

Biblid: 0354-9496(2020) 25: 3/4, p. 76-82
UDK: 631.3:621.825.6

Naučni rad
Scientific paper

ANALIZA ISPLATIVOST UGRADNJE UASB DIGESTORA ZA TRETMAN OTPADNIH VODA U PIVARI – STUDIJA SLUČAJA PIVARE U REPUBLICI SRBIJI

COST-EFFECTIVENESS ANALYSIS OF THE IMPLEMENTATION OF A UASB ANAEROBIC DIGESTER FOR WASTEWATER TREATMENT IN A BREWERY - A CASE STUDY IN A BREWERY IN THE REPUBLIC OF SERBIA

Nikolić J.¹, Aleksić N.², Šušteršič, V.³, Gordić, D.⁴

REZIME

Upravljanje vodom i otpadnim vodama predstavlja praktični problem za industriju hrane i pića, uključujući i pivarsku industriju. Tehnološka otpadna voda iz pivara je pretežno organski opterećena i za njeno tretiranje uglavnom se primenjuju biološki aerobni ili anaerobni procesi. U radu je istražena mogućnost unapređenja procesa tretmana otpadnih voda, u jednoj pivari u Republici Srbiji, kroz ugradnju UASB digestora. UASB digestor ima visok stepen anaerobnog prečišćavanja otpadnih voda, usled čega dolazi do produkcije metanskog gasa, koji može da se iskoristiti za proizvodnju električne energije. Nakon proračuna isplativosti ugradnje UASB digestora u pivari predloženo je tehničko rešenje. Analizom je utvrđeno da je period otplate ugradnje UASB digestora, ako se uzme prosečna vrednost električne energije na teritoriji Republike Srbije od 4,4 c€ manja od 2 godine, a ukoliko se višak proizvedene električne energije isporučuje energetske mreži po ceni za povlašćene proizvođače od 8,44 c€, period otplate je 11 meseci.

Ključne reči: pivare, otpadne vode, UASB digestor, isplativost

SUMMARY

Water and wastewater management is a practical problem for the food and beverage industry, including breweries. The beer brewing process often generates large amounts of wastewater,

¹ Jelena Nikolić, istraživač pripravnik, Fakultet inženjerskih nauka Univerziteta u Kragujevcu, Sestre Janjić 6, 34000 Kragujevac, jelena.nikolic@fink.rs

² Natalija Aleksić, istraživač pripravnik, Fakultet inženjerskih nauka Univerziteta u Kragujevcu, Sestre Janjić 6, 34000 Kragujevac, natalija94u@gmail.com

³ Dr Vanja Šušteršič, red. prof., Fakultet inženjerskih nauka Univerziteta u Kragujevcu, Sestre Janjić 6, 34000 Kragujevac, vanjas@kg.ac.rs

⁴ Dr Dušan Gordić, red. prof., Fakultet inženjerskih nauka Univerziteta u Kragujevcu, Sestre Janjić 6, 34000 Kragujevac, gordic@kg.ac.rs

which is mostly organically loaded. Wastewaters from the brewery are usually treated with biological aerobic or anaerobic processes. The paper considers the possibility of improving the process of wastewater treatment in a brewery in the Republic of Serbia, through the installation of UASB reactor. The UASB reactor has a high degree of anaerobic wastewater treatment, and during the wastewater treatment, it produces methane gas, which can be used to produce electricity. After calculation of the cost-effectiveness of installing UASB digester in the brewery is proposed the technical solution. The analysis determined that the repayment period for the installation of UASB reactor is less than 2 years if we take the average value of electricity in the Republic of Serbia of 4.4 c€. And, if the surplus of produced electricity is delivered in the distribution grid at a price for a feed-in tariff of 8.44 c€, the repayment period is 11 months.

