

# Analiza mogućnosti zbrinjavanja mulja s UPOV-a - Varaždinska i Međimurska županija

---

**Belalov Dovečer, Ines**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2022**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University North / Sveučilište Sjever**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:122:069806>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-07-24**



*Repository / Repozitorij:*

[University North Digital Repository](#)



**SVEUČILIŠTE SJEVER**  
**SVEUČILIŠNI CENTAR VARAŽDIN**



DIPLOMSKI RAD br. 020/GRD/2021

**ANALIZA MOGUĆNOSTI ZBRINJAVANJA MULJA  
S UPOV-a – VARAŽDINSKA I MEĐIMURSKA  
ŽUPANIJA**

Ines Belalov Dovečer

Varaždin, kolovoz 2022. godine



**SVEUČILIŠTE SJEVER**  
**SVEUČILIŠNI CENTAR VARAŽDIN**  
**Diplomski sveučilišni studij Graditeljstvo**



DIPLOMSKI RAD br. 020/GRD/2021

**ANALIZA MOGUĆNOSTI ZBRINJAVANJA MULJA  
S UPOV-a – VARAŽDINSKA I MEĐIMURSKA  
ŽUPANIJA**

Student:  
Ines Belalov Dovečer, 2402012501

Mentor:  
doc. dr. sc. Domagoj Nakić

Varaždin, kolovoz 2022. godine

# Prijava diplomskog rada

## Definiranje teme diplomskog rada i povjerenstva

OPIS	Odjel za graditeljstvo		
STUDIJ	diplomski sveučilišni studij Graditeljstvo		
PRISTUPNIK	Ines Belalov Dovečer	MATIČNI BROJ	2402012501
DATA		KOLLOVIJ	Zaštita i pročišćavanje voda
NASLOV RADA	Analiza mogućnosti zbrinjavanja mulja s UPOV-a - Varaždinska i Međimurska županija		
NASLOV RADA NA ENGL. JEZIKU	Analysis of sewage sludge disposal routes - Varaždin and Medimurje County		
MENTOR	dr. sc. Domagoj Nakić	ZVANJE	docent
ČLANOVI POVJERENSTVA	1. doc. dr. sc. Bojan Đurin 2. doc. dr. sc. Domagoj Nakić 3. prof. dr. sc. Božo Soldo 4. doc.dr.sc. Aleksej Aniskin 5.		

## Zadatak diplomskog rada

BROJ 020/GRD/2021

OPIS

U sklopu izrade diplomskog rada potrebno je analizirati minimalno četiri varijante zbrinjavanja mulja za područje Varaždinske i Međimurske županije. Pritom je potrebno u razmatranje uzeti sve aglomeracije veće od 2.000 ES te provesti analizu u odnosu na tehničko-tehnološke i ekonomske kriterije.

Rad treba sadržavati minimalno sljedeća poglavlja:

- Sažetak

1. Uvod
2. Ulazni podaci i podloge
3. Izračun količina generiranog mulja
4. Definiranje varijantnih rješenja zbrinjavanja mulja
5. Analiza i usporedba troškova različitih varijantnih rješenja zbrinjavanja mulja
6. Zaključak

- Literatura

ZADATAK URUČEN

19.05.2021.



*[Handwritten signature]*

## ZAHVALA

*Zahvaljujem mentoru doc. dr. sc. Domagoju Nakiću na nesebičnoj pomoći oko izrade ovog rada, na strpljenju, podršci, konstruktivnim komentarima i danonoćnoj dostupnosti. Njegova razina znanja, profesionalan pristup, entuzijazam i maksimalna posvećenost svakom zadatku nešto je čemu ću uvijek težiti. Neizmjereno sam zahvalna na ovoj suradnji.*

*Zahvaljujem i svojoj obitelji i prijateljima na strpljenju i podršci tijekom cijelog studija. Veselim se što ću nadalje puno više vremena provoditi sa svojim najdražima.*

*Ines Belalov Dovečer*

## SAŽETAK

Otpadne vode prikupljene sustavom javne odvodnje odvođe se na uređaj za pročišćavanje otpadnih voda te se nakon postizanja tražene razine pročišćavanja ispuštaju u recipijent. Nusproizvod svakog tehnološkog postupka obrade komunalnih otpadnih voda je mulj koji zahtijeva daljnju obradu i zbrinjavanje na tehnički i ekološki najpogodniji i istovremeno najekonomičniji način.

Cilj rada je analiza produkcije mulja na razini Međimurske i Varaždinske županije te analiza ekonomski prihvatljivih tehničko – tehnoloških rješenja obrade i zbrinjavanja mulja. Tema je vrlo široka pa je fokus stavljen na četiri varijante zbrinjavanja mulja za koje je preliminarnim analizama utvrđeno da su najprimjenjivije za predmetno područje. Analizirane su mogućnosti zbrinjavanja mulja u poljoprivredi, spaljivanje mulja u centralnoj monospalionici, varijanta s istovremenim kompostiranjem za područje Varaždinske županije i ozemljavanja mulja na području Međimurske županije te varijanta koja uključuje odvoz mulja izvan granica Republike Hrvatske. Temeljem provedenih analiza za opisane četiri varijante spaljivanje mulja u regionalnoj monospalionici predstavljeno je kao ekonomski najpovoljnije rješenje, dok je varijanta koja uključuje zbrinjavanje mulja u poljoprivredi prikazana kao najskuplja, no ona također predviđa i najširi raspon troškova te prikazuje da se uz donošenje racionalnije zakonske regulative, odnosno smanjenjem troškova uzorkovanja i analiza mulja i tla može očekivati i daleko bolja ekonomska isplativost ove varijante.

Također je dan pregled zakonske regulative vezane uz obradu i zbrinjavanje mulja s uređaja za pročišćavanje otpadnih voda, prikazane su opće informacije o sadržaju mulja, obradi i metodama zbrinjavanja, ali i informacije o aktualnim postupcima zbrinjavanja mulja u ostalim europskim zemljama.

**Ključne riječi:** uređaj za pročišćavanje otpadnih voda; mulj; obrada; zbrinjavanje; spaljivanje; kompostiranje; zbrinjavanje mulja u poljoprivredi

## ABSTRACT

The wastewater collected by the public sewage system is taken to the wastewater treatment plant and after reaching the required level of treatment, it is discharged into the recipient. The by-product of every technological process of municipal wastewater treatment is sludge, which requires further treatment and disposal in the most technically and ecologically appropriate and at the same time most economical way.

