

Dehydrated sludge from communal wastewater treatment plant as biosolid fertilizer

Dehidrirani mulj iz postrojenja za prečišćavanje gradskih otpadnih voda kao bio čvrsto đubrivo

DOI: 10.59366/2831-1086.2025.3.6.53

S. Mičević¹, S. Buljubašić², E. Arnautović³, A. Hodžić⁴, J. Sadadinović⁵, L. Ibrahimović⁶

1. Društvo za istraživanje i razvoj, Tuzla;
2. Elektroprivreda, Sarajevo;
3. Društvo za istraživanje i razvoj, Tuzla;
4. "Plant" d.o.o. Tuzla;
5. Evropski univerzitet Kallos, Tuzla,
6. Udruženje „Partnerstvo za zdrav život“, Tuzla

Corresponding autor

Email: snezana.micevic1@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-1557-6205>

Abstract: Bosnia and Herzegovina is one of the few countries that disposes of the entire amount of sludge generated in the municipal wastewater treatment process in municipal landfills, as it is classified as non-hazardous waste. The treatment of sludge from municipal wastewater treatment plants (WWTPs) and its potential use in agriculture or for similar purposes—such as floriculture, forestry, pastures, and remediation of degraded land - while adhering to the principles of sustainable development, is becoming increasingly important.

Considering this, it is believed that dehydrated sludge from the municipal wastewater treatment plant in Srebrenik has significant potential as a bio-solid fertilizer. This paper presents the results of chemical and microbiological investigations aimed at defining the properties of this sludge and its potential application in agriculture as a bio-solid fertilizer. The research was conducted in two stages: the first involved determining the chemical and microbiological characteristics of the sludge, and the second consisted of in situ experiments in a controlled greenhouse environment on seedlings of ornamental marigold (*Tagetes* spp.) and pepper (*Capsicum* spp.), to assess the effect of different soil and dehydrated sludge mixtures on plant growth. The study demonstrated that the chemical and microbiological composition of the sludge has potential for use as a bio-solid fertilizer in horticulture for the cultivation of flowers and ornamental plants. The application of dehydrated sludge in horticulture could reduce the quantity and costs of sludge disposal in municipal solid waste landfills, while simultaneously enriching the substrate for the cultivation of flowering and ornamental plant species.

Keywords: municipal wastewater treatment plant; dehydrated sludge; bio-solid fertilizer

Sažetak: BiH je jedna od rijetkih zemalja koja cjelokupnu količinu mulja nastalog u procesu prečišćavanja komunalnih otpadnih voda, odlaže na deponiju komunalnog otpada, budući da je isti kategorisan kao neopasni otpad. Tretman mulja sa PPOV-a i mogućnost njegove primjene u poljoprivredi odnosno za slične namjene, kao što su: cvjećarstvo, šumarstvo, pašnjaci, sanacija oštećenih dijelova zemljišta, a sve u skladu sa načelima održivog razvoja, u današnje vrijeme sve više dobiva na važnosti.

Uvažavajući navedeno smatramo da dehidrirani mulj iz postrojenja za prečišćavanje komunalnih otpadnih voda sa PPOV-a u Srebreniku, posjeduje značajan potencijal kao biočvrsto đubrivo. U radu su prezentovani rezultati hemijskih i mikrobioloških istraživanja u cilju definisanja svojstava ovog mulja i mogućnosti primjene u poljoprivredi kao biočvrtog đubriva. Istraživanja su izvršena u dva koraka: prvi – definisanje hemijskih i mikrobioloških svojstava mulja i drugi – „in situ“ ispitivanja u izolovanom plateniku na sadnicama ukrasnog cvijeća kadifica (*lat. Tagetes*) i paprike (*lat. Capsicum*), radi ocjene efekta razvoja cvjetnih kultura u različitim mješavinama uzoraka tla i dehidriranog mulja. Istraživanjem je utvrđeno da hemijski i mikrobiološki sastav mulja ima potencijal za primjenu kao biočvrsto đubrivo u hortikulturi za uzgoj cvijeća i ukrasnog bilja. Primjenom dehidriranog mulja u hortikulturi smanjila bi se količina i troškovi zbrinjavanja dehidriranog mulja na komunalnim deponijama krutog otpada, a istovremeno bi se obogatio supstrat za uzgoj cvjetnih i ukrasnih biljnih kultura.