Key words: breweries, wastewater, UASB reactor, cost-effectiveness

UVOD

U prehrambenoj industriji pivarstvo predstavlja značajnu ekonomsku granu, sa ukupnom proizvodnjom od 1,94 milijardi hektolitara u 2018. godini [1]. Kao peto piće koje se najviše konzumira u svetu (nakon mleka, čaja, kafe i gaziranih napitaka) [2], pivo je na globalnom nivou tokom 2020. godine obezbedilo godišnji prihod od preko 522 milijardi američkih dolara, sa prognozom porasta za 9,4% do 2023. godine [3]. Trend povećane potražnje za pivom se beleži i u zemljama Evrope, o čemu svedoči podatak da je proizvodnja u preko 10.000 pivnica prvi put premašila 400 miliona hektolitara u 2018. godini [4]. Na osnovu podataka prikazanih u okviru Pregleda stanja za prehrambenu industriju u Srbiji [5], sektor pivarstva je 2016. imao udeo od 22% u ukupnim prihodima prehrambenog sektora. Pored toga, proizvodnja piva u Srbiji postaje sve aktuelnija, sa značajnim povećanjem broja novih pivnica. Na osnovu podataka dostupnih na sajtu Agencije za privredne registre [6] broj trenutno aktivnih pivskih preduzeća u Srbiji je gotovo dupliran u poređenju sa podacima koji su dostupni za 2016. godinu [5]. Proces proizvodnje piva je energetski vrlo intenzivan i podrazumeva potrošnju velike količine vode. Pivo sadrži čak 95% vode, ali se pri samom procesu proizvodnje utroši značajno veća količina od one koja je sadržana u samom piću [7]. Otpadne vode predstavljaju najznačajniju vrstu otpada koja se generiše u procesima proizvodnje piva. Pretpostavlja se da se prilikom proizvodnje jednog litra piva odstrani 3-10 l otpadnih voda [8]. Uprkos značajnim unapređenjima u proizvodnim procesima poslednjih godina, upotreba vode i tretman otpadnih voda i dalje predstavljaju problem, koji direktno utiče na preduzeća, ali i na samu proizvodnju piva. Shodno tome, racionalna upotreba vode predstavlja pravi ekonomski izazov i priliku za unapređenje u ovoj industrijskoj grani. Na efikasnost postrojenja za tretman otpadnih voda se može uticati na više načina i pravilna implementacija projekta se pozitivno odražava na smanjenje troškova preduzeća, kao i na životnu sredinu [9]. Olajire je prikazao sve energetsko-ekološke izazove sa kojima se industrija piva suočava kao i tehnologije čijom upotrebom se može uticati na povećanje efikasnosti [10]. Kako su potrošnja vode i energije u sprezi, povećanje efikasnosti postrojenja za tretman vode može uticati i na ostvarivanje energetskih ušteda, kao što je prikazala grupa autora, koja je ispitala mogućnost zamene mehaničke spojnice hidrodinamičkom [11]. Jaiyeola i Bwapwa podsećaju na značaj smanjenja potrošnje vode, posebno u zemljama Južne Afrike, koje su istovremeno suočene i sa nestašicama vode i ubrzanim porastom broja stanovnika [12]. U radu se ističe da je industrija piva najveći industrijski potrošač vode i razmotrene su sve konvencionalne i druge tehnike, poput upotrebe membrane, aktivnog uglja, algi, koje se mogu koristiti radi efikasnog tretmana otpadnih voda, uz osvrt na efikasnost, prednosti i mane. Pokazano je da se primenom membranskog

bioreaktora sa UASB digestorom (eng. Upflow anaerobic sludge blanket) COD može redukovati do 96%. UASB digestori su najzastupljeniji u savremenoj industrijskoj praksi i karakteristični su po sloju mulja nakupljenom u donjoj zoni digestora. U njima se visoka koncentracija biomase postiže separatorom na vrhu digestora, kojim se razdvaja biogas, prečišćena otpadna voda i mulj. Efikasnost primene ove tehnologije prikazana je i u radovima dve grupe autora. U radu u kome je ispitivana mogućnost uvođenja UASB digestora u industrijskoj pivnici u Republici Kongo došlo se do zaključka da se upotrebom ovog digestora COD redukuje u opsegu od 70-94% [13]. Jednako dobri rezultati pri ovakvom tretmanu otpadnih voda prikazani su i u radu u kome je analizirana pivnica u Indiji, uz napomenu da se primenom UASB digestora postiže i ušteda energije od 50% [14].

