

Cirkularna ekonomija i tretman mulja iz postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda

Circular economy and processing of sludge from wastewater treatment plants

Suzana Stoimenov^{1}, Petronije Jevtić²*

^{1,2}Univerzitet "Union - Nikola Tesla", Fakultet za preduzetnički biznis i menadžment nekretnina, Cara Dušana 62-64, Beograd, Srbija /

University "Union - Nikola Tesla", Faculty of Entrepreneurial Business and Real Estate Management, Cara Dušana 62-64, Belgrade, Serbia

*Autor za prepisku / Corresponding author

Rad primljen / Received: 04.05.2023, Rad prihvaćen / Accepted: 02.06.2023.

Sažetak: Mulj iz otpadnih voda koji se smatra otpadom može se koristiti u kontekstu cirkularne ekonomije kao izvor za proizvodnju energije (toplotne i električne energije) koja bi se inače obezbeđivala iz neobnovljivih izvora energije. Na ovaj način, pored smanjenja količine otpada, što doprinosi održivosti i zaštiti životne sredine, smanjuje se i emisija ugljen-dioksida u atmosferu. Mulj iz komunalnog postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda se anaerobnom digestijom pretvara u biogas koji se sastoji uglavnom od metana, ugljen-dioksida, vodene pare i drugih gasova u tragovima. Procenat metana je važan jer predstavlja gorivi udeo biogasa i na taj način određuje njegovu toplotnu snagu. Prebacivanjem otpada u naredni ciklus proizvodnog procesa kroz cirkularnu ekonomiju, kroz model „proizvod-otpad-proizvod“, osim što se ne zagađuje životna sredina, smanjuje se korišćenje novih resursa čime se postižu socio-ekonomske koristi. U procesu prelaska sa linearne na cirkularnu ekonomiju, vodeću ulogu imaju državne institucije, kao i jedinice lokalne samouprave, koje bi prvenstveno kroz svoje planove upravljanja otpadom obuhvatale aktivnosti cirkularne privrede. Veoma je važan i pozitivan odnos građana prema cirkularnoj ekonomiji.

Ključne reči: anaerobna digestija, linearna ekonomija, cirkularna ekonomija, mulj iz postrojenja za tretman otpadnih voda, biogas.

Abstract: Sludge from wastewater that is considered waste can be used in the context of the circular economy as a source for energy production (heat and electricity) which would be otherwise provided from non-renewable energy sources. In this way, in addition to reducing the amount of waste, which contributes to sustainability and environmental protection, it also reduces carbon dioxide emissions into the atmosphere. The sludge from the municipal wastewater treatment plant is converted by anaerobic digestion into biogas consisting mainly of methane, carbon dioxide, water vapor and other trace gases. Methane percentage is important because it represents the combustible share of biogas and on that way determines its thermal power. By transferring waste to the next cycle of the production process through the circular economy through the "product-waste-product" model, in addition to not polluting the environment, the use of new resources is reduced, which achieves socio-economic benefits. In the process of transition from a linear to a circular economy, the leading role is played by state institutions as well as local self-government units, which would primarily include circular economy activities through their waste management plans. The positive attitude of citizens towards the circular economy is also very important.

Keywords: anaerobic digestion, linear economy, circular economy, sludge from municipal wastewater treatment plant, biogas.

¹*orcid. org/0009-0001-0300-3296, e-mail: stoimenovsuzana@gmail.com*

²*orcid. org/0000-0002-9002-5249, e-mail: pjevtic@verat.net*

UVOD / INTRODUCTION

U radu je predstavljen značaj cirkularne ekonomije i njene implementacije kroz:

- Smanjenu proizvodnju otpada, jer otpad postaje resurs u sledećem ciklusu, tj. mulj postaje resurs za proizvodnju biogasa - primer prerade mulja iz postrojenja za tretman otpadnih voda grada Niša.
- Racionalno korišćenje resursa, čime se postiže održivost i zaštita životne sredine, tj. korišćenjem biogasa dobijenog iz komunalnog mulja za toplotnu i električnu energiju i na taj način se smanjuje upotreba neobnovljivih izvora energije i postiže smanjeno emitovanje CO₂ u atmosferu.