The aim of this paper is the analysis of sludge production at the level of Međimurje and Varaždin counties and the analysis of economically acceptable technical and technological solutions for sludge treatment and disposal routes. The topic is very broad, so the focus was placed on four variants of sludge disposal, which were determined by preliminary analyzes to be the most applicable for the area in question. The possibilities of disposal of sludge in agriculture, incineration of sludge in a central mono-incinerator, a variant with simultaneous composting for the area of Varaždin County and use of sludge reed beds for the area of Međimurje County and a variant that includes the export of sludge outside the state borders were analyzed. Based on the analyzes carried out for the described four variants, sludge incineration in a regional mono-incinerator is presented as the most economically advantageous solution, while the variant that includes disposal of sludge in agriculture is shown as the most expensive, but it also predicts the largest range of costs and shows that with the adoption of more rational legislation, that is, by reducing the costs of sampling and analysis of sludge and soil, a much better economic profitability of this variant can be expected.

An overview of the legal regulations related to the treatment and disposal of sludge from wastewater treatment plants is also given. Also, general information on sludge content, treatment and disposal methods are presented, as well as information on current sludge disposal procedures in other European countries.

**Keywords:** wastewater treatment plant; sewage sludge; treatment; disposal; incineration; composting; disposal of sludge in agriculture



## Popis korištenih kratica

<b>BPK<sub>5</sub></b>	petodnevna biokemijska potrošnja kisika pri 20°C
<b>ES</b>	ekvivalent stanovnik
<b>EU</b>	Europska unija
<b>FSS</b>	fiksna suspendirana tvar (uglavnom anorganski dio) (engl. fixed suspended solids)
<b>MID-MIX<sup>®</sup></b>	patentirana tehnologija obrade industrijskih otpada na principu solidifikacije
<b>NN</b>	Narodne novine
<b>RH</b>	Republika Hrvatska
<b>ST</b>	suha tvar
<b>TSS</b>	ukupne raspršene krutine (engl. total suspended solids)
<b>UPOV</b>	uređaj za pročišćavanje otpadnih voda
<b>VSS</b>	hlapiva suspendirana tvar (uglavnom organski dio) (engl. volatile suspended solids)

# Sadržaj

1.	Uvod.....	1
2.	Općenito o pročišćavanju otpadnih voda.....	4
2.1.	Mehaničko pročišćavanje otpadnih voda.....	5
2.2.	Biološko pročišćavanje otpadnih voda.....	7
2.3.	Kemijsko pročišćavanje otpadnih voda.....	8
3.	Obrada mulja.....	9
3.1.	Zgušnjavanje mulja.....	12
3.2.	Stabilizacija mulja.....	14
3.3.	Dehidracija mulja.....	16
3.4.	Ostali oblici obrade mulja.....	16
3.4.1.	Poboljšanje svojstava.....	18
3.4.2.	Sušenje mulja.....	18
3.4.3.	Solidifikacija mulja.....	20
3.4.4.	Ozemljavanje mulja.....	21
3.4.5.	Kompostiranje mulja.....	22
3.4.6.	Termička obrada mulja.....	23
4.	Zbrinjavanje mulja i nusprodukata njegove obrade.....	25
4.1.	Odlaganje mulja na tlo na poljoprivredne površine.....	25
4.2.	Odlaganje pepela na posebno uređena odlagališta neopasnog otpada.....	26
4.3.	Odvoz osušenog mulja izvan granica države.....	26
5.	Zakonska regulativa.....	28
6.	Analiza produkcije mulja i tehničko–tehnoloških rješenja obrade i zbrinjavanja mulja.....	32
6.1.	Troškovna analiza.....	34
7.	Gospodarenje muljem u europskim zemljama.....	51
8.	Zaključak.....	55
9.	Literatura.....	57
10.	Popis slika.....	60
11.	Popis tablica.....	62
12.	Prilozi.....	63

## 1. Uvod

Na razini Republike Hrvatske (u daljnjem tekstu: RH), prema Nacrtu plana upravljanja vodnim područjima 2022.-2027., evidentirana su 293 sustava javne odvodnje, od kojih 162 na jadranskom vodnom području i 131 na vodnom području rijeke Dunav, a na njih je priključeno 55 % ukupnog stanovništva prema popisu 2011. godine, točnije 2.345.180 stanovnika. Pročišćavanjem otpadnih voda obuhvaćeno je 43 % ukupnog stanovništva, odnosno 1.842.884 stanovnika, priključenih na 195 aktivnih uređaja za pročišćavanje otpadnih voda (u daljnjem tekstu: UPOV) različitih stupnjeva pročišćavanja. Na jadranskom vodnom području prevladava prethodni stupanj pročišćavanja s podmorskim ispustom, a na vodnom području rijeke Dunav prevladava 2. stupanj pročišćavanja. Navedeni podaci prikazani su tablicom 1. Evidentirano je još 18 izgrađenih uređaja za pročišćavanje koji nisu u funkciji [1].

Tablica 1: Pregled sustava javne odvodnje prema stupnju pročišćavanja otpadnih voda [1]

		prethodni stupanj	1. stupanj	2. stupanj	3. stupanj	pročišćava se	bez uređaja	UKUPNO
PSS	Broj sustava	0	7	31	7	45	43	88
	Broj priključenih stanovnika	0	90.543	809.907	120.550	1.021.000	231.975	1.252.975
	Udio u ukupnom stanovništvu	0	4,3%	38,1%	5,7%	48,0%	10,9%	58,9%
PSDD	Broj sustava	0	2	19	6	27	16	43
	Broj priključenih stanovnika	0	2.975	107.338	72.164	182.477	171.673	354.150
	Udio u ukupnom stanovništvu	0	0,4%	13,8%	9,3%	23,5%	22,1%	45,6%
VPD	Broj sustava	0	9	50	13	72	59	131
	Broj priključenih stanovnika	0	93.518	917.245	192.714	1.203.477	403.648	1.607.125
	Udio u ukupnom stanovništvu	0	3,2%	31,6%	6,6%	41,4%	13,9%	55,3%
JVP	Broj sustava	51	13	46	13	123	39	162
	Broj priključenih stanovnika	427.365	112.141	95.895	4.006	639.407	98.648	738.055
	Udio u ukupnom stanovništvu	31,0%	8,1%	3,9%	0,3%	46,3%	7,1%	53,5%
RH	Broj sustava	51	22	96	26	195	98	293
	Broj priključenih stanovnika	427.365	205.659	1.013.140	196.720	1.842.884	502.296	2.345.180
	Udio u ukupnom stanovništvu	10,0%	4,8%	23,6%	4,6%	43,0%	11,7%	54,7%

Bez sustava javne odvodnje je 45 % stanovništva, 46 % na jadranskom vodnom području i 45 % na vodnom području rijeke Dunav. Onečišćenje otpadnim vodama od stanovništva prati se putem pokazatelja organskog onečišćenja, onečišćenja hranjivim tvarima te više specifičnih onečišćujućih tvari koje se javljaju u otpadnim vodama iz kućanstava. Ukupni teret onečišćenja od stanovništva priključenog na sustav javne odvodnje procijenjen je na temelju broja priključenih

stanovnika, pretpostavljenog uklanjanja onečišćenja na UPOV-u tamo gdje takav uređaj postoji, te na temelju pretpostavljenih faktora emisija po stanovniku (tablica 2.) [1].

