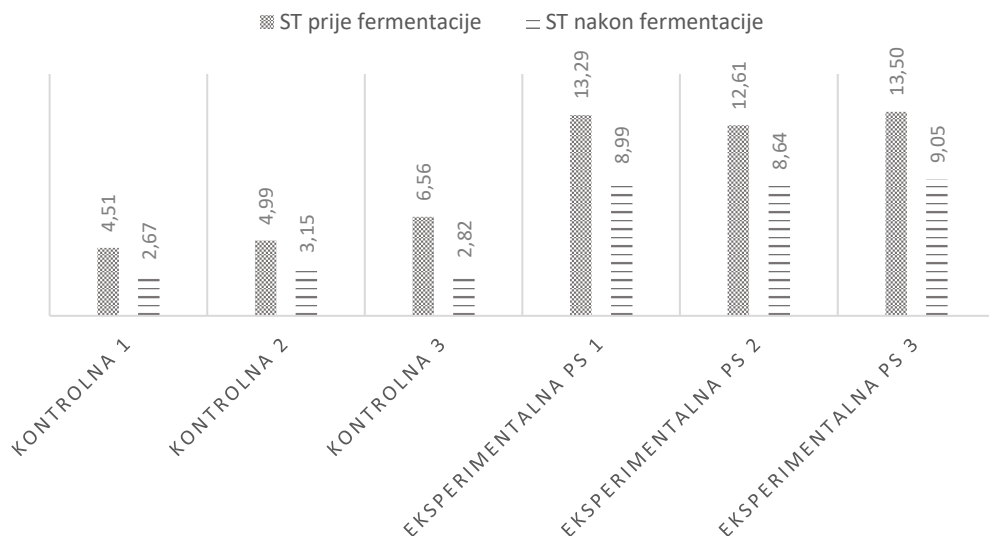
Prema Thompsonu (2001) određen je udio suhe i organske tvari u uzorcima. Suha tvar određena je nakon sušenja u sušioniku na 105 °C do konstantne mase, a organska tvar žarenjem 4 sata na 550 °C u mufolnoj peći. Elektrokemijskim mjerenjem utvrđena je pH vrijednost.

Prikupljeni plin analiziran je pomoću plinskog detektora Optima 7 biogas i određen je udio CH<sub>4</sub> (%), H<sub>2</sub>S (ppm), CO<sub>2</sub> (%), O<sub>2</sub> (%), kalorična vrijednost i ogrijevna vrijednost. Normalnost raspodjele numeričkih podataka provjerena je Shapiro - Wilkovim testom, te zbog toga što podaci ne slijede normalnu raspodjelu, prikazani su medijanom i granicama interkvartilnog raspona. Razlike između kontrolne (K) i eksperimentalne (PS) skupine, testirane su Mann Whitney. U testu sve P vrijednosti su dvostrane. Razina značajnosti je postavljena ALPHA = 0,05. Za satitičku analizu korišten je statistički program MedCalc ver. 20.115.

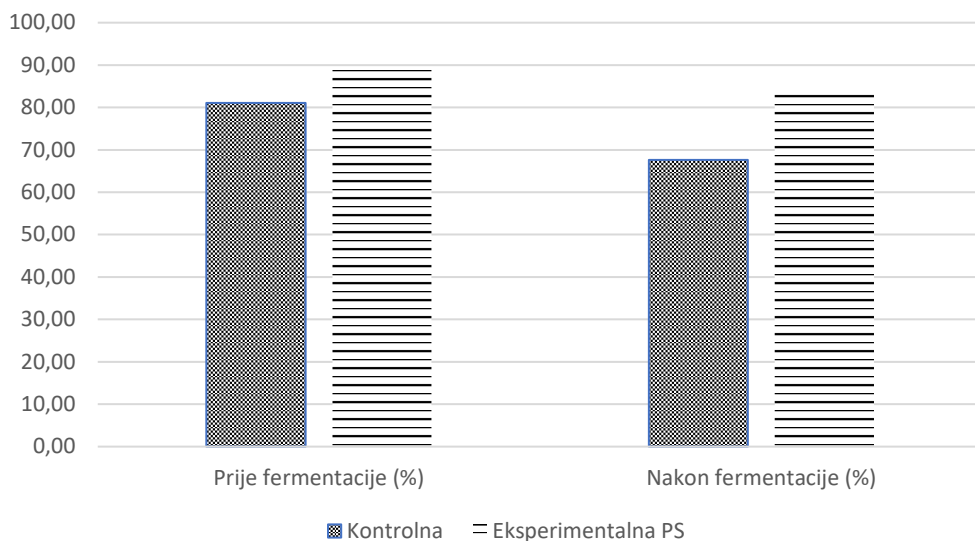
## REZULTATI ISTRAŽIVANJA

Prosječni udio suhe tvari (ST) u goveđoj gnojovci (kontrolnoj skupini (K)) iznosio je 5,35%, a organskog otpada nakon pročišćavanja soje 69,09%. Prosječni udio ST u eksperimentalnoj skupini (PS) nakon dodavanja 25 g otpada nakon pročišćavanja soje u 475g goveđe gnojovke na početku fermentacije iznosio je 13,13%.