Ključne riječi: Postrojenje za prečišćavanje komunalnih otpadnih voda, dehidrirani mulj, biočvrsto đubrivo

Uvod / Introduction

Postrojenje za prečišćavanje otpadnih voda (PPOV) grada Srebrenik ima instaliran kapacitet od 12.000 ES u prvoj fazi, odnosno u drugoj fazi 18000 ES (*»Ekvivalent stanovnika (ES)«*). Godišnje na postrojenju za anaerobno-aerobno prečišćavanje otpadnih voda grada Srebrenik nastane oko 210 tona otpadnog mulja kao nusproizvoda prečišćavanja otpadnih voda. Mada dehidrirani mulj predstavlja vrijednu sirovinu prvenstveno u energetskom smislu, a zatim i u poljoprivredi, postojeća praksa zbrinjavanja dehidriranog mulja je deponovanje na deponiju komunalnog otpada, jer se isti definiše kao otpad. Obzirom da se radi o količinama koje nisu zanemarive, osim trajnog gubitka potencijalno korisnog i upotrebljivog otpada i opterećenja gradske deponije, važna stavka u gospodarenju postrojenjem predstavljaju i znatni troškovi deponovanja nastalog mulja.

U svijetu se dehidrirani mulj najčešće koristi u poljoprivredi, budući da je organskog porijekla, čime se prvenstveno smanjuje opterećenje na okoliš, a korisna svojstva mulja valorizuju, otpad jedne grane predstavlja korisnu sirovinu druge, što predstavlja i osnovni koncept industrijske ekologije. (1,2,3) Primjer najboljih raspoloživih praksi korištenja dehidriranog mulja su Njemačka koja od 2.000.000 tona/god suhe tvari mulja 30 % iskoristi u poljoprivredi, i Kalifornija gdje se od 680.000 tona/god suhe tvari mulja, 70 % iskoristi u poljoprivredi.

Detaljna analiza sadržaja ovih muljeva i uspostavljanje optimalnog sistema i modela za praćenje postupka obrade može doprinijeti definisanju konačnog sistema zbrinjavanja kao opcije najbolje raspoložive tehnologije (BAT).

Korištenje dehidriranog mulja u poljoprivredi može imati sljedeće prednosti: smanjuje se korištenje umjetnih gnojiva, smanjeni troškovi proizvodnje, poboljšana plodnost i struktura tla, optimalna vlažnost tla.

Cilj rada je istražiti mogućnost primjene dehidriranog mulja sa PPOV-a u Srebreniku u svrhu korištenja kao biočvrstog đubriva u poljoprivrednim granama. Na ovaj način bi se smanjila količina i troškovi dehidriranog mulja koji se deponuju na komunalnim deponijama krutog otpada.

Provedene aktivnosti / Conducted activities Laboratorijka ispitivanja / Laboratory tests

Za postavljeni cilj rada izvršena su slijedeća ispitivanja: hemijska analiza parametara zagađenih otpadnih voda na ulazu u PPOV Srebrenik, hemijska i bakteriološka analiza prečišćenih voda nakon procesa prečišćavanja, hemijska analiza parametara dehidriranog mulja sa PPOV Srebrenik, bakteriološka analiza dehidriranog mulja sa PPOV Srebrenik (sirovi mulj), bakteriološka analiza dehidriranog mulja sa PPOV Srebrenik, (odstajali mulj) i analiza dehidriranog mulja sa PPOV Srebrenik na sadržaj teških metala. Ispitivanja su izvršena u Federalnom Zavodu za agropedologiju Sarajevo i Institutu za hemijsko inženjerstvo d.o.o. Tuzla, prema BAS ISO standardima.

