

ENERGETSKA VALORIZACIJA OTPADNIH VODA IZ INDUSTRIJE PRERADE MLEKA U SRBIJI

ENERGY VALORIZATION OF WASTEWATERS FROM MILK PROCESSING INDUSTRY IN SERBIA

Slobodan CVETKOVIĆ^{1*}, Mirjana KIJEVČANIN², Vlado KOVAČEVIĆ³

¹ Ministarstvo zaštite životne sredine Republike Srbije, Beograd, Srbija

² Univerzitet u Beogradu, Tehnološko-Metalurški fakultet, Beograd, Srbija

³ Institut za ekonomiku poljoprivrede, Beograd, Srbija

Otpadne vode industrije prerade mleka predstavljaju veliko optrećenje po životnu sredinu. U ovom radu istraživana je potencijal za energetska valorizaciju anaerobnog tretmana otpadnih voda iz industrije prerade mleka u Republici Srbiji. Dobijeni rezultati su pokazali da se otpadne vode iz industrije prerade mleka mogu uspešno koristiti kao resurs za proizvodnju toplotne i električne energije, kao i u supstituciji prirodnog gasa u Republici Srbiji.

Ključne reči: *biogas; energija; industrija prerade mleka; prirodni gas*

Wastewaters from milk processing industry are a great burden for environment. In this paper, the potential for energy valorization of anaerobic wastewater treatment of milk processing industry in the Republic of Serbia was investigated. The obtained results showed that wastewater from milk processing industry can be successfully used as a resource for production of heat and electricity as well as for substitution of natural gas in the Republic of Serbia.

Key words: *biogas; energy; milk processing industry; natural gas*

1 Uvod

Širom sveta, industrija prerade mleka ima veliki društveni značaj, budući da doprinosi ishrani ljudi i ima visoku ekonomsku vrednost. U industriji prerade mleka, sirovo mleko se prerađuje u različite proizvode kao što su pasterizovano mleko, jogurt, sir, puter, sladoled, mleko u prahu i razne druge vrste proizvoda. Proizvodnja mleka u Republici Srbiji je jedna od najvažnijih poljoprivrednih grana, koja uključuje više od 280,000 proizvođača i značajno doprinosi ekonomiji. To je sektor sa godišnjim obrtom od preko 500 miliona evra. Proizvodnja mleka varira u zavisnosti od veličine stočnog fonda u Republici Srbiji (slika 1.) [1]. Najznačajnija je proizvodnja kravljeg mleka, slede proizvodnja ovčijeg i kozjeg mleka. Mleko se pretežno proizvodi na malim farmama, a oko 50% ukupne proizvodnje mleka se industrijski preradi [1].

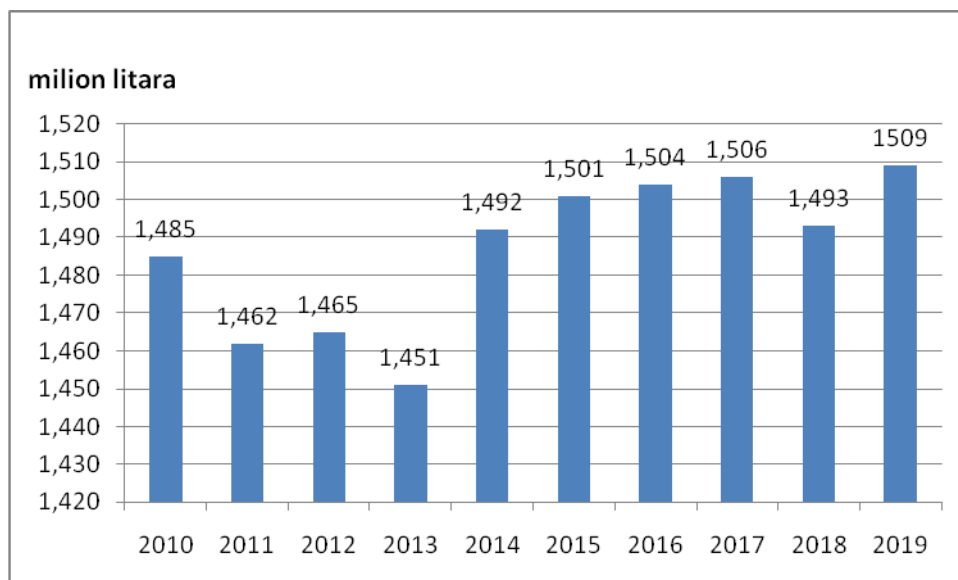
Industrija prerade mleka je jedan od najvećih generatora otpadnih voda u mnogim zemljama. Otpadne vode iz ove industrije sadrže visoku koncentraciju organske materije i predstavljaju veliki problem po životnu sredinu. Jedan od značajnih problema uzrokovanih ispuštanjem ovih otpadnih voda direktno u recepijentu je smanjenje koncentracije rastvorenog kiseonika u vodi. Organska materija iz otpadnih voda industrije mleka je biodegradabilna i može se anaerobno tretirati u cilju proizvodnje biogasa [2,3].