Sve prisutnijom preradom otpadnih voda odgovarajućim postrojenjima za biološku obradu otpadnih voda, suočavamo se sa sve većom količinom mulja. Kako navode Kerkez i Kulić-Mandić, broj postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda (PPOV) se povećava u celom svetu, što je dovelo do povećanja proizvodnje mulja. Ova činjenica zajedno sa zahtevima zakonske regulative koja se odnosi na kvalitet životne sredine ukazuje na suštinski značaj upravljanja otpadom (Kerkez i Kulić-Mandić, 2022).

U radu je predstavljen jedan od primera primene cirkularne ekonomije - dobijanje biogasa anaerobnom digestijom mulja iz postrojenja za prečišćavanje komunalnih otpadnih voda grada Niša. Proizvedeni biogas je predviđen za proizvodnju toplotne i električne energije, a očekivane količine su izračunate na osnovu predviđenih projektnih kriterijuma (u praksi se mogu očekivati neznatna odstupanja što će biti predmet naknadnih istraživanja).

Kako naglašavaju Maravić i saradnici, prečišćavanjem otpadnih voda dobija se, sa jedne strane, voda koja je bezbedna za ispuštanje u vodoprijemnike, a sa druge strane otpadni mulj koji je mešavina vode (u različitim odnosima 20-95%), živih i mrtvih mikroorganizama, organske materije, organskih i neorganskih hemijskih jedinjenja (Maravić i dr., 2020).

Tušar naglašava da se učinak postrojenja za preradu otpadnih voda ne vrednuje samo na osnovu kvaliteta prečišćene vode, nego i učinkom prerade mulja koji se izdvoji u procesu prečišćavanja otpadnih voda (Tušar, 2009).

To potvrđuje Rikardo Kolon, stručnjak za tretman vode iz firme Kemire, tvrđenjem da biogas postaje sve vredniji nusproizvod procesa prečišćavanja otpadnih voda. Po njemu, korišćenje nusproizvoda za napajanje procesa stvara cirkularnu ekonomiju. To takođe može biti izvor dodatnog prihoda za fabriku vode, jer će proizvodnja biogasa smanjiti otpad, a istovremeno omogućiti da PPOV postanu energetski samodovoljna (Kemira, 2021).

Tomašević-Pilipović i Dalmacija istuču da se obradom mulja u energetske svrhe utiče na smanjenje potrošnje energije i proizvodnju iste, što doprinosi ekološkoj i ekonomskoj održivosti postupka prečišćavanja otpadnih voda (Tomašević-Pilipović i Dalmacija, 2022).

1. MATERIJALI I METODE / MATERIALS AND METHODS

Istraživački metodi primenjeni u ovom radu su:

- Sistematska analiza i sinteza stavova iz dostupne literature na temu cirkularne ekonomije, biološke prerade otpadnih voda, proizvodnje toplotne i električne energije iz biogasa.
- Analiza ulaznih parametara komunalnog mulja koji nastaje iz postrojenja za preradu komunalnih otpadnih voda grada Niša i proračun količina proizvedenog biogasa na osnovu predviđenih projektnih kriterijuma i njegove toplotne i energetske vrednosti.

Odgovarajućim tretmanom mulja iz komunalnih otpadnih voda, dobija se biogas, a iz biogasa toplotna i električna energija. Biogas nastaje mikrobiološkim procesom u anaerobnim uslovima (bez prisustva kiseonika). Biogas je mešavina gasova, čiju zapreminu čine oko dve trećine metan (CH₄) i jednu trećinu ugljen-dioksid (CO₂). Osim, metana i ugljen-dioksida, biogas sadrži i druge gasove u znatno manjem udelu.

Proizvodnja biogasa iz anaerobne digestije mulja igra centralnu ulogu da postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda postanu energetski efikasnija ili čak energetski neutralnija. Prosečan sastav biogasa naveden je u tabeli 1.