Rezultati provedenih istraživanja vrednovani su prema odredbama Pravilnika o utvrđivanju dozvoljenih količina štetnih i opasnih materija u zemljištu i metode njihovog ispitivanja, (Službene novine Federacije BiH, broj 96/22) i

Uredbi o upravljanju muljem sa postrojenja za prečišćavanje komunalnih otpadnih voda (Sl.novine FBiH br.28/24.). (4,5)
 Onovni parametri otpadnih voda u PPOV Srebrenik prikazani su u tabeli 1.i 2.

Tabela 1. Parametri zagađene otpadne vode

Parametar	Koncentracija	Jedinica	Opterećenje
BPK ₅	381	mgO ₂ /l	660
HPK	867	mgO ₂ /l	1500
Suspendirane materije(SM)	451	mg/l	780
Ukupan nitrogen (N)	83	mg/l	144
Ukupan fosfor (P)	21	mg/l	36

Izvor: Projekat: "Pozitivne prakse korištenja mulja komunalnih otpadnih voda", Tuzla 2018.

Na bazi prezentiranih rezultata u tabeli br.1. a prema Uredbi o uslovima ispuštanja otpadnih voda u okoliš i sisteme javne kanalizacije (Sl. novine FBiH br. 26/2020 i 96/2020),

komunalne otpadne vode prikupljene putem javnog kanalizacionog sistema treba da budu podvrgnute adekvatnom pročišćavanju, da bi se mogle ispustiti u površinske vode. (6)

Tabela 2. Efekat rada postrojenja (prečišćavanja)

Parametar	Koncentracija	Jedinica
BPK ₅	< 10	mgO ₂ /l
Suspendirane materije(SM)	< 20	mg/l
Amonijačni nitrogen (NH ₄ -N)	> 90	% otklonjeno
Ukupan nitrogen (N)	> 75	% otklonjeno
Ukupan fosfor (P)	> 60	% otklonjeno
Ukupne bakterije	10.000/100 ml	

Izvor: Projekat: "Pozitivne prakse korištenja mulja komunalnih otpadnih voda", Tuzla 2018.

Poredeći izlazne vrijednosti parametara kvaliteta otpadnih voda iz tabele br. 2. sa ulaznim vrijednostima istih (tabela br.1.), može se zaključiti da je sistem prečišćavanja efikasan i da se prečišćavanjem otpadne vode postiže kvalitet koji zadovoljava ispuštanje u prirodni recipijent rijeku Tinju.

U tabelama 3, 4, 5. i 6. prikazani su rezultati hemijskih i bakterioloških ispitivanja dehidriranog mulja.

Tabela 3. Hemijska analiza parametara dehidriranog mulja sa PPOV Srebrenik

Parametar	Oznaka	Jedinica	Vrijednost	Granična vrijednost (GV) *
Voda	W	%m/m	27,23	40 – 60
Suha tvar	ST	%m/m	72,77	
pH u H ₂ O	pH(H ₂ O)	-	7,01	-
pH u M KCl	pH(KCl)	-	6,91	6,5 – 6,2
Organska tvar- ukupna	OT _{uk}	%m/m	41,38	>46
Nutritivna vrijednost mulja				
Nitrogen (Azot)	N _{uk}	%m/m	1,81	1,6 – 1,9
Kalij	K ₂ O _{uk}	%m/m	0,20	1,3 – 1,6
Fosfor	P ₂ O _{5uk}	%m/m	0,04	1,3 – 1,6

* Čl.12.Poglavlje III-Organska đubriva, Pravilnik o utvrđivanju dozvoljenih količina štetnih i opasnih materija u zemljištu i metode njihovog ispitivanja, (Službene novine Federacije BiH, broj 96/22)

Izvor: Projekat: "Pozitivne prakse korištenja mulja komunalnih otpadnih voda", Tuzla 2018.

Na osnovu prezentiranih rezultata u tabeli br. 3. uočava se da dehidrirani mulj sa PPOV Srebrenik budući da ispunjava najveći dio

zahtjeva koji su propisani u navedenom Pravilniku, te kao takav bi se mogao koristiti kao organsko đubrivo.