Po završetku AF udio ST smanjio se u odnosu na početni udio ST kod K skupine za 44,82%, a kod PS skupine za 32,26%. Grafikon 1.



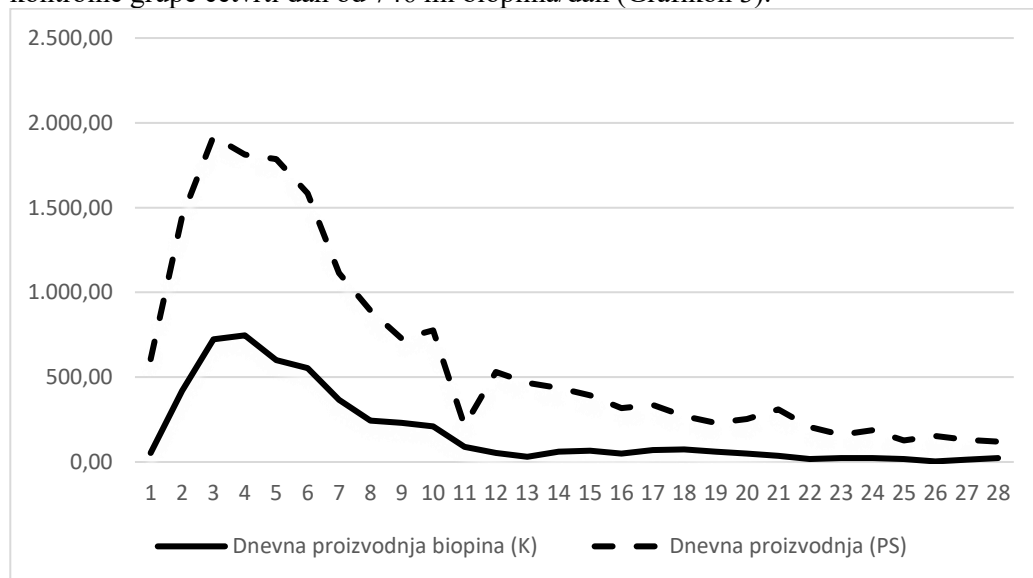
Grafikon 1. Udio ST prije i nakon anaerobne fermentacije  
*Graph 1. Dry matter before and after anaerobic fermentation*



Grafikon 2. Prosječni udio organske tvari prije i nakon procesa AF

Graph 2. The average proportion of organic matter before and after the AF process

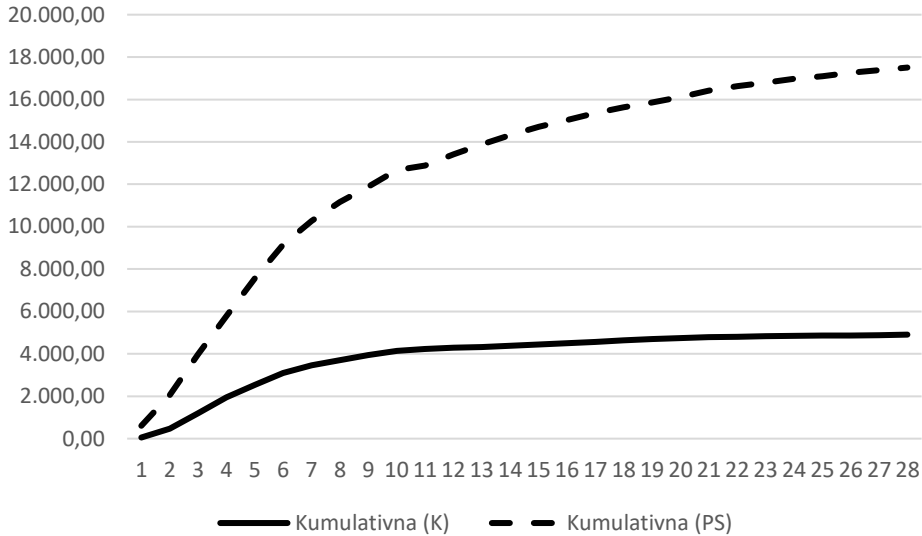
Dnevna proizvodnja bioplina bila je najintezivnija u prvih trinaest dana, ali maksimum je postignut od drugog do petog dana anaerobne fermentacije. Kod eksperimentalne grupe maksimum je postignut treći dan s proizvodnjom od 1.920 ml bioplina/dan, a kod kontrolne grupe četvrti dan od 746 ml bioplina/dan (Grafikon 3).