Tabela 1 - Prosečan sastav biogasa
Table 1 - Average biogas composition

Komponenta	Kocentracija
Metan (CH ₄)	50-70 vol%
Ugljen-dioksid (CO ₂)	25-45 vol%
Voda (H ₂ O)	2-7 vol% (20-40°C)
Vodonik sulfid (H ₂ S)	20-20000 ppm
Azot (N ₂)	<2 vol%
Kiseonik (O ₂)	<2 vol%
Vodonik (H ₂)	<1 vol%

Izvor: Priručnik o biogasu / Source: Handbook on biogas

Anaerobna digestija tj. razgradnja organskih materija pod anaerobnim uslovima i dobijanje biogasa doprinosi:

- rešavanju ekološkog problema;
- iskorišćavanju energetske potencijala za kombinovanu proizvodnju električne i toplotne energije.

Prilikom donošenja odluke o izgradnji postrojenja proizvodnju biogasa, odnosno primene adekvatne tehnologije za tretman mulja iz otpadnih voda, analizira se isplativost tehnologije jer nije svako biogas postrojenje podjednako isplativo, ali je aspekt zaustavljanja degradacije životne sredine pravilnom preradom mulja ili smanjivanje iscrpljivanja prirodnih resura od izuzetnog značaja.

Da bi se neka materija mogla koristiti za proizvodnju biogasa neophodno je:

- da je na raspolaganju u dovoljnim količinama, i
- da po svom sastavu, pre svega po sadržaju sastojaka koji podležu mikrobiološkom razlaganju omogućava ekonomičnu proizvodnju biogasa.

Materije pogodne za anaerobnu digestiju – postupak kojim se dobija biogas (obnovljivi izvor energije, OIE) su:

- tečno i čvrsto stajsko đubrivo, posebno prikupljen biološki otpad iz stambenih delova;
- obnovljivi materijali (kukuruzna silaža, semenke koje se koriste za ishranu);
- mulj iz kanalizacije i masti;
- biloški otpad iz klanica, pivara, prerade voća i proizvodnje vina, mlekarica i dr.

Primena svake od ovih materija zahteva kompletnu analizu, ali će u nastavku rada biti obrađen kanalizacioni mulj, tj. dobijanje biogasa iz mulja komunalnih otpadnih voda, na osnovu sastava mulja i predviđenih projektnih kriterijuma.

Postrojenje za tretman komunalnih otpadnih voda grada Niša je kapaciteta 286.000 ES i projektovano je tako da se sastoji iz dve tehnološke celine:

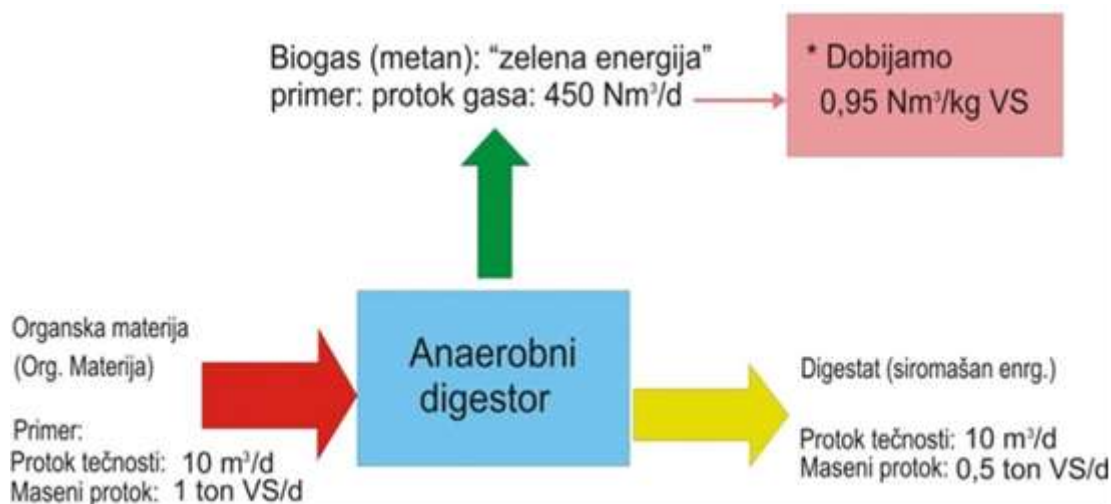
- postrojenje za tretman otpadnih voda,
- postrojenje za tretman mulja.