Shodno navedenom, cilj ovog rada je ispitivanje mogućnosti za unapređenje procesa tretmana otpadnih voda u jednoj pivari u Republici Srbiji. Pored toga, u radu je prikazana šema za proračun isplativosti UASB digestora u zavisnosti od proizvodnje metana. Kao takav, rad doprinosi proširenju znanja u oblasti povećanja efikasnosti u pivarama, koje su energetske-ekološki zahtevni sistemi.

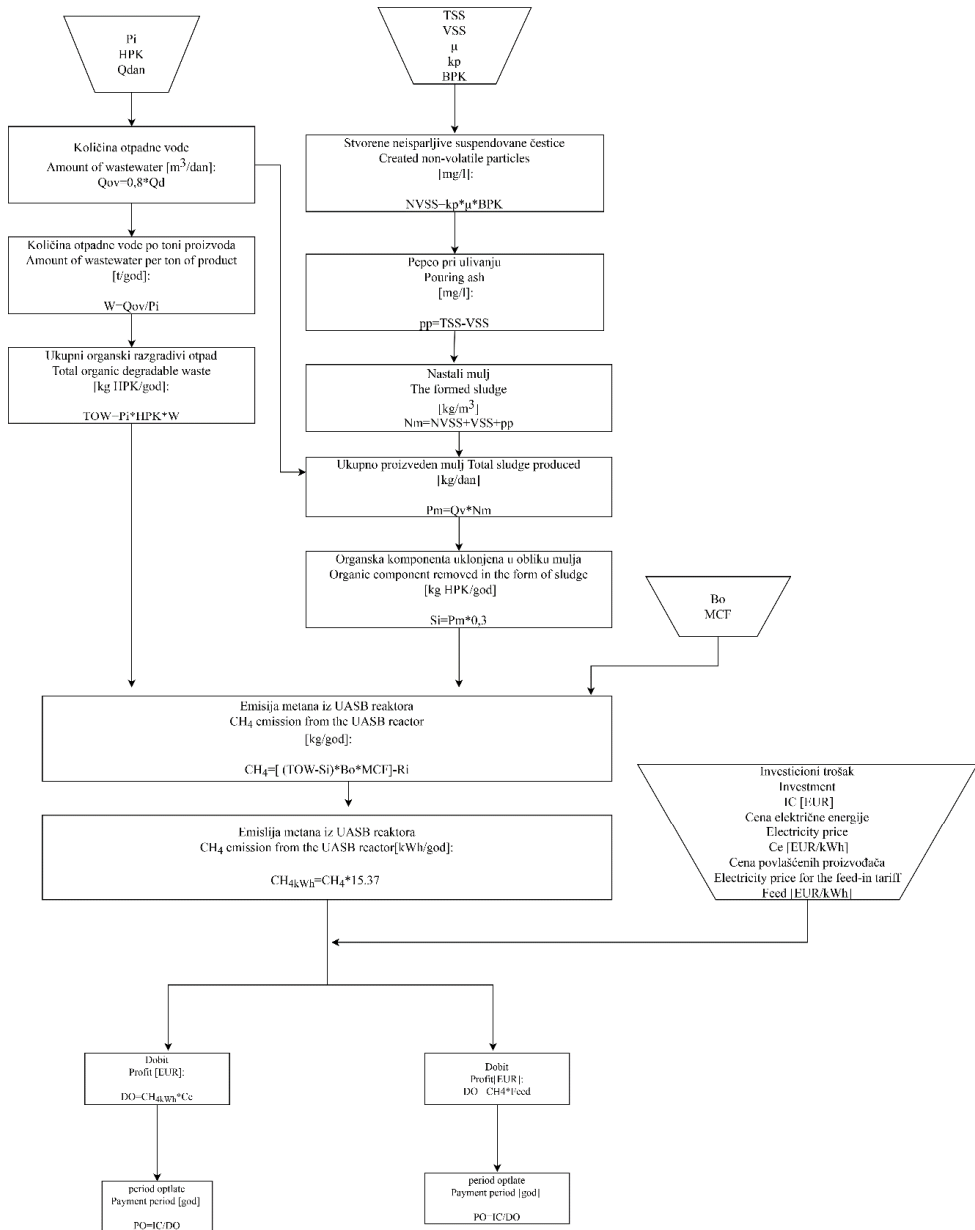
MATERIJAL I METOD RADA

Podaci korišćeni prilikom izrade ovog rada prikupljeni su direktno, odlaskom u industrijsku pivaru. Prilikom posete, sprovođenjem upitnika o prikupljanju ekoloških parametara i razgovora sa zaposlenima, pored podataka o obimu poslovanja i godišnjoj količini proizvedenog pića, prikupljeni su podaci o trenutnom načinu korišćenja i tretmana voda sa svim potrebnim parametrima (Tabela 1.).