Grafikon 3. Dinamika dnevne proizvodnje bioplina

Graph 3. Daily production of biogas

U grafikonu 4 prikazana je razlika u ukupnoj proizvodnji bioplina tijekom 28 dana anaerobne fermentacije (AF).



Grafikon 4. Kumulativna proizvodnja bioplina  
*Graph 4. Total production of biogas*

Kod eksperimentalne grupe proizvodnja je iznosila 17.330 ml tijekom AF od 28 dana, dok je kod kontrolne proizvodnja za isto vrijeme iznosila 4.420 ml bioplina. Značajno je veća dnevna (Mann Whitney U test,  $P < 0,001$ ) i ukupna količina proizvedenog plina (Mann Whitney U test,  $P = 0,008$ ) kod EP u odnosu na kontrolnu skupinu (Tablica 2).

Tablica 2. Razlike u  $CH_4$  i količini plina između kontrolne i EP skupine  
*Table 3. Differences in  $CH_4$  and gas volume between control and EP groups*

	Median (IQR)		Difference	95% CI	$P^*$
	Control Group (K)	EP (PS)			
$CH_4$ (%)	60,2 (58,2–67,8)	57,2 (53,5–62,9)	-4,8	-9,8 to 1,2	0,09
Dnevna količina proizvedenog plina [ml]	85 (42,5–340)	365 (210–835)	235	125-430	<b>&lt; 0,001</b>
Ukupna količina plina [ml]	4.420 (4.390–5.678)	17.330 (16.776–18.558)	125.331	11.010 – 14.850	<b>0,008</b>

IQR – interquartile range; EP – eksperimentalna primjesa soje; CI – confidence interval  
 \*Mann Whitney U test

Medijan koncentracije metana tijekom 28 dana anaerobne fermentacije kod kontrolne grupe iznosila je 60,2% (interkvartilnog raspona od 58,4 do 67,5%), a kod eksperimentalne grupe iznosila je 57,2% (interkvartilnog raspona od 53,6 do 62,9 %). Istraživanjem je utvrđeno da je iz jedne tone svježeg organskog otpada nakon pročišćavanja soje moguće proizvesti 513,81 m<sup>3</sup> (BPP) bioplina s udjelom metana od 57,2 %. Slične rezultate u svojim istraživanjima su dobili (Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft) u Njemačkoj, gdje su iz jedne tone svježe mase otpada od pročišćavanja proizveli 547,7m<sup>3</sup> bioplina s udjelom metana od 54%.

Tablica 3. Sirovinski prinos bioplina, KTBL

Table 4. Biogas yield

Naziv sirovine	Suha tvar	Organska suha tvar	Prinos bioplina		Kvaliteta bioplina
	% ST	% oST	l <sub>n</sub> /kg oST	m <sub>n</sub> <sup>3</sup> /t SM	% CH <sub>4</sub>
Otpad od pročišćavanja	89,2	83,5	656,0	547,7	54,0

## RASPRAVA

Sukladno svemu navedenom možemo izračunati da je iz jedne tone svježe mase otpada od pročišćavanja soje moguće proizvesti oko 1.230 kWh električne energije.

BPP – bioplinski potencijal sirovine [m<sup>3</sup>/t<sub>SM</sub>]

BMP – biometanski potencijal sirovine [m<sup>3</sup>/t<sub>SM</sub>]

%CH<sub>4</sub> – udio metana u bioplinau proizvedenog iz određene sirovine

$$BMP_{t,SM} = \frac{BPP_{t,SM} \times \%CH_4}{100}$$

$$BMP_{t,SM} = \frac{513,81 \times 57,2}{100} = 293,90 \text{ m}^3_{CH_4}/t_{SM}$$

LHV<sub>CH<sub>4</sub></sub> = 9,972 kWh/m<sup>3</sup> - donja ogrjevna vrijednost metana

$$\eta_{el} = 0,42^3$$

- stupanj korisnog djelovanja pretvorbe u električnu struju

$$EP_{t,SM} = BMP_{t,SM} \times LHV \times \eta_{el}$$

$$EP_{t,SM} = 293,90 \times 9,972 \times 0,42 = 1.230,92 \text{ kWh}_{el}$$

Prema godišnjem izvješću za 2020. godinu Hrvatske energetske regulatorne agencije (HERA) u Republici Hrvatskoj broj priključnih mjesta na „niski napon – kućanstva“ je bio 2.227.106, koja su navedene godine potrošila 6.075.185 MWh električne energije. Sukladno navedenom prosječna godišnja potrošnja električne energije jednog kućanstva iznosi 2,728 MWh.