Tablica 2: Pretpostavljeni faktori emisija i smanjenje onečišćenja na uređaju za pročišćavanje u ovisnosti o stupnju pročišćavanja [1]

Onečišćujuća tvar	Faktor emisije (g/sta/god)	Onečišćenje na ispustu u prijamnik (g/sta/god)				
		Bez pročišćavanja	Prethodni stupanj	1. stupanj	2. stupanj	3. stupanj
BPK <sub>5</sub>	21.900	21.900	21.900	17.520	6.570	1.095
KPK	40.150	40.150	40.150	30.113	10.038	6.023
Ukupni N	3.212	3.212	3.212	2.923	2.088	964
Ukupni P	748	748	748	673	599	150
Kadmij	0,05	0,05	0,05	0,02	0,02	0,0175
Bakar	6,54	6,54	6,54	1,962	1,962	0,3924
Živa	0,018	0,018	0,018	0,0054	0,0054	0,0050
Olovo	0,79	0,79	0,79	0,316	0,316	0,079
Nikal	0,50	0,50	0,50	0,35	0,35	0,21
Cink	10,29	10,29	10,29	3,09	3,09	1,85
Antracen	0,000705	0,000705	0,000705	0,0002118	0,0002118	0,0002118
Fluoranten	0,025	0,025	0,025	0,001334	0,001334	0,001334

Prema prikazanim podacima o postojećem stanju u RH, iz prikupljenih otpadnih voda uklanja se gotovo 40 % organskog onečišćenja, oko 12 % dušika, 16 % fosfora i 37 - 44 % teških metala, osim nikla kojeg se uklanja samo 20 %. Na uređajima se zadrži oko 42 % antracena i oko 57 % fluorantena. Razina pročišćavanja je povoljnija na vodnom području rijeke Dunav gdje prevladava pročišćavanje 2. stupnjem i ostvaruje se uklanjanje oko 53 % organskog onečišćenja, 29 % ukupnog dušika i 22 % ukupnog fosfora. Na jadranskom vodnom području ostvaruje se niska razina uklanjanja onečišćenja, oko 13 % organskih tvari, 6 % ukupnog dušika i 5 % ukupnog fosfora obzirom da na tom području prevladava prethodno pročišćavanje [1].

Osim navedenog opterećenja voda od strane stanovništva, ostali izvori opterećenja voda su industrija, poljoprivreda, turizam i drugi. Komunalne, poljoprivredne, industrijske i oborinske otpadne vode sadrže sve veće koncentracije opterećenja koje prirodni okoliš ne može asimilirati pa su se razvile različite tehnologije za pročišćavanje i obradu otpadnih voda prije njihova ispuštanja u okoliš [2].

Otpadne vode prikupljene sustavom javne odvodnje odvođe se u UPOV te se nakon postizanja određene razine pročišćavanja otpuštaju u recipijent. Osnovni nusproizvod obrade komunalnih otpadnih voda je mulj koji zahtijeva daljnju obradu i zbrinjavanje na tehnički i ekološki najpogodniji i najekonomičniji način. Karakteristike mulja ovise o izvornom opterećenju onečišćenja otpadne vode, a također i o tehničkim karakteristikama provedenih tretmana otpadnih voda i mulja. Mulj se obično obrađuje prije odlaganja, odnosno daljnjeg zbrinjavanja kako bi se smanjio njegov sadržaj vode, ali i sklonosti razgradnji uz prisutnost patogena.

Prilikom planiranja i projektiranja uređaja potrebno je voditi računa o načelima kružnog gospodarstva i analizirati moguće postupke obrade mulja u svrhu korištenja mulja u određene svrhe, a samim time i generiranja što manje količine ukupnog otpada. Potrebno je analizirati moguća rješenja koja podrazumijevaju izgradnju nove linije ili unaprjeđenje postojeće linije obrade mulja s nekim od prihvatljivih postupaka obrade mulja pri čemu se ne treba ograničavati isključivo na vlastite potrebe uređaja. Moguće je planiranje i izgradnja regionalnog centra obrade mulja s kapacitetom za obradu većih količina mulja koji će se dopremati s okolnih manjih uređaja [3].