Dobro dizajnirano postrojenje za prečišćavanje otpadnih voda radi na principu cirkularne ekonomije. Cirkularna ekonomija omogućava da se prepozna vrednost tretmana otpadnih voda, jer se njihovo prečišćavanje ne svodi samo na uklanjanje zagađujućih materija već i na tretman i upravljanje muljem. Zbog svega navedenog su, tokom poslednje decenije, postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda preimenovana u postrojenja za obnavljanje vodnih resursa (Abdelrahman i dr., 2023).

Kanalizacioni sistem grada Niša je kombinovanog tipa, te se u toku kišnog perioda sakuplja značajna količina atmosferskih voda. Kod postrojenja za tretman mulja predviđen je postupak anaerobne digestije u mezofilnom temperaturnom području sa mehaničkom dehidracijom mulja.

Količina proizvedenog biogasa i njegov dalji tretman u funkciji je kvaliteta ulaznog mulja sa aspekta parametra VS (volatile solids) – biorazgradive komponente ulaznog mulja, obzirom da se isparljive čvrste materije razgrađuju anaerobnom digestijom. Anaerobna digestija (A/D) je upotreba mikroorganizama u odsustvu kiseonika za stabilizaciju organskih materija prevođenjem u metan i neorganske proizvode, uključujući ugljen-dioksid.

Na slici 1 predstavljen je šematski proces anaerobne digestije.



Slika 1 - Šematski proces anaerobne digestije

Figure 1 - Schematic process of anaerobic digestion

Izvor / Source: autori prema <https://slideplayer.com/slide/3500999/>

Za proizvodnju i korišćenje biogasa usvojeni su sledeći procesni parametri:

- Specifična toplotna vrednost biogasa 22 MJ/m³.
- Udeo isparljivih organskih materija VS u suvoj materiji mešanog mulja oko 70%.
- Specifična energetska vrednost biogasa za prosečni sadržaj metana od 65 % iznosi 6.4 kWh/m³.
- Specifična produkcija metana od raspoloživog organskog materijala je 0.95 m³/kgVS redukovane.

2. REZULTATI I DISKUSIJA / RESULTS AND DISCUSSION

U tabeli 2 predstavljeni su ulazni parametri komunalnog mulja, iz postrojenja za tretman komunalnih otpadnih voda grada Niša za koji je predviđen proces prerade – anaerobna digestija, kako bi se predvidela količina proizvedenog biogasa i njegova toplotna i energetska vrednost. Anaerobna digestija je jedan od najrasprostranjenijih procesa stabilizacije mulja. Očekivane količine su izračunate na osnovu predviđenih projektnih kriterijuma, ali se u praksi mogu očekivati manja odstupanja što će biti predmet naknadnih istraživanja tokom procesa uvođenja postrojenja u rad.

Tabela 2: Proizvodnja i tretman biogasa - linija za tretman mulja postupkom anaerobne digestije - grad Niš
Table 2: Production and treatment of biogas - sludge treatment line using the anaerobic digestion process - city of Niš

PARAMETAR	Jedinice	Faza 1	Faza 2
Kvalitet materije ulaznog mulja			
Suve materije ulaznog mulja	kg DS/d	20811	22274
Biorazgradive materije ulaznog mulja	kg VS/d	14623	15414
Proizvodnja biogasa			
Specifična proizvodnost gasa	l/kg VS	450	450
Proizvedeni biogas - nominalno	Nm ³ /d	6580,4	6936,3
Proizvedeni biogas	Nm ³ /h	274,2	289,0
Specifična proizvodnja biogasa (0,75-1,12)	m ³ /kg VS	0,9	0,9
Energetska vrednost biogasa			
	Jedinica	Faza 1	Faza 2
Energetska vrednost biogasa	kWh/m ³	6,4	6,4
Energetska vrednost biogasa *	kW/d	42114,2	44392,3
Toplotna vrednost biogasa **	MJ/d	151611	159812

Izvor / Source: IWA Consalt (2020)