## ZAKLJUČAK

Bioplinska postrojenja su postrojenja za proizvodnju energije iz obnovljivih izvora. Ideja izgradnje navedenih postrojenja je prvenstveno stvaranje nove vrijednosti iz organskih nusproizvoda i otpada, tj. biti dodatna karika u lancu proizvodnje i iskoristiti neiskorišteno. Trenutno, gotovo svim bioplinskim postrojenjima u Republici Hrvatskoj osnova za proizvodnju bioplina je kukuruzna silaža.

Situacija na tržištu poljoprivrednih proizvoda, točnije kontinuirani rast cijena energetske usjeva, pa tako i kukuruzne silaže, nameće pitanje isplativosti proizvodnje energije na bioplinskim postrojenjima. Iz tog razloga, vlasnici bioplinskih postrojenja sve su više u potrazi za novim sirovinama, tj. nastoje što više smanjiti utjecaj energetske usjeva u proizvodnji zamjenom sa organskim nusproizvodima i otpadom.

Jedna od takvih sirovina zasigurno može biti i otpad od pročišćavanja soje. Ako u obzir uzmemo da u Republici Hrvatskoj godišnje nastaje oko 15.481,2 tona otpada od pročišćavanja soje, a sukladno laboratorijskom istraživanju i izračunu možemo reći da od jedne tone svježe mase otpada od pročišćavanja soje se može proizvesti oko 1.230 kWh električne energije, dolazi se do podatka da je navedena količina otpada dovoljna za proizvodnju oko 19.000 MWh električne energije, tj. da zadovolji potrebe za električnom energijom oko 6.980 kućanstava u Republici Hrvatskoj, odnosno 0,3%.

Nažalost, ili na sreću, trenutna situacija s cijenama nabave energetske usjeva, vlasnike bioplinskih postrojenja vraćaju na „osnovne postavke“, a to je proizvodnja energije iz trenutno već dostupnih sirovina. Otpad od pročišćavanja soje zasigurno je jedna od takvih sirovina, ali dodatnim ulaganjem u poljoprivrednu proizvodnju, kao i u bioplinska postrojenja, mogu se još više iskoristiti razni poljoprivredni i industrijski nusproizvodi i otpadi.

---

<sup>3</sup> Podatak za bioplinski motor proizvođača Jenbacher, model JMS 416 GS-B.L

## LITERATURA

- Državni zavod za statistiku Republike Hrvatske, (2022). Površina i proizvodnja žitarica i ostalih usjeva u 2021. - privremeni podaci.
- Hrvatska energetska regulatorna agencija, (2021). Godišnje izvješće za 2020. godinu
- Lakić, J. (2016). Iskoristivost soje različitih kultivara za potrebe proizvodnje biogoriva i hranidbu životinja.
- William, L. (1996). Economic Implications of Cleaning Soybeans in the United States, Commercial Agriculture Division, Economic Research Service, U.S. Department of Agriculture. Agricultural Economic Report No. 737.
- Rozman, V., Liška, A. (2011). Skladištenje ratarskih proizvoda. Poljoprivredni fakultet Osijek.

## PRODUCTION OF BIOGAS FROM ORGANIC WASTE FROM SOYBEAN CLEANING

### Summary

Soy is mainly used as a base for the production of food. The first step in the technological processing of soybeans is mechanical cleaning from impurities. Cleaning process creates waste with great energy potential. In 2021 228.000 tons of soybeans were produced in the Croatia, and according to data for 2022 from one of the buyers of soybeans in the Croatia, the average amount of impurities was 6,79%. Taking into account the stated percentage of impurities, we can conclude that in 2021 about 15.481 tons of waste from soybean were generated. By using the mentioned waste as a raw material in the anaerobic digestion process, a significant amount of biogas can be produced, which can be used as fuel for energy production. Laboratory tests have shown that one ton of soybean cleaning waste can produce about 513,81 m<sup>3</sup> of biogas, of which about 57,2% is CH<sub>4</sub>. We calculate that the specified amount of waste is sufficient for the production of 19.000 MWh of electrical energy per year. With the average consumption of electrical energy in households in 2021 in Croatia of 2.728 kWh, the total electrical energy produced from soybean waste is sufficient to meet the annual electrical energy needs of 6,980 households.

Key words: *soybean, anaerobic digestion, organic waste, energy*