Tabela 4. Sadržaj teških metala u dehidriranom mulju sa PPOV Srebrenik

Parametar	Simbol	Jedinica	Vrijednost	Granična vrijednost (GV) **
Cink	Zn	mg/kg	913	2000
Olovo	Pb	mg/kg	51,6	500
Nikl	Ni	mg/kg	58,16	80
Kadmij	Cd	mg/kg	1,059	5
Hrom	Cr	mg/kg	68,6	500
Bakar	Cu	mg/kg	157,6	500
Živa	Hg	mg/kg	0,672	5
Molibden	Mo	mg/kg	6,63	20
Arsen	As	mg/kg	5,78	20
Kobalt	Co	mg/kg	28,8	-

** Uredba o upravljanju muljem sa postrojenja za prečišćavanje komunalnih otpadnih voda (Sl.novine FBiH br.28/24.).- prilog 1.

Izvor: Projekat: "Pozitivne prakse korištenja mulja komunalnih otpadnih voda", Tuzla 2018.

Analizom sadržaja teških metala u dehidriranom mulju (tabela br. 4.) konstatuje se da ni jedna granična vrijednost za sve navedene teške metale nije prekoračena, naprotiv,

utvrđene vrijednosti su višestruko niže od propisanih graničnih vrijednosti, što sa tog aspekta omogućava primjenu mulja u poljoprivredi.

Tabela 5. Sadržaj organskih zagađivača u mulju

Parametar	Jedinica	Vrijednost	Granična vrijednost (GV) ***
Policiklični aromatski ugljikovodici - PAH	mg/kg	2,781	2,0
Total Petroleum Hydrocarbons - TPH	mg/kg	39,26	1.000****
Insekticidi na bazi hloriranih ugljikovodika – DDT/DDD/DDE	mg/kg	0,214	0,5
Polihlorirani binefili - PBC	mg/kg	0,214	0,05
Drini, dieldrini i eldrini	mg/kg	0,047	-
HCH spojevi	mg/kg	0,094	-

*** Uredba o upravljanju muljem sa postrojenja za prečišćavanje komunalnih otpadnih voda (Sl. novine FBiH br.28/24.).- prilog 2.

****Norma nije definisana za mulj; usvaja se norma za GV u tlu – Pravilnik o utvrđivanju dozvoljenih količina štetnih i opasnih materija u zemljištu i metode njihovog ispitivanja, (Službene novine Federacije BiH, broj 96/22)

Izvor: Projekat: "Pozitivne prakse korištenja mulja komunalnih otpadnih voda", Tuzla 2018.

U pogledu kretanja sadržaja organskih zagađivača (tabela br.5), konstatuje se da je prisustvo PAH i PBC ugljovodonika iznad propisanih graničnih vrijednosti, što limitira upotrebu ovog mulja u poljoprivredne svrhe. Isti bi se mogao koristiti u hortikulturi.

Tabela 6. Bakteriološka analiza parametara dehidriranog mulja sa PPOV Srebrenik (sirovi mulj).

Pokazatelji	Vrijednost		Granična vrijednost (GV) *****
	Sirovi mulj	Odstajali mulj	
Ukupan broj aerobnih mezofilnih bakterija u 1 ml/22 °C	4*10 ⁶	3*10 ⁶	-
Ukupan broj aerobnih mezofilnih bakterija u 1 ml/37 °C	1*10 ⁷	2,4*10 ⁶	-
Ukupne koliformne bakterije - MNP u 1000 ml	>380000	>380000	-
Koliformne bakterije fekalnog porijekla - Eikman-ov test	+	+	< 3 CFU/3g SM
Ukupan broj kvasnica/plijesni u 1 ml/28 °C	4,4*10 ⁶	1,5*10 ⁶	-
Streptokoke fekalnog porijekla	+	+	-
Proteus vrste	+	+	-
Sulfitoredukujuće klostridije u 10 ml	+	+	-
Pseudomonas aeruginosa	+	+	-

***** Uredba o upravljanju muljem sa postrojenja za prečišćavanje komunalnih otpadnih voda (Sl.novine FBiH br.28/24.).- prilog 3. Izvor: Projekat: "Pozitivne prakse korištenja mulja komunalnih otpadnih voda", Tuzla 2018.