Relacije za konverziju: $1 \text{ J} = 1 \text{ W} \cdot 1 \text{ s}$, $1 \text{ kWh} = 1 \text{ kW} \cdot 3600 \text{ s} = 3,6 \text{ MJ}$

U cilju tumačenja navedene tabele potrebno je imati na umu da se VS (Volatile solids - isparljiva čvrsta materija) često naziva *organska čvrsta materija* i predstavlja onaj deo ukupne čvrste materije koje se može spaliti (ispariti) u peći na temperaturi od 520°C. Samo se isparljiva čvrsta materija može razgraditi anaerobnom digestijom. DS (Dry solids) - označava *ukupnu čvrstu materiju* i predstavlja zbir organske čvrste materije i neorganske čvrste materije.

Dakle, količina i sastav mulja su važni za proračun količine biogasa, a time i energetske i toplotne vrednosti biogasa. Upravljanje nastalim muljem je ključ u celovitom rešavanju tretmana otpadnih voda. Mulj je jako važan u kontekstu cirkularne ekonomije. Kako Maravić i saradnici navode, prema Međunarodnoj asocijaciji za čvrsti otpad, u kontekstu cir-

kularne ekonomije, korist od energije i goriva dobijenih iz otpada je što mogu da zamene druge energetske resurse i ograniče povezane emisije CO₂ (Maravić i dr., 2020).

Prema Sekuliću i dr. prelazak na cirkularnu ekonomiju zahteva ekološku transformaciju i inovacije za produženje životnog ciklusa proizvoda, dobijanje drugih kvalitetnih proizvoda iz otpada i odgovore na potrebe ekološke otpornosti uprkos tendenciji ka privrednom rastu (Sekulić i dr., 2022).

Iz perspektive cirkularne ekonomije, ono što se generalno smatra otpadom predstavlja potencijalni resurs, koji se može koristiti kao sirovina, komponenta, ili izvor energije, u istom ili drugom procesu ili lancu snabdevanja. Glavni cilj je da materijali, komponente i otpad kruže, čime se maksimizira vrednost resursa (Bogetić i dr., 2021).

Linearni model privrede u dužem vremenskom periodu je ekološki, socijalno i ekonomski neodrživ, te je zato značajan globalni cilj transformacija linearne u cirkularnu ekonomiju.

Cirkularna ekonomija je sredstvo za postizanje ciljeva održivog razvoja i jedna od osnovnih stavki zaštite životne sredine i racionalnog korišćenja resursa, što se prepoznaje kroz: „Glavni cilj cirkularne ekonomije je da teži održivom korišćenju resursa i eliminaciji otpada“ (GIZ, 2019).

Kroz cirkularnu ekonomiju obezbeđuje se ekonomski rast: „Glavni izvor privrednog rasta koji obezbeđuje cirkularna ekonomija je najveća moguća ponovna upotreba materijala iz proizvoda koji su završili svoj „životni ciklus“ i najmanja upotreba novih resursa“ (OSCE).

Cirkularna ekonomija, zbog svoje suštine, može biti značajan deo rešenja za sve veće izazove savremenog sveta, jedan od odgovora na zahteve održivog razvoja, a rešava i potrebu za ekonomskim rastom i društvenim dobrom, s jedne, i problem ograničenih prirodnih resursa, s druge strane. Podrazumeva dugoročno ulaganje u sirovine i energetske efikasnost, uz smanjenje štetnih emisija, zamenu fosilnih goriva obnovljivim izvorima i proizvodnji i promet održivih proizvoda. Ovim se zatvara krug proizvod-otpad-proizvod.

Povraćaj energije iz tretmana otpadnih voda, usled odgovarajućeg tretmana mulja poboljšava energetske efikasnost i smanjuje uticaje na životnu sredinu. „Procenjuje se da bi postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda u zemljama Evropske unije mogla proizvesti energiju do 87.500 Gwh godišnje, što je jedanako proizvodnji koju može postići 12 velikih elektrana. U EU ima nekoliko primera PPOV koja su energetske neutralna ili čak proizvode energiju“ (Bečelić-Tomin, 2022). To naglašava i Kiselev sa saradnicima ističući da anaerobna digestija kanalizacionog mulja pruža značajne koristi i za kompanije i za društvo u smislu energetske efikasnosti i bezbednosti životne sredine (Kiselev i dr., 2019).