Cilj ovog rada je da proceni količinu otpadnih voda iz industrije prerade mleka u Republici Srbiji koja se može koristiti za proizvodnju biogasa, kao i da sagleda mogućnosti za:

- proizvodnju toplotne energije iz generisanog biogasa
- proizvodnju električne energije iz nastalog gasa
- supstituciju prirodnog gasa sa biogasom iz otpadnih voda industrije prerade mleka

Rezultati ovog rada mogu poslužiti donosiocima odluka u kompanijama koje se bave preradom mleka u energetskom planiranju u cilju smanjenja troškova poslovanja, ali i unapređenja zaštite životne sredine.

* Corresponding author, e-mail: ing.slobodancvetkovic@yahoo.com



Slika 1. Proizvodnja kravljeg mleka u Srbiji u periodu od 2010. do 2019. godine [1]

2 Metodologija

2.1 Proračun potencijala za proizvodnju biogasa iz otpadnih voda industrije prerade mleka

Prosečna proizvodnja kravljeg mleka u Srbiji u periodu od 2010. do 2019. godine iznosila je 1,487 miliona litara (slika 1). U industriji je prosečno prerađeno 50% godišnje proizvodnje mleka, što je 743,500 m³ mleka i to je predstavljalo osnovu za proračun potencijala za proizvodnju biogasa iz otpadnih voda industrije prerade mleka u ovom radu. Količina otpadnih voda iz industrije prerade mleka iznosi od 0.3-3l_{vode}/l_{prerađenog mleka} [4]. Za proračun u ovom radu korišćena je vrednost otpadne vode od 3 l_{vode}/(kg_{prerađenog mleka} zbog neefikasnog korišćenja vode u industriji Republike Srbije. Uobičajeni faktori zagađenja (čvrsta materija (TS), ukupni azot (TN), biohemijska potrošnja kiseonika (BOD), hemijska potrošnja kiseonika (COD), sa koncentracijama u otpadnim vodama iz industrije prerade mleka, dati su u tabeli 1[5].

Tabela 1. Karakteristike otpadnih voda industrije prerade mleka [5]

TN (mg /L)	TS (g/L)	BOD (g/L)	COD (g /L)
50–70	3–7	3–5	5–10

Potencijal za proizvodnju biogasa iz otpadnih voda industrije prerade mleka računat je iz jednačine (1).

$$P_I = \rho \cdot A_I \cdot B_I \cdot C_I \cdot D_I \cdot L / F \quad (1)$$

gde je: P_I biogas potencijal (m³/godišnje); ρ gustina mleka; A_I prosečno prerađena godišnja količina mleka u industriji u periodu 2010.-2019. godine u m³; B_I procenjena vrednost generisanih otpadnih voda po kg prerađenog mleka (m³ otpadnih voda/kg_{prerađenog mleka}); C_I procenjena vrednost COD (kg/m³), D_I proizvedeni metan po kg uklonjenog COD (Nm³_{CH₄}/kg_{COD} uklonjenog); L toplotna moć metana (kWh/m³_N) i F toplotna moć biogasa (kWh/m³_N).