Bakteriološkom analizom dehidriranog mulja (tabela br.6.) utvrđeno je da isti sadrži aerobne mezofilne i koliformne bakterije, te izvjesnu količinu kvasnica. Mulj je pozitivan na prisustvo patogenih bakterija, što je indikator da se isti mora podvrgnuti dezinfekciji, ukoliko se želi koristiti u poljoprivredne svrhe.

„In situ“ ispitivanja / "In situ testing"

Ispitivanja u „In situ“ uslovima su se provodila u izolovanom plasteniku na sadnicama ukrasnog cvijeća (kadifa) i paprike u stakleniku firme "Plant" d.o.o. Tuzla.

U cilju poboljšanja i šire primjene mulja u agrokulturi, te povećanja agronomske vrijednosti mulja, uz sprječavanje neželjenih efekata na okoliš, na jednom uzorku je izvršen tretman mulja živim krečom, čime se broj patogenih mikroorganizama znatno smanjio ili potpuno eliminisao.

Za eksperiment su odabrane mješavine zemlje, tresetnog supstrata i stabiliziranog, odnosno sterilnog dehidriranog mulja, kako je navedeno u tabeli 7.

Tabela 7. Mješavine za ispitivanje

Redni broj uzorka	Sastav mješavine, %m/m		Biljna vrsta/lat.naziv	
	Zemlja/Tresetni supstrat	Komunalni mulj Stabiliziran/Sterilan	Paprika (<i>lat.Capsicum</i>)	Kadifa cvijet (<i>lat. Tagetes</i>)
1	100 zemlja	0 stabiliz.	+	+
2	50 zemlja	50 stabiliz.	+	+
3	70 zemlja	30 stabiliz.	+	+
4	30 zemlja	70 stabiliz.	+	+
5*	50 zemlja	50 (sterilan)	+	+
6	50 tresetni sup.	50 stabiliz.	+	+
7	70 tresetni sup.	30 stabiliz.	+	+
8	33 zemlja+33 treset.sup.	34 stabiliz.	+	+

*Sterilizacija izvršena na cca 5 litara mulja, koji je tretiran živim krečom (CaO) u količini od 0,04 – 0,075 kg.
Izvor: Projekat: "Pozitivne prakse korištenja mulja komunalnih otpadnih voda", Tuzla 2018.



1.



2.

Slika 1. i 2. Razvoj cvjetnica u različitim supstratima

Izvor: Projekat: "Pozitivne prakse korištenja mulja komunalnih otpadnih voda", Tuzla 2018.

Prema razvoju odabranih biljnih vrsta u fazama nicanja, rasta i cvjetanja uočava se da razvoj biljaka u svim mješavinama zemlje/tresetnog supstrata i komunalnog mulja nije zaostajao u odnosu na uzorak br.1. koji je predstavljao etalon za posmatranje efekata razvoja biljaka. Takođe ni kod jednog uzorka nije uočena pojava bolesti ili drugih oštećenja biljaka ni u jednoj fazi razvoja.

Diskusija / Discussion

Na bazi prezentiranih rezultata ispitivanja mogućnosti korištenja dehidriranog mulja, kao ekonomski isplativog nus proizvoda, nastalog procesom prečišćavanja komunalnih otpadnih voda, utvrđeno je:

- Mulj ima visoku vrijednost sadržaja organske mase (~41m/m %), nitrogena (1,81 m/m %), manji sadržaj fosfora i kalija (0,24m/m %), te neutralnu reakciju (pH u KCl 6,5), što ga čini pogodnim za izravno korištenje u poljoprivredi/hortikulturi kao supstrat za uzgoj cvjetnog bilja.
- U cilju poboljšanja i šire primjene mulja u poljoprivredi, te povećanja agronomske vrijednosti mulja, a da se spriječe neželjeni efekti na okoliš, izvršen je tretman mulja živim krečom, čime se broj patogenih mikroorganizama znatno smanjio ili potpuno eliminisao. Na ovaj način ispunjeni su svi preduslovi da se mulj može izravno, bez dodatnih tretmana, koristiti u ostalim granama poljoprivrede.
- Za utvrđivanje mogućnosti korištenje mulja u poljoprivredi urađena je analiza organskih zagađivača, čije koncentracije su u granicama dozvoljenih vrijednosti, osim koncentracija PAH (policiklički aromatski ugljikovodonici) i PCB (polihlorirani bifenili).