Cirkularna ekonomija je instrument za ostvarivanje ciljeva održivog razvoja. Agenda održivog razvoja do 2030. godine, koju je 2015. godine usvojila Generalna skupština Ujedinjenih nacija, sadrži 17 ciljeva održivog razvoja, sa sedam ciljeva održivog razvoja direktno vezanih za implementaciju cirkularne ekonomije, i to:

- Dostupna i obnovljiva energija (cilj 7).
- Dostojanstven rad i ekonomski rast (cilj 8).
- Održivi gradovi i zajednice (cilj 11).
- Odgovorna potrošnja i proizvodnja (cilj 12).
- Klimatska akcija (cilj 13).
- Život pod morem (cilj 14).

- Život na zemlji (cilj 15).

Za sprovođenje ove agende potrebno je pratiti napredak u postizanju ciljeva održivog razvoja. Praćenje dostignuća u vezi sa ciljevima održivog razvoja vrši Republički zavod za statistiku, koji je postavio internet platformu na kojoj se mogu pratiti 83 indikatora od ukupno 244 indikatora u okviru 17 ciljeva održivog razvoja, uključujući i već pomenute ciljeve u vezi sa primenom cirkularne ekonomije.

Principi savremene, zelene ekonomije i čistije proizvodnje nameću načelo koje glasi: mulj iz postrojenja za preradu otpadnih voda predstavlja vredan resurs.

Cirkularna ekonomija treba da predstavlja način i kulturu življenja, a to će se manifestovati u svim sferama života kroz uštedu prirodnih resursa, energije i smanjenje proizvodnje otpada. Princip cirkularnosti treba uvesti u sve sfere privredne delatnosti, posebno u pogledu potrošnje i dizajna životnog veka proizvoda

ZAKLJUČAK / CONCLUSION

Kako bi se rezimiralo prethodno izneto, definisan je zaključak.

Mulj se smatra otpadom, ali se odgovarajućim tretmanom mulja može dobiti biogas, koji je izvor energije. Na taj način se zamenjuje određena količina energije iz neobnovljivih izvora.

Postrojenje za tretman komunalnih otpadnih voda grada Niša, projektovano je tako da sadrži i liniju mulja. Dobijanje biogasa iz postrojenja za tretman mulja otpadnih voda je međufaza u dobijanju toplotne i električne energije, što je osnova održivog razvoja.

Dobijena električna energija se u postrojenjima koristi za pokrivanje energetske potrebe postrojenja, dok se toplotna energija koristi za regulaciju temperature procesa zagrevanja mulja.

Primeri proizvodnje biogasa iz mulja komunalnih otpadnih voda sve su prisutniji na našim prostorima (Kruševac, Sombor, Subotica). Količine takvog mulja su u stalnom porastu, usled povećanja broja postrojenja za tretman komunalnih otpadnih voda. Osnovni cilj cirkularne ekonomije nije samo uklanjanje i odlaganje otpada, već i vraćanje nastalog otpada za ponovnu upotrebu, odnosno da se koristi kao resurs.

Da bi se ostvarili ciljevi održivog razvoja (Agenda održivog razvoja 2030), a pre svega cilj 12 (Obezbeđivanje održivih obrazaca potrošnje i proizvodnje), važno je uvesti princip cirkularnosti u sve sfere privredne delatnosti, posebno u pogledu potrošnje i životnog veka proizvoda.

Zbog toga, da bi imale pozitivan stav prema cirkularnoj ekonomiji, lokalne samouprave treba da:

- promovišu cirkularnu ekonomiju i kreiraju i sprovode pozitivne kampanje u cilju podizanja svesti građana o značaju i prednostima cirkularne ekonomije za lokalnu zajednicu, jer je cirkularna ekonomija važan faktor lokalnog ekonomskog razvoja
- razvijaju i primenjuju ekonomske podsticaje za implementaciju koncepta cirkularne ekonomije.