Tab. 1. Podaci o otpadnim vodama prikupljeni prilikom obilaska pivare
Tab. 1. Wastewater data obtained during a site visit

Parametar	Oznaka	Parametar	Oznaka
Ukupna godišnja proizvodnja piva [t/god] Total annual beer production [t/god]	Pi	Ukupne isparljive čvrste materije [mg/l] Volatile suspended solids [mg/l]	VSS
Ukupna količina sveže vode [m ³ /dan] Total amount of fresh water [m ³ /dan]	Q _{dan}	Iznos CH ₄ obračunat u tekućoj godini [kg HPK/god] Amount of CH ₄ calculated in the current year [kg HPK / year]	Ri
Alkalitet [-] Alkalinity [-]	pH	Azot [mg/l] Nitrogen [mg/l]	N
Hemijski potrebna količina kiseonika [mg/l] Chemical oxygen demand [mg/l]	HPK	Fosfor [mg/l] Phosphorus [mg/l]	P
Biohemijska potrošnja kiseonika [mg/l] Biochemical oxygen demand [mg/l]	BPK	Ukupne rastvorene materije [mg/l] Total dissolved solids [mg/l]	TDS
Ukupne suspendivane čvrste materije [mg/l] Total suspended solids [mg/l]	TSS	Temperatura [K] Temperature [K]	T

Nakon analize i sistematizacije podataka, izračunata je isplativost ugradnje UASB digestora na osnovu proračuna prikazanog na Slici 1. Oznake korišćene u blok dijagramu prikazane su u Tabeli 1.



Sl. 1. Blok dijagram za proračun isplativosti ugradnje UASB digestora

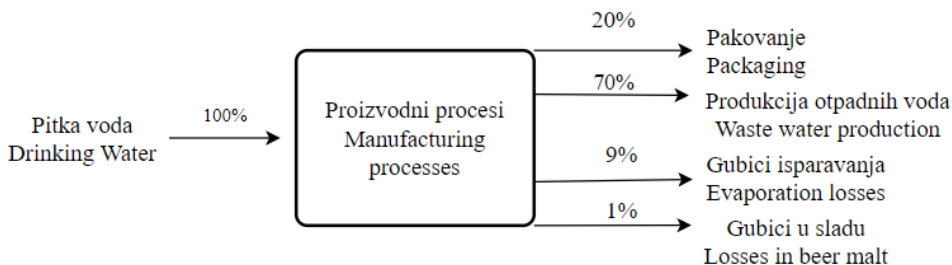
Fig 1. Diagram for cost-effectiveness calculation of UASB reactor

Prilikom proračuna, za parametar metanske konverzije (MCF, [-]) usvojena je vrednost od 0,8, dok je podrazumevana vrednost maksimalnog kapaciteta za proizvodnju metana otpadne vode (Bo) 0,6 kg CH₄/kg BPK. Radi određivanja stvorenih neisparljivih suspendovanih čestica pri smanjenju BPK (NVSS), usvojeno je da je koeficijent biohemijske potrošnje kiseonika μ=0,8,

dok je koeficijent prenosa $k_p=0,1$.

REZULTATI I DISKUSIJA

Prilikom proizvodnje slada pivskog ječma u analiziranoj pivari, 58% vode se potroši u procesu proizvodnje piva, dok se 42% potroši u procesu pakovanja. Analizom podataka je dobijen maseni bilans vode u pivari prikazan na Slici 2.