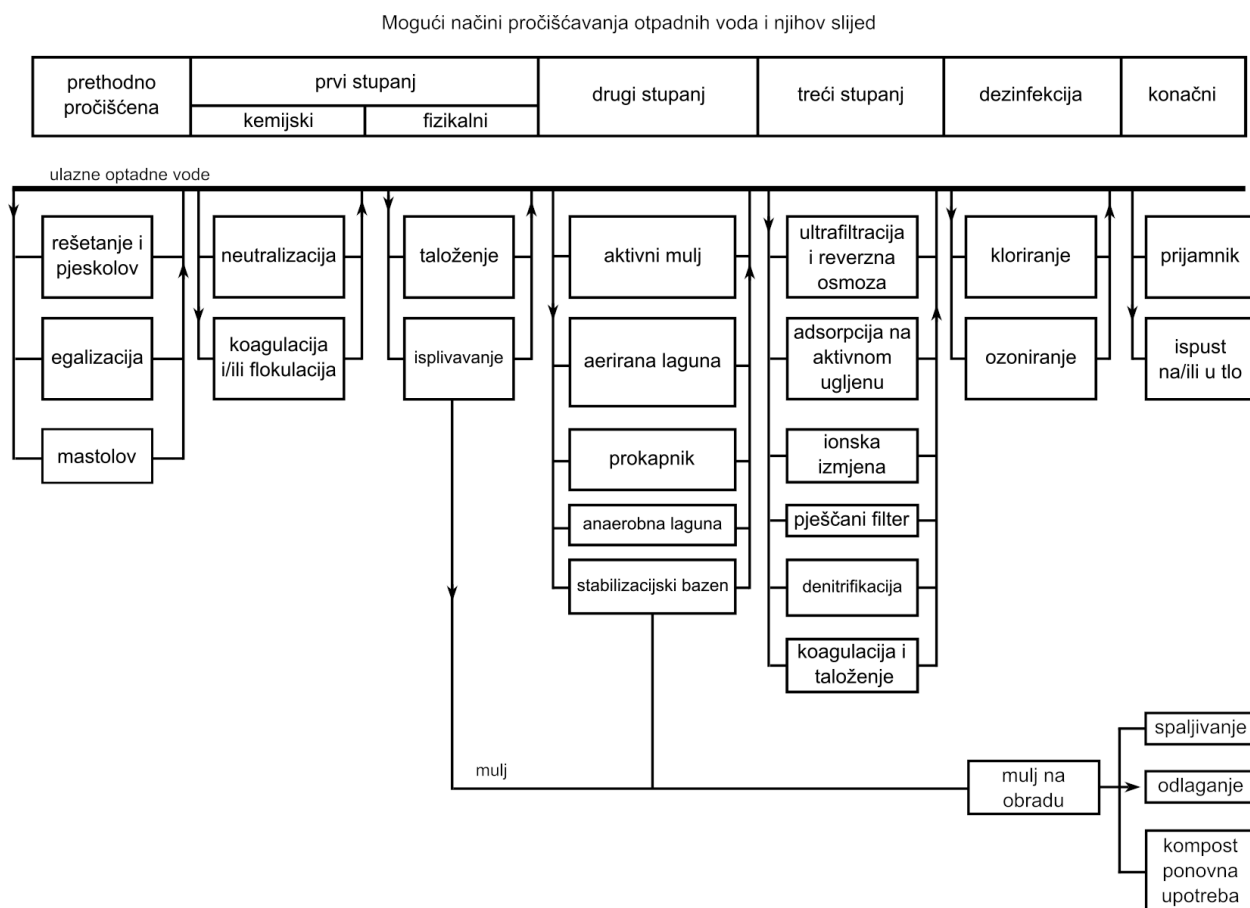
Postupak pročišćavanja otpadnih voda nije završen do trenutka kada mulj nije zbrinut obzirom da nisu poduzete sve potrebne mjere zaštite okoliša.

## 2. Općenito o pročišćavanju otpadnih voda

Za obradu otpadnih voda najčešće se kombiniraju fizikalni, kemijski i biološki procesi, a sadržaj tehnološke linije za obradu otpadne vode, odnosno stupanj pročišćavanja koji je potrebno primijeniti, ovisi o sastavu otpadne vode i o traženim zahtjevima za izlazni efluent [2].

Fizikalni procesi obrade otpadne vode uključuju uklanjanje krutog otpada na rešetkama, izravnjanje/ujednačavanje dotoka (egalizacija), miješanje, taloženje ili sedimentaciju, isplivavanje ili flotaciju, cijedenje-filtriranje i adsorpciju.

Onečišćenja iz otpadne vode se u kemijskim procesima uklanjaju dodatkom kemikalija ili induciranjem kemijskih reakcija [2]. Kemijski procesi obrade otpadnih voda se najčešće primjenjuju u istoj tehnološkoj liniji s fizikalnim procesima i uključuju neutralizaciju, zgrušavanje – koagulaciju, pahuljičenje (flokulaciju), oksidaciju i redukciju, dezinfekciju (kloriranje, ozonizacija, ultraljubičasto zračenje, ionizacijsko zračenje), ionsku izmjenu i membranske procese.



Slika 1: Dijelovi tehnološke linije pročišćavanja otpadnih voda [4]

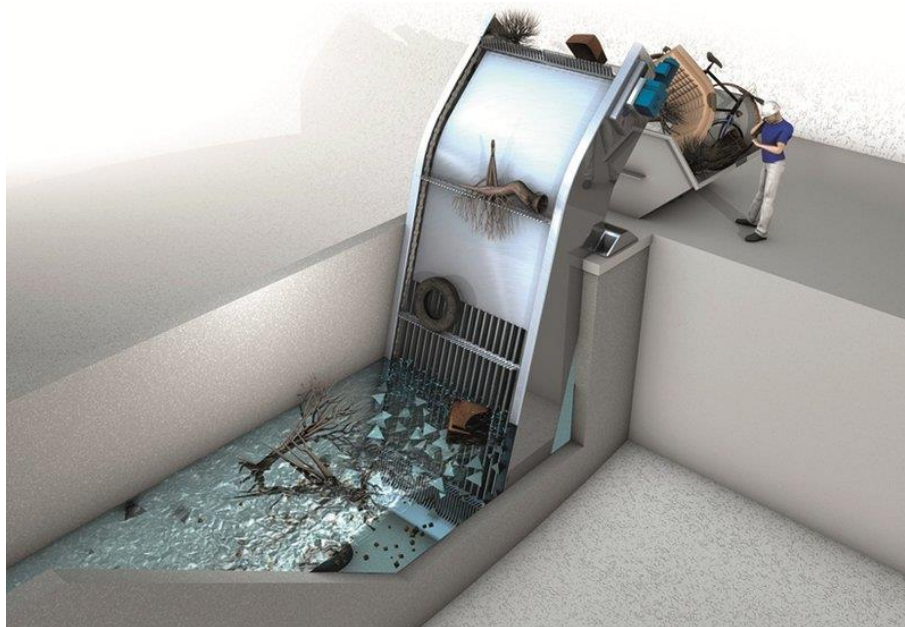
Biološki procesi obrade otpadnih voda temelje se na kontroliranoj mikrobiološkoj razgradnji otpadnih tvari u vodi, prvenstveno na uklanjanju biorazgradive organske tvari i nutrijenata [2].

Prema količini otopljenog kisika u vodi, odvijaju se sljedeći biološki procesi: aerobna izgradnja i razgradnja stanica, anaerobno kiselo vrenje i metanska razgradnja stanica te bakteriološka oksidacija i redukcija (nitrifikacija i denitrifikacija) [4].

Ovisno o stupnju pročišćavanja razlikujemo prethodno, primarno, sekundarno i tercijarno pročišćavanje otpadnih voda, a u slučaju naknadnog korištenja pročišćene otpadne vode koriste se i napredni postupci pročišćavanja. Dijelovi tehnološke linije pročišćavanja otpadnih voda prikazani su na slici 1.