- Analizom sadržaja teških metala (Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn, Mo, As i Co) u dehidriranom mulju nije utvrđeno prisustvo nijednog teškog metala u koncentracijama iznad graničnih vrijednosti, što mulj čini pogodnim za primjenu u poljoprivredi.
- Mikrobiološkom analizom mulja utvrđen je veliki broj aerobnih mezofilnih bakterija i kvasnica, reda veličine 10^6 , što omogućava intenzivnu mikrobiološku aktivnost u tlu,
- Test na patogene mikroorganizme u mulju je pozitivan što dozvoljava primjenu mulja bez tretmana samo u gajenju cvjetnica. Za sve ostale primjene u poljoprivredi neophodan je tretman dezinfekcije.
- Sadržaj mikroorganizama u mulju pogoduje samoprečišćavanju/bioremedijaciji mulja i smanjenju broja štetnih organskih zagađivača PAH i PCB. (7)
- Efekat učinka mulja na rast i razvoj cvjetnica ispitivan na biljnim vrstama cvijeta kadife i paprike, pozitivan je, i prema snimanju osnovnih elemenata rasta eksperimentalnog bilja, nije uočen zaostatak u razvoju niti pojava patogenih stanja kod biljaka za sve smjese navedene u tabeli 7.

Zaključak / Conclusion

Preliminarna ispitivanja dehidriranog mulja iz postrojenja za preradu gradskih otpadnih voda Srebrenik, potvrdila su pozitivan potencijal istog i dovela do generalnog zaključka da dehidrirani mulj iz PPOV ne predstavlja problem nego vrijedan resurs. Iznalaženje mogućnosti upotrebe otpadnog mulja u komercijalne svrhe ili dobivanje energije donijela bi benefite firmi u vidu:

- značajnih smanjenja troškova rada i održavanja sistema za prečišćavanje voda,
- značajnog smanjenja pritiska na okoliš.

Na ovaj način bi se dosadašnji jednosmjerni (linearni) tok proizvodnih aktivnosti, po kojem se iz sirovina dobiva proizvod i otpad, kojeg treba posebno zbrinjavati, zamijenio cikličnim tokom proizvodnih aktivnosti gdje se iz sirovina dobiva proizvod, a nastali otpad usmjerava kao sirovina u novu proizvodnu aktivnost. (7,8)

Najveći izazov za rješenje ovog problema je kojom najboljom dostupnom tehnologijom (BAT – Best available technique), dugoročno rješavati problem otpadnog mulja, tako da to bude ekološki prihvatljivo, energetske efikasno i isplativo.

Literatura / References

1. Pozicijski dokument Aquasan mreže u BiH: Strategija upravljanja muljem s postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda je prioritet, 2021.
2. Foladori, P; Andreottola, G; Ziglio, G (2010) Sludge Reduction Technologies in Wastewater Treatment Plants; IWA Publishing: London, UK.
3. EUR-Lex Directive EU/2018/851 of the European Parliament and of the Council of 30 May 2018 Amending Directive 2008/98/EC on Waste. Off. J. Eur. Communities 2018, 150, 109–140.
4. Pravilnik o utvrđivanju dozvoljenih količina štetnih i opasnih materija u zemljištu i metode njihovog ispitivanja, (Službene novine Federacije BiH, broj 96/22).
5. Uredba o upravljanju muljem sa postrojenja za prečišćavanje komunalnih otpadnih voda (Sl.novine FBiH br.28/24).
6. Uredba o uslovima ispuštanja otpadnih voda u okoliš i sisteme javne kanalizacije (Sl. novine FBiH br. 26/2020 i 96/2020)
7. T. Sofilić, (2014), Ekotoksikologija, Sveučilište u Zagrebu.
8. M. Maksimović, (2017), Ekologija i zaštita životne okoline, EU Brčko Distrikt.