LITERATURA / REFERENCES

- [1] Abdelrahman, M., Kosar. S., Gulhan, H., Cicekalan, B., Ucas, G., at all. (2023). Impact of primary treatment methods on sludge characteristics and digestibility, and wastewater treatment plant-wide economics, *Water Research*, 235. DOI:10.1016/j.watres.2023.119920.
- [2] Bečelić-Tomin, M. (2022). Otpadne vode u aktuelnim politikama zaštite životne sredine i očuvanja resursa, U: *Otpadne vode u kontekstu društvenih izazova, Water Workshop 2022*, Univerzitet u Novom Sadu, Prirodno-matematički fakultet, Departman za hemiju, biohemiju i zaštitu životne sredine, str. 1-33.
- [3] Bogetić, S., Djordjević, D., Čočkalović, D., Djordjević, Lj., Bakator, M., (2021). Cirkularna ekonomija i izazovi globalnog tržišta, *Ecologica*, 28(101), 65-71.
- [4] GIZ, (2019). Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit, (2019). Analiza kapaciteta jedinica lokalne samouprave u pogledu stvaranja uslova za prelazak na cirkularnu ekonomiju, preuzeto sa <https://www.giz.de/en/downloads/giz2019-sr-analiza-kapaciteta-za-tranziciju-ka-cirkularnoj.pdf>, datum preuzimanja 18.2.2023.
- [5] Introduction to anaerobic treatment technologies <https://slideplayer.com/slide/3500999/>
- [6] IWA Consalt (2020). Idejni projekat postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda Ciganski ključ, Niš, projekat tehnologije. Beograd, april 2020.
- [7] Kemira, (2021). How water treatment contributes to the circular economy, available at <https://www.kemira.com/insights/how-water-treatment-contributes-to-the-circular-economy/> datum preuzimanja 20.3.2023.
- [8] Kerkez, Đ. i Kulić-Mandić, A. (2022). Čista i cirkularna ekonomija u sektoru otpadnih voda, U: *Otpadne vode u kontekstu društvenih izazova, Water Workshop 2022*, Univerzitet u Novom Sadu, Prirodno-matematički fakultet, Departman za hemiju, biohemiju i zaštitu životne sredine, 35-63.
- [9] Kiselev, A., Magaril, R., Panepinto, D., Ravina, M. & Chiara Zanetti, M. (2019). Towards circular Economy: Evaluation of Sewage Sludge Biogas Solutions, *Resources*, 8(2), 91. DOI:10.3390/resources8020091
- [10] Maravić, M., Kovačević, S., Stanislavljević, S. (2020). Sistematska analiza mogućnosti tretmana i procena količina otpadnog mulja iz komunalnih otpadnih voda, *Zbornik radova fakulteta tehničkih nauka*, 35(10), 1841-1844. DOI:10.24867/09MO03Maravic
- [11] OSCE. Organization for Security and Co-operation in Europe, Cirkularna ekonomija kao šansa za razvoj Srbije. Preuzeto sa <https://www.osce.org/files/f/documents/a/5/292311.PDF>, datum preuzimanja 19.3.2023
- [12] Priručnik o biogasu - Od proizvodnje do korišćenja, str. 18. Preuzeto sa sajta http://www.fnr.de/fileadmin/allgemein/pdf/broschueren/leitfaden_biogas_web_serbisich.pdf
- [13] Sekulić, M., Stojanović, V., Pantelić, M., Nadj, I. (2022). Impact of the Circular Economy on Quality of Life - A systematic Literature Review, *Geographica Pannonica*, 26(1), 78-91, available at http://www.dgt.uns.ac.rs/dokumentacija/pannonica/papers/volume26_1_6.pdf datum preuzimanja 22.3.2023
- [14] Tomašević-Pilipović, D. i Dalmacija, B. (2022). Energetska efikasnost i potencijal proizvodnje energije u sektoru otpadnih voda, U: *Otpadne vode u kontekstu društvenih izazova, Water Workshop 2022*, Univerzitet u Novom Sadu, Prirodno-matematički fakultet, Departman za hemiju, biohemiju i zaštitu životne sredine, 65-87.
- [15] Tušar, B. (2009). *Pročišćavanje otpadnih voda*, Kiger, Zagreb.