## 2.1. Mehaničko pročišćavanje otpadnih voda

Mehaničko pročišćavanje obuhvaća prethodno pročišćavanje otpadnih voda te je dio procesa u kojem se uklanjaju neotopljene tvari za što se koristi filtriranje vode kroz rešetke i sita, uklanjanje suspendiranih tvari taloženjem ili isplivavanjem na površinu (flotacija) i drugi postupci. Filtriranje kroz rešetke ili sita je najjednostavniji način uklanjanja neotopljenih suspendiranih ili plutajućih tvari iz vode i važan je proces prvenstveno zbog rasterećenja sljedeće faze čišćenja, ali i sprječavanja trošenja i oštećenja elektrostrojarske opreme. Uglavnom se koriste fine i grube rešetke (slika 2.) i mikro sita.



*Slika 2: Rešetka za izdvajanje grubog materijala [5]*

Iza rešetaka se postavljaju pjeskolovi koji se koriste za uklanjanje pijeska, šljunka i drugih krutina koje imaju veću brzinu taloženja i nisu biorazgradive. Mastolovi su uređaji u kojima tijekom procesa taloženja nastaje prirodno isplivavanje jer čestice manje gustoće isplivaju na

površinu i uklanjaju se zgrtačima masti. Slika 3. prikazuje pjeskolov-mastolov na UPOV-u Centar Zadar.



*Slika 3: Pjeskolov-mastolov na UPOV-u Centar Zadar [6]*

Uređaji koji mjere količinu vode koja prolazi UPOV-om nazivaju se mjeraci protoka i obično se postavljaju u kanalu iza pjeskolova i mastolova. Najčešće se primjenjuju Parshallov ili Venturijev mjerac. Primarni taložnici (slika 4.) osiguravaju cjelovito pročišćavanje za prvi stupanj pročišćavanja otpadnih voda ili se mogu koristiti kao preliminarni korak u daljnjem pročišćavanju otpadnih voda. Kada se koriste kao jedino sredstvo za obradu, ovi spremnici omogućavaju uklanjanje istaloženih krutih tvari i većeg dijela plutajućeg materijala. Kada se koriste kao preliminarni korak za biološki tretman, njihova je funkcija smanjiti opterećenje za biološki tretman. Učinkovito projektirani primarni taložnici trebali bi ukloniti 50 do 70 % suspendiranih krutih tvari i 25 do 40 % BPK<sub>5</sub>.

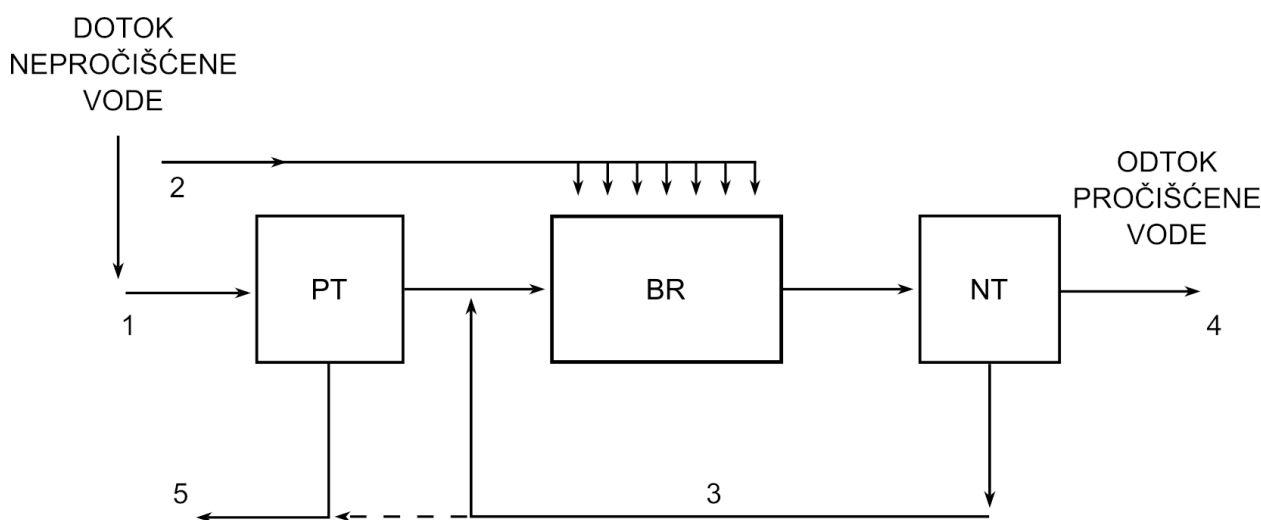


*Slika 4: Primjer kružnog taložnika [7]*



## 2.2. Biološko pročišćavanje otpadnih voda

Biološki procesi pročišćavanja su najčešće primjenjivani procesi na UPOV-ima gdje se pročišćavaju otpadne vode opterećene velikom količinom organske tvari obzirom da uključuju one procese u kojima se uklanjaju organske tvari uz pomoć mikroorganizama, a primjena je moguća u slučaju kada je onečišćenje biološki razgradivo i ne sadrži otrovne tvari u kritičnim količinama. Biološki procesi primjenjuju se u svrhu uklanjanja organskog ugljika i smanjenja fosfornih i dušikovih spojeva te stabilizacije mulja. U prirodi se organske tvari razgrađuju aerobnim i anaerobnim procesima, dok se prilikom pročišćavanja otpadnih voda najčešće primjenjuju aerobni procesi (ukoliko postoji dovoljna količina kisika). Podjela mikroorganizama obzirom na njihovo održavanje u biološkom reaktoru je na mikroorganizme raspršene u tekućini unutar biološkog reaktora (aktivni mulj) i mikroorganizmi pričvršćeni na podlogu (prokapnik, okretni biološki nosač). Proces s aktivnim muljem (slika 5.) u današnje se vrijeme najčešće primjenjuje na UPOV-ima jer je najbliži procesima samopročišćavanja vode u prijemniku, ali uz intenzivniju aeraciju [4].



- 1 - dotok otpadne vode
- 2 - dovod zraka
- 3 - povratni mulj
- 4 - odtok pročišćene vode
- 5 - višak mulja

- PT - prethodni taložnik
- BR - biološki reaktor
- NT - naknadni taložnik

Slika 5: Shema konvencionalnog postupka s aktivnim muljem [4]

Na konvencionalnom uređaju s aktivnim muljem otpadna voda iz primarnog taložnika ulazi u bioaeracijski reaktor (slika 6.) u kojem su raspršeni mikroorganizmi te se upuhuje zrak čime se

sprječavanja taloženje i potiče biološka aktivnost. Iz bioeracijskog spremnika obrađena se voda uvodi u naknadni taložnik gdje se gravitacijski odvija taloženje suspendiranih tvari i bakterija (sekundarni mulj) od kojih se jedan dio vraća u bioeracijski reaktor, a višak se izdvaja iz procesa i odvodi na obradu mulja.