Sl. 2. Maseni bilans vode za osušeni ječam u analiziranoj pivari

Fig 2. Mass water balance for dried barley in the brewery

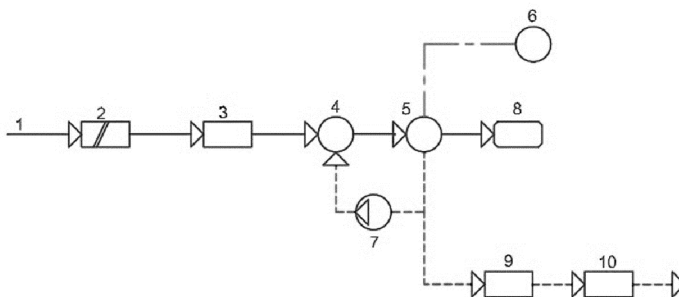
Vrednosti parametara otpadnih voda iz analiziranja pivare, koji su potrebni za određivanje isplativosti UASB digestora prikazani su u Tabeli 2.

Predloženo tehničko rešenje (Slika 3.) zasniva se na visokom stepenu anaerobnog prečišćavanja otpadnih voda i dobijanju metanskog gasa, koji se može koristiti za proizvodnju električne energije.

Tab. 2. Vrednosti parametara otpadnih voda u analiziranoj pivari

Tab. 2. Values of wastewater parameters in the analyzed brewery

Parametar Parameter	Vrednost Value	Parametar Parameter	Vrednost Value
Pi [t/god]	15.000	VSS[mg/l]	400
Q_{dan} [m ³ /dan]	318	Ri[kg HPK/god]	0
pH[-]	7	TDS[mg/l]	2.301
HPK[mg/l]	2.480	BPK[mg/l]	1.393
TSS[mg/l]	810		



Sl. 3. Tehnološka šema predloženog rešenja

1. Cevna mreža nepročišćene otpadne vode; 2. Grube/fine rešetke; 3. Egalizacioni bazeni; 4. Primarni pravougaoni taložnik; 5. UASB digestor; 6. Rezervoar za skupljanje metanskog gasa; 7. Recirkulacija mulja; 8. Recipijent; 9. Dehidratacija mulja; 10. Izvlačenje mulja iz mreže;

Fig. 3. Scheme of the proposed solution

1. Pipes for untreated wastewater; 2. Grids; 3. Equalization pools; 4. Primary rectangular precipitator; 5. UASB reactor; 6. Methane gas collection tank; 7. Sludge recirculation; 8. Recipient; 9. Dehydration of sludge; 10. Extraction of sludge from the network

Na osnovu detaljne analize i dobijenih potrebnih dimenzija novog postrojenja (6m×3m×5,4m), utvrđeno je da ukupni investicioni trošak ugradnje UASB digestora iznosi 13.100 €, a njegovom upotrebom je moguće proizvesti 589.000 kWh električne energije na godišnjem novou. Ukoliko se za proračun perioda otplate ovog postrojenja usvoji prosečna vrednost električne energije na teritoriji Republike Srbije od 4,4 c€, može se reći da će se jedno ovakvo postrojenje isplatiti nakon perioda koji je nešto kraći od dve godine. Sa druge strane, ukoliko se ova količina električne energije isporučuje energetske mreži po ceni za povlašćene proizvođače (tzv. feed-in tarife) od 8,44 c€, pivari se postrojenje isplati za 11 meseci.

ZAKLJUČAK

Pivare su uglavnom mala i srednja preduzeća, ali sa značajnom socijalnom i ekonomskom vrednošću. Iako se upotreba vode u industriji piva razlikuje i zavisi od specifičnih procesa i lokacija, zaključak je da se u pivarama troši velika količina vode. Zbog toga mnoge pivare danas traže: (1) način za smanjenje potrošnje vode tokom procesa proizvodnje piva i/ili (2) sredstvo za ekonomično tretiranje otpadne vode koja nastaje u procesu proizvodnje i/ili (3) način za ušedu troškova rada preduzeća i/ili (4) primere za usaglašavanje sa zahtevima zaštite životne sredine. Zbog toga, njihova politika održivosti zahteva sisteme za prečišćavanje otpadnih voda sa najboljim performansama, a činjenica je da su u tu svrhu dostupni dobro poznati procesi i tehnologije. Poslednjih godina postoji sve veći interes za primenu anaerobne digestije na otpadnim vodama iz pivara, jer količina i sastav otpadnih voda iz pivara često pruža idealne uslove za rad digestora.