U određivanju potencijala za proizvodnju biogasa korišćene su sledeće vrednosti: ρ gustina mleka od 1.03 kg/m³; B_I od 3 l_{vode}/(kg_{prerađenog mleka}); COD od 6 kg/m³ [5]; proizvodnja metana u anaerobnom tretmanu iz otpadnih voda industrije prerade mleka u procenjenom iznosu od 0.30 Nm³_{CH₄}/kg_{COD} uklonjenog [6]; toplotna moć metana od 10 kWh/m³_N i procenjena toplotna moć biogasa od 6 kWh/m³_N (60% udela metana u biogasu) [7].

2.1.1 Proračun potencijala za proizvodnju toplotne energije iz otpadnih voda industrije prerade mleka

Za proračun proizvodnje toplotne energije iz otpadnih voda industrije prerade mleka pretpostavljeno je direktno sagorevanje biogasa u kotlu, kao i da se 30% proizvedene količine biogasa koristi za grejanje anaerobnog digestora. Proizvodnja toplotne energije iz otpadnih voda industrije prerade mleka određena je iz jednačine (2).

$$P_2 = 0.7 \cdot P_1 \cdot F \cdot E_1 \quad (2)$$

gde je P_2 godišnja proizvodnja toplotne energije iz otpadnih voda industrije prerade mleka u kWh; E_1 je stepen energetske efikasnosti proizvodnje toplotne energije u kotlu (0.8) [8].

2.1.2 Proračun proizvodnje električne energije iz otpadnih voda industrije prerade mleka

Za proračun proizvodnje električne energije iz otpadnih voda industrije prerade mleka pretpostavljeno je korišćenje dobijenog biogasa u gorivim ćelijama kao kogenerativnom postrojenju [9]. Proizvodnja električne energije iz otpadnih voda industrije prerade mleka determinisana je korišćenjem jednačine (3).

$$P_3 = P_1 \cdot F \cdot E_2 \quad (3)$$

gde je P_3 godišnja proizvodnja električne energije iz otpadnih voda industrije prerade mleka; E_2 je stepen energetske efikasnosti proizvodnje električne energije u gorivim ćelijama (0.6) [8,9].

2.1.3 Proračun količine prirodnog gasa koja se može supstituisati iz otpadnih voda industrije prerade mleka

U cilju izračunavanja količine prirodnog gasa koja se može supstituisati iz otpadnih voda industrije prerade mleka, pretpostavljeno je prečišćavanje prethodno dobijenog biogasa (uklanjanje ugljen dioksida) [10,11], kao i da se dobijeni biometan dalje upumpava u nacionalnu mrežu prirodnog gasa. Pretpostavljeni gubici metana tokom ovog procesa iznosili su 5% [10,11]. Takođe, pretpostavka je bila i da se 30% proizvedene količine biogasa upotrebljava za obezbeđenje toplotne energije procesa anaerobne digestije. Količina prirodnog gasa koja se može supstituisati iz otpadnih voda industrije prerade mleka računata je kao:

$$P_4 = 0.7 \cdot P_1 \cdot 0.6 \cdot 0.95 \cdot M/N \quad (4)$$

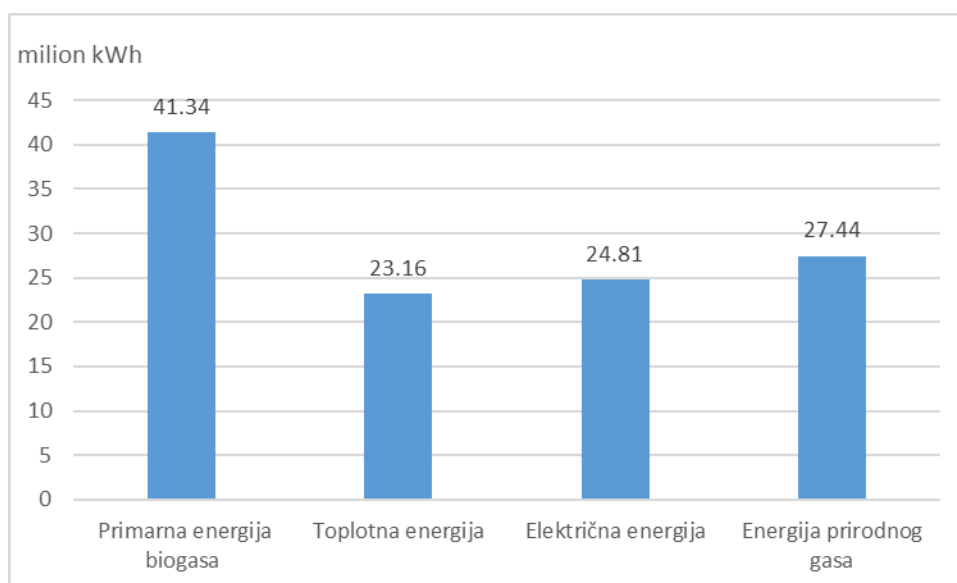
gde je P_4 količina prirodnog gasa koja se može supstituisati iz otpadnih voda industrije prerade mleka (m^3_N); M je toplotna moć metana ($36 \text{ MJ}/m^3_N$); N je toplotna moć prirodnog gasa ($39.2 \text{ MJ}/m^3_N$) [12].

3 Rezultati i diskusija

Proračunom iz jednačine (1) dobijen je ukupni potencijal za proizvodnju biogasa iz otpadnih voda industrije prerade mleka u Srbiji koji iznosi 6.89 miliona m^3_N /godišnje. Iz ovog potencijala moguće je dobiti 41.34 miliona kWh primarne energije (slika 2.). Dobijeni rezultat ima dobro slaganje sa rezultatom koji je dobijen za određivanje potencijala za proizvodnju biogasa iz otpadnih voda industrije mleka u Turskoj i koji je iznosio 54.2 miliona m^3 /godišnje uz učešće industrijske prerade mleka od 60% [13].

Direktnim sagorevanjem biogasa nastalog iz otpadnih voda industrije prerade mleka u Srbiji može se dobiti 23.16 miliona kWh toplotne energije (slika 2.). Dobijena toplotna energija može se koristiti na samom postrojenju za tretman otpadnih voda, grejanju objekata za stanovanje u bližim naseljima ili plasteničkoj proizvodnji. Upotrebu ove energije treba unapred planirati usled sezonskog karaktera korišćenja toplotne energije (period zima-letno).

Iz otpadnih voda industrije prerade mleka u Srbiji može se generisati 24.81 miliona kWh električne energije (slika 2.). U procesu kogeneracije nastaje i toplotna energija koja se može koristiti za grejanje digestora ili u trigeneraciji jer industrija mleka ima potrebu za korišćenjem rashladne energije.



Slika 2. *Mogućnost energetske valorizacije otpadnih voda iz industrije prerade mleka u Srbiji*

Na osnovu dobijenog rezultata može se zaključiti da se biogasom iz otpadnih voda industrije mleka može godišnje supstituisati 2.52 miliona m^3_N prirodnog gasa. Korišćenjem ovog potencijala moguće je ostvariti proizvodnju primarne energije od 27.51 miliona kWh (slika 2.), pre svega u sektoru zgradarstva i industrije. Imajući u vidu da je tržišna cena prirodnog gasa 0.3 €/m³_N [14], može se zaključiti da se korišćenjem ovog potencijala može godišnje uštedeti 756,000 € u supstituciji prirodnog gasa kao fosilnog izvora energije.

U ovom radu korišćene su različite pretpostavke koje su uključene u proračun potencijala za proizvodnju biogasa, što uvodi određene stepene nesigurnosti. Iz tog razloga vrednosti procenjenih parametara korišćenih u ovom radu uvek su bile restriktivne. Nesigurnosti mogu nastati iz načina na koji su definisani principi u pristupu proračunu, a to se posebno odnosi za procenu količina otpadnih voda iz industrije mleka koja se može koristiti za proizvodnju biogasa, procenu prinosa biogasa iz različitih izvora, kao i procenu toplotne moći dobijenog biogasa i biometana.