*Slika 6: Bioeracijski reaktor [8]*

### **2.3. Kemijsko pročišćavanje otpadnih voda**

Neutralizacija je često primjenjivan kemijski proces pročišćavanja otpadnih voda u kojem se popravljaju pH-vrijednost dodavanjem kiselina ili lužina. Neutralizaciju je moguće izvesti dodavanjem različitih sredstava za neutralizaciju, miješanjem kiselih i lužnatih voda i filtracijom kiselih otpadnih voda kroz filtarski sloj odgovarajućeg punjenja i granulacije [4].

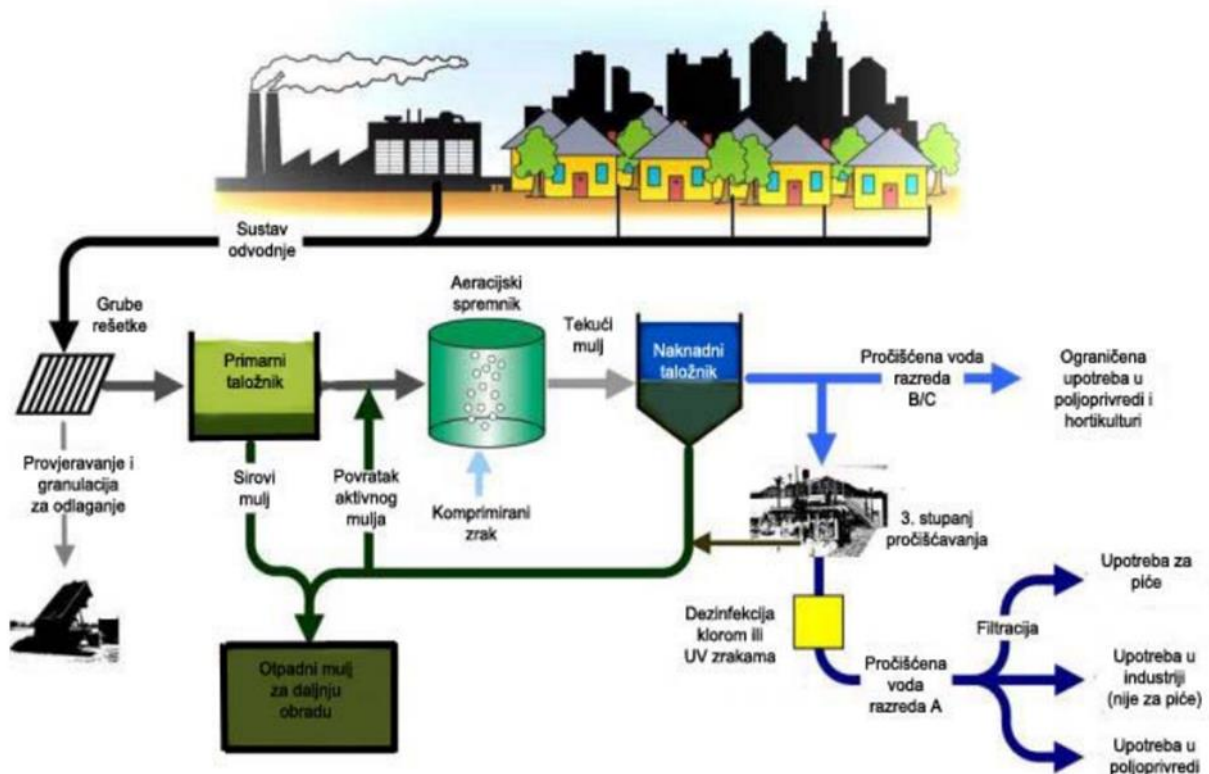
Koagulacija je prvi korak u kemijskoj obradi otpadnih voda. U procesu zgrušavanja ili koagulacije dodavanjem sredstava za koagulaciju (aluminijev sulfat, aluminijev klorid, željezov klorid i drugi) sve čestice odaju pozitivan naboj i tako se skupe zajedno, što ih čini lakšim za filtriranje. Koagulacija je posebno korisna u uklanjanju kemijskog fosfora iz vode.

Nakon koagulacije najčešće se primjenjuje flokulacija. Nakon što se čestice skupe pomoću koagulacije, za uklanjanje nakupina koriste se sredstva za flokulaciju (aktivna silika, aktivni ugljen u prahu, sintetički flokulanti).

Najčešće primjenjivani procesi dezinfekcije su kloriranje, ozonizacija i ultraljubičasto zračenje.

### 3. Obrada mulja

Pročišćavanjem otpadnih voda generira se otpadni mulj koji je potrebno obraditi i zbrinuti. Primarni mulj nastaje iz prethodnog taložnika i rezultat je taloženja, sekundarni ili biološki mulj nastaje iz naknadnog taložnika i rezultat je biološkog postupka pročišćavanja, dok se miješanjem tih dviju vrste mulja dobije miješani mulj. Shematski prikaz procesa nastanka mulja prikazan je na slici 7.



Slika 7: Sustav pročišćavanja voda i proces nastanka mulja [9]

Najveći dio sirovog mulja sastoji se od vode (97-99%), zatim od organske tvari VSS (engl. volatile suspended solids – hlapiva suspendirana tvar, odnosno tvari koje bi izgorjele pri spaljivanju) te od anorganske tvari FSS (engl. fixed suspended solids – fiksna suspendirana tvar, odnosno dio koji bi pri spaljivanju ostao kao negorivi ostatak). VSS i FSS zajedno čine TSS (engl. total suspended solids – ukupne raspršene krutine) [8]. Tablicom 3. prikazani su rasponi vrijednosti sastava i svojstava mulja različitog podrijetla.