Na primeru jedne pivare u Republici Srbiji razmatrano je unapređenje procesa tretmana otpadnih voda kroz ugradnju UASB digestora. U radu je prikazana šema za proračun isplativosti UASB digestora u zavisnosti od količine proizvodnje metana i predloženo je tehnološko rešenje tretmana otpadnih voda nakon ugradnje UASB digestora. Ukupni investicioni trošak ugradnje UASB digestora iznosio bi 13.100 €, i njegovom upotrebom bilo bi moguće proizvesti 589.000 kWh električne energije na godišnjem novou. Na osnovu proračuna o isplativosti dobijeno je da je period otplate kraći od 2 godine. Dakle, može se zaključiti da ugradnja UASB digestora za prečišćavanje otpadnih voda u pivarama predstavlja izuzetno privlačnu ekonomsku i ekološku alternativu obzirom na sve manje količine resursa fosilnih goriva, rasta cena električne energije i sve većih zahteva za zaštitom životne sredine.

ZAHVALNICA

Ovaj rad je nastao kao rezultat istraživanja na projektu III 42013 koje finansira Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije.

LITERATURA

- [1.] "Beer production worldwide from 1998 to 2018," Statista <https://www.statista.com/statistics/270275/worldwide-beer-production/> (accessed Sep. 09, 2020).
- [2.] L. Fillaudeau, P. Blanpain-Avet, and G. Daufin, "Water, wastewater and waste management in brewing industries," *J. Clean. Prod.*, vol. 14, no. 5, pp. 463–471, 2006.
- [3.] "Beer," Statista <https://www.statista.com/outlook/10010000/100/beer/worldwide>.
- [4.] The Brewers of Europe, "EUROPEAN BEER TRENDS STATISTICS REPORT | 2019 EDITION," Brussels Belgium, 2019. [Online]. Available: <https://beerserveurope.eu/beer-serves-europe-viii/european-beer-statistics/>.
- [5.] Republika Srbija Ministarstvo privrede, "Pregled aktuelnog stanja sa swot analizom za prehrambenu industriju u Srbiji," Beograd, 2017.
- [6.] "Agencija za privredne registre," Sep. 2020. <http://pretraga2.apr.gov.rs/unifiedentitysearch>.
- [7.] Brewers Association, "Water and Wastewater: Treatment/Volume Reduction Manual." [Online] Available:

- https://www.brewersassociation.org/attachments/0001/1517/Sustainability_-_Water_Wastewater.pdf
- [8.] K. Kanagachandran and R. Jayaratne, "Utilization Potential of Brewery Waste Water Sludge as an Organic Fertilizer," *J. Inst. Brew.*, vol. 112, no. 2, pp. 92–96, 2006
 - [9.] A. Nešović, V. Šušteršič, D. Gordić, and K. Donović, "Pregled stanja prečišćavanja otpadnih voda iz industrije mleka i mlečnih proizvoda na teritoriji Šumadije i zapadne Srbije," *Trakt. Pogon. Maš.*, vol. 22, no. 3/4, pp. 107–112., 2017
 - [10.] A. A. Olajire, "The brewing industry and environmental challenges," *J. Clean. Prod.*, vol. 256, p. 102817, May 2020,
 - [11.] M. Despotović, V. Šušteršič, M. Babić, and N. Jovičić, "Povećanje energetske efikasnosti postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda ugradnjom hidrodinamičke spojnice," *Trakt. Pogon. Maš.*, vol. 16, no. 4, pp. 96–102, 2011.
 - [12.] A. T. Jaiyeola, J. K. Bwapwa, "Treatment technology for brewery wastewater in a water-scarce country: A review," *South Afr. J. Sci.*, vol. 112, no. 3/4, Mar. 2016,
 - [13.] K. M. Mbemba, H. M. Bounkoso, A. C. Kayath, and J. M. Ouamba, "Performance Evaluation of Industrial Brewery Wastewater Biologic Treatment in an UASB Reactor Using Activated Sludge in Republic of Congo," *Int. J. Environ. Clim. Change*, pp. 425–434, Aug. 2019,
 - [14.] A. K. Sharda, M. P. Sharma, and S. Kumar, "Performance Evaluation of Brewery Waste Water Treatment Plant," *Int. J. Eng. Pract. Res.*, vol. 2, no. 3, p. 7, 2013.

Rad primljen: 16.10.2020.

Rad prihvaćen: 01.11.2020.