4 Zaključak

U ovom radu istraživana je mogućnost proizvodnje enegije iz optadnih voda industrije prerade mleka u Srbiji. Dobijeni rezultati su ukazali da se iz otpadnh voda industrije prerade mleka može dobiti 23.16 miliona kWh toplotne energije i 24.81 miliona kWh električne energije, kao i da se može supstituisati 2.52 miliona m³ prirodnog gasa. Ovi rezultati ukazuju da otpadne vode industrije prerade mleka u Srbiji imaju značajan energetski i tržišni potencijal koji bi trebalo iskoristi u cilju unapredjenja poslovanja kompanija ali i zaštite životne sredine.

5 Literatura

- [1] *** Green book, 2019, Available at: http://www.minpolj.gov.rs/wp-content/uploads/dato-teke/korisna_dokumenta/ZK%202019%20II%20knjiga.pdf?script=lat
- [2] **Aderibigbe, D.O., Giwa, A.R.A., Bello, I.A.**, *Characterization and treatment of wastewater from food processing industry: A review*, Imam J. Appl. Sci., 2 (2017), 27-36.
- [3] **Song, X. Luo, W. Hai, F.I., Price, W.E., Guo, W., Ngo, H.H., Nghiem, L.D.**, *Resource recovery from wastewater by anaerobic membrane bioreactors: Opportunities and challenges*, Biores. Technol., 270(2018), 669–677.
- [4] *** Decision EU, 2019. Commission implementing decision (EU) 2019/2031 establishing best available techniques (BAT) conclusions for the food, drink and milk industries, under Directive 2010/75/EU of the European Parliament and of the Council.

- [5] **Karadag, D., Köroğlu, O.E., Ozkaya, B., Cakmakci, M.,** *A review on anaerobic biofilm reactors for the treatment of dairy industry wastewater*, *Process Biochem.*, 50(2015), 262-271.
- [6] **Nadaleti, W. C.,** *Utilization of residues from rice parboiling industries in southern Brazil for biogas and hydrogen-syngas generation: Heat, electricity and energy planning*, *Renew. Energy*, 131(2019), 55-72.
- [7] *** AEBIOM, 2009. Brochure, A biogas road map for Europe. European Biomass Association
- [8] **Kapoor, R., Ghosh, P., Tyagi, B., Kumar, V., Vijay, V.V.,** *Advances in biogas valorization and utilization systems: A comprehensive review*, *J. Clean. Prod.*, 273 (2020), 123052.
- [9] **Trendewicz, A., Braun, R.J.,** *Techno-economic analysis of solid oxide fuel cell based combined heat and power systems for biogas utilization at waste water treatment facilities*, *J. Power Sources*, 233(2013), 380-393.
- [10] **Miltner, M., Makaruk, A., Harasek, M.,** *Review on available biogas upgrading technologies and innovations towards advanced solutions*, *J. Clean. Prod.*, 161(2017), 1329-1337.
- [11] **Sahota, S., Shah, G., Ghosh, P., Kapoor, R., Sengupta, S., Singh, P., Vijaya, V., Sahay, A., Vijay, V.K., Thakur, I.S.,** *Review of trends in biogas upgradation technologies and future perspectives*, *Biores. Technol. Rep.*, 1(2018), 79–88.
- [12] **Vasić, V.; Zupančić, G. D., Kokalj, F.,** *Biogas as Promising Alternative in Natural Gas Distribution Systems*. *KGH – Heating, Ventilation and Air-Conditioning*, 41(2012), 75-80.
- [13] **Coskun, C., Akyuz, E., Oktay, Z., Dincer, I.,** *Energy analysis of hydrogen production using biogas-based electricity*. *Int. J. Hydrogen Energy*, 36 (2011), 11418-424.
- [14] *** Srbijagas; <https://www.srbijagas.com/wp-content/uploads/2021/03/2019.07.05.-Cena-gasa-10.03.2021.pdf>