Tablica 3: Rasponi vrijednosti sastava i svojstava mulja različitog podrijetla [4]

SVOJSTVA	MJERNA JEDINICA	PRIMARNI MULJ	BIOLOŠKI MULJ	MJEŠOVITI MULJ, SIROV 1 + 2	MULJ SREDNJE ISTRULJEN	DOBRO ISTRULJEN MULJ	AEROBNO STABILIZIRANI MULJ
KONCENTRACIJA SUHE TVARI	% mase	3,0-5,0	0,5-1,5	3,0-6,0	6,0-10	6,0-10	2-5 nakon zgušnjavanja
pH		5,5-7,0	6,0-7,0	6,5-7,0	oko 7,0	oko 7,5	6,5-7,0
ORGANSKI UDIO	% mase	65-75	65-75	65-75	55-60	40-45	50-60
UKUPNI UGLJIK	C % mase	50-60	50-70	50-60	25-35	20-30	15-20
UKUPNI DUŠIK	N % mase	2,0-5,0	6,0-8,0	4,0-6,0	2,0-3,5	1,0-2,0	2,0-2,5
UKUPNI FOSFOR	P % mase	0,6-1,2	1,0-1,4	1,0-1,2	0,5-0,7	0,5-0,8	1,0-3,0
KALORIJSKA VRIJEDNOST	kJ/kg mase	14564 - 16747	14564 - 16747	14564 - 16747	11304 - 13860	6280 - 8374	7536 - 9630

Osnovni cilj obrade mulja je smanjiti volumen mulja i štetne utjecaje na ljude i na okoliš, a osnovni postupci obrade mulja uključuju:

- zgušnjavanje
- stabilizaciju i
- dehidraciju (uklanjanje vode).

Nakon provedenih osnovnih postupaka obrade, mulj se može odvoziti na dodatne postupke obrade ili odlagati.

Dodatni postupci obrade mulja:

- **HOMOGENIZACIJA**  
– postizanje ujednačenog sastava mulja unutar cijele mase mulja, dakle postizanje homogene mase mulja, a samim time i dodatno smanje volumena mulja
- **KONDICIONIRANJE**  
– predstavlja poboljšanje svojstava mulja radi lakšeg uklanjanja vode što se može postići korištenjem određenih kemikalija

- SUŠENJE

– uklanjanje dodatnog sadržaja vode, a najčešće primjenjivani tipovi sušenja su solarno sušenje, termalno sušenje i polja za ozemljavanje

- SPALJIVANJE

– postupak koji je vrlo raširen u razvijenim zemljama, a uključuje spaljivanje (mono i suspaljivanje), pirolizu, rasplinjavanje, termalnu hidrolizu i mokru oksidaciju

- DEZINFEKCIJA

– uklanjanje patogenih organizama iz mulja

Koncentracija suhe tvari mulja u pojedinim tehnološkim fazama u odnosu na stupanj pročišćavanja definirana na temelju pregleda literaturnih podataka prikazana je u tablici 4.

Tablica 4: Koncentracija suhe tvari mulja u pojedinim tehnološkim fazama [11]

Tehnološka faza	Koncentracija suhe tvari [% ST]	
	Raspon vrijednosti	Karakteristična vrijednost
<b>Prethodno taloženje</b>		
Primarni mulj	1 - 6	3
Primarni mulj s dodatkom soli željeza za uklanjanje fosfora	0.5 - 3	2
Primarni mulj s malim dodatkom vapna za uklanjanje fosfora	2 - 8	4
Primarni mulj s velikim dodatkom vapna za uklanjanje fosfora	4 - 16	10
<b>Naknadno taloženje</b>		
Biološki mulj uz prethodno taloženje	0.5 - 1.5	0.8
Biološki mulj bez prethodnog taloženja	0.8 - 2.5	1.3
Humus iz prokapnika	1 - 3	1.5
Mulj iz okretnih bioloških nosača	1 - 3	1.5
<b>Gravitacijsko zgušnjavanje</b>		
Primarni mulj	3 - 10	5
Primarni i biološki mulj	2 - 6	3.5
Primarni mulj i humus iz prokapnika	3 - 9	5
<b>Flotacijsko zgušnjavanje</b>		
Biološki mulj s dodatkom polimera	4 - 6	5
Biološki mulj bez dodatka polimera	3 - 5	4
<b>Centrifugalno zgušnjavanje</b>		
Biološki mulj	4 - 8	5
<b>Zgušnjavanje gravitacijskim trakastim zgušnjivačem</b>		
Biološki mulj s dodatkom polimera	3 - 6	5
<b>Anaerobna digestija</b>		
Primarni mulj	2 - 5	4
Primarni i biološki mulj	1.5 - 4	2.5
Primarni mulj i humus iz prokapnika	2 - 4	3
<b>Aerobna digestija</b>		
Primarni mulj	2.5 - 7	3.5
Primarni i biološki mulj	1.5 - 4	2.5
Biološki mulj	0.8 - 2.5	1.3

### 3.1. Zgušnjavanje mulja

Najčešće korišteni postupci zgušnjavanja mulja uključuju:

- gravitacijsko zgušnjavanje
- zgušnjavanje isplivavanjem
- mehaničko zgušnjavanje

Zgušnjavanje mulja je važan proces kojem je osnovni cilj smanjenje volumena mulja, odnosno povećanje koncentracije krutih tvari i smanjenje slobodne vode, a samim time i smanjenje opterećenja na procese koji slijede (stabilizacija i dehidracija).

Gravitacijsko zgušnjavanje uključuje korištenje posebno dizajniranih najčešće kružnih spremnika koji koncentriraju vodenasti mulj u gušći proizvod mulja. Mulj dotječe u spremnik za zgušnjavanje (slika 8.) u kojem se uklanja višak vode iz krutih tvari koje se skupljaju na dnu. Gravitacijski zgušnjivači vrlo su slični prethodnim i naknadnim taložnicima, ali imaju veći nagib dna tako da se krute tvari skupljaju na dnu, manjeg su promjera i dublji.



*Slika 8: Gravitacijski zgušnjivač mulja [12]*

Cilj flotacijskog zgušnjavanja je vezati sićušne mjehuriće zraka na suspendirane krute tvari i na taj način postići odvajanje krutih tvari od vode i njihovo isplivavanje na površinu obzirom da čestica povezana s mjehurićem zraka ima manju specifičnu težinu od vode.

Mehaničko zgušnjavanje mulja koristi se u slučajevima biološkog uklanjanja fosfora. Najčešći postupci mehaničkog zgušnjavanja su pomoću centrifuge, gravitacijske trake, filter preša i rotacijskog bubnja (slika 9.)



*Slika 9: Mehaničko zgušnjavanje mulja pomoću rotacijskog bubnja [13]*

### **3.2. Stabilizacija mulja**

Stabilizacijom se osigurava sprječavanje daljnje razgradnje mulja, prvenstveno daljnje razgradnje organske tvari u mulju, odnosno smanjenje udjela biološki razgradive organske tvari. Smanjenjem udjela biološki razgradive organske tvari sprječava se da mulj bude izvor patogena koji predstavljaju opasnost za zdravlje ljudi i za okoliš, ali i širenje neugodnih mirisa.

Stabilizacija mulja se provodi na dva osnovna načina:

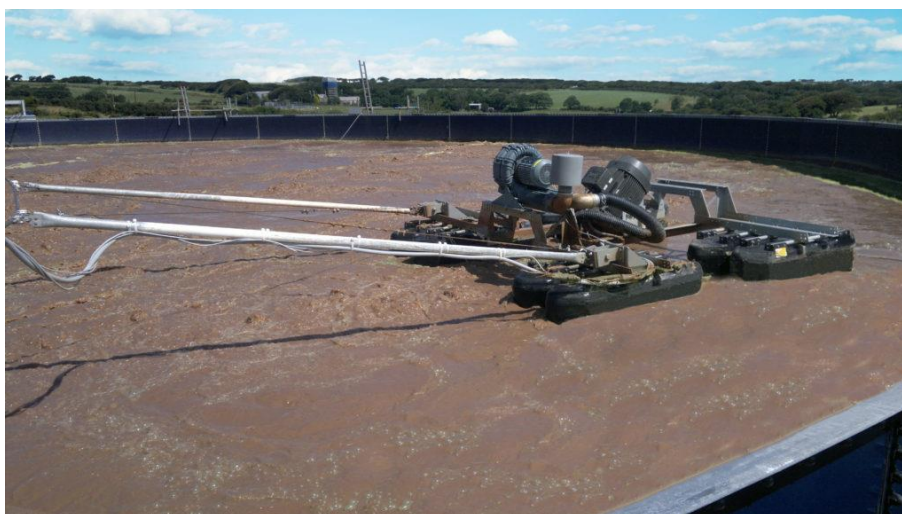
- uz prisustvo kisika – aerobna stabilizacija ili digestija
- bez prisustva kisika (ili u ograničenim uvjetima kisika) – anaerobna stabilizacija ili digestija.

Postupak stabilizacije provodi se zbog samog sastava odloženog mulja u kojem se još uvijek nalazi veliki udio organske tvari i značajna količina anaerobnih organizama koji u anaerobnim uvjetima ožive i razgrađuju organsku tvar te je koriste kao hranu za svoje metaboličke procese. Prilikom razgradnje organske tvari dolazi do pojava jakog mirisa što je sa sanitarnog stajališta neprihvatljivo.

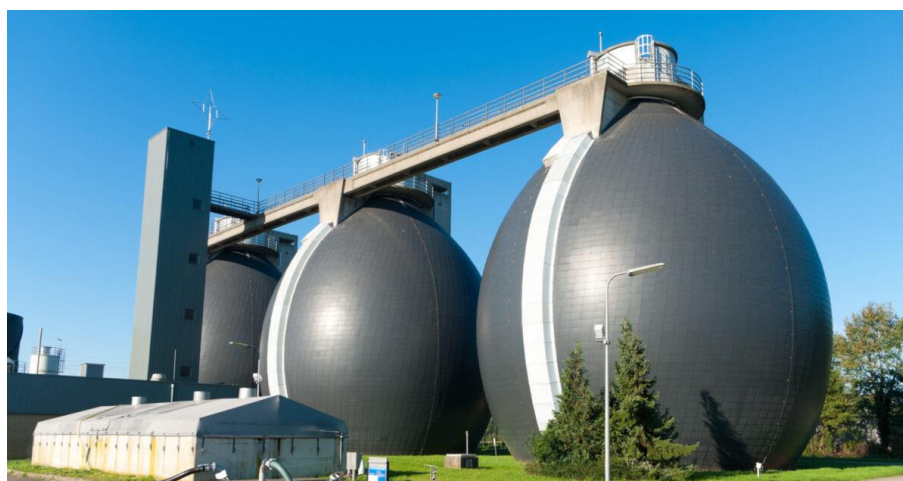
Kako bi se izbjegli problemi pojave neugodnih mirisa potrebno je odabrati između dvije mogućnosti. Jedna mogućnost je ukloniti organsku tvar oksidacijom, odnosno oduzeti hranu mikroorganizmima, dok je druga mogućnost direktno uništiti mikroorganizme. Proces stabilizacije zapravo predstavlja rješavanje navedenog problema odabirom jedne od navedenih mogućnosti.



Uklanjanje organske tvari oksidacijom pomoću biološke oksidacije u aerobnim ili anaerobnim uvjetima se naziva digestija koja može biti aerobna (slika 10.) ili anaerobna digestija (slika 11. ). Drugi i puno rjeđi način uklanjanja organske tvari je pomoću kemijske oksidacije.



*Slika 10: Aerobna digestija mulja [14]*



*Slika 11: Jajoliki digestori [15]*

Mikroorganizme je moguće ukloniti toplinski pri čemu je potrebno povećati temperaturu preko 260° C kako bi ih se trajno inaktiviralo te kemijski – stabilizacijom vapnom. Dodavanjem vapna povećava se pH mulja na preko 12, a u tako kiselom okolišu mikroorganizmi više ne mogu opstati. Obzirom da je jedna od mogućnosti konačnog zbrinjavanja mulja proizvodnja komposta i korištenje za agrikulturne i poljoprivredne svrhe koje nisu direktno povezane s proizvodnjom hrane, upitna je opravdanost korištenja mulja stabiliziranog vapnom u svrhu poboljšanja tla.

U procesu anaerobne digestije oslobađa se određena količina bioplina koji ima određena energetska svojstva koja se mogu koristiti za namirenje dijela energetske potreba samog uređaja za pročišćavanje otpadnih voda.

### 3.3. Dehidracija mulja

Zgušnjavanjem se dobiva mulj s količinom suhe tvari od otprilike 5%, dok se dehidracijom mulja količina suhe tvari znatno povećava, do 20-30% suhe tvari. Prema tome, osnovni cilj dehidracije je dodatno uklanjanje slobodne vode iz mulja.

Voda izdvojena postupkom dehidracije vraća se na UPOV. Osnovni cilj dehidracije je višestruko smanjiti volumen mulja kako bi daljnja manipulacija bila olakšana i ekonomski isplativija.

Dehidracija mulja vrši se fizikalnim uklanjanjem (primjerice na poljima za sušenje) ili mehaničkim uklanjanjem pomoću različitih strojeva: trakastih filter preša (slika 12.), filter preša, vakuum filter preša, centrifuga i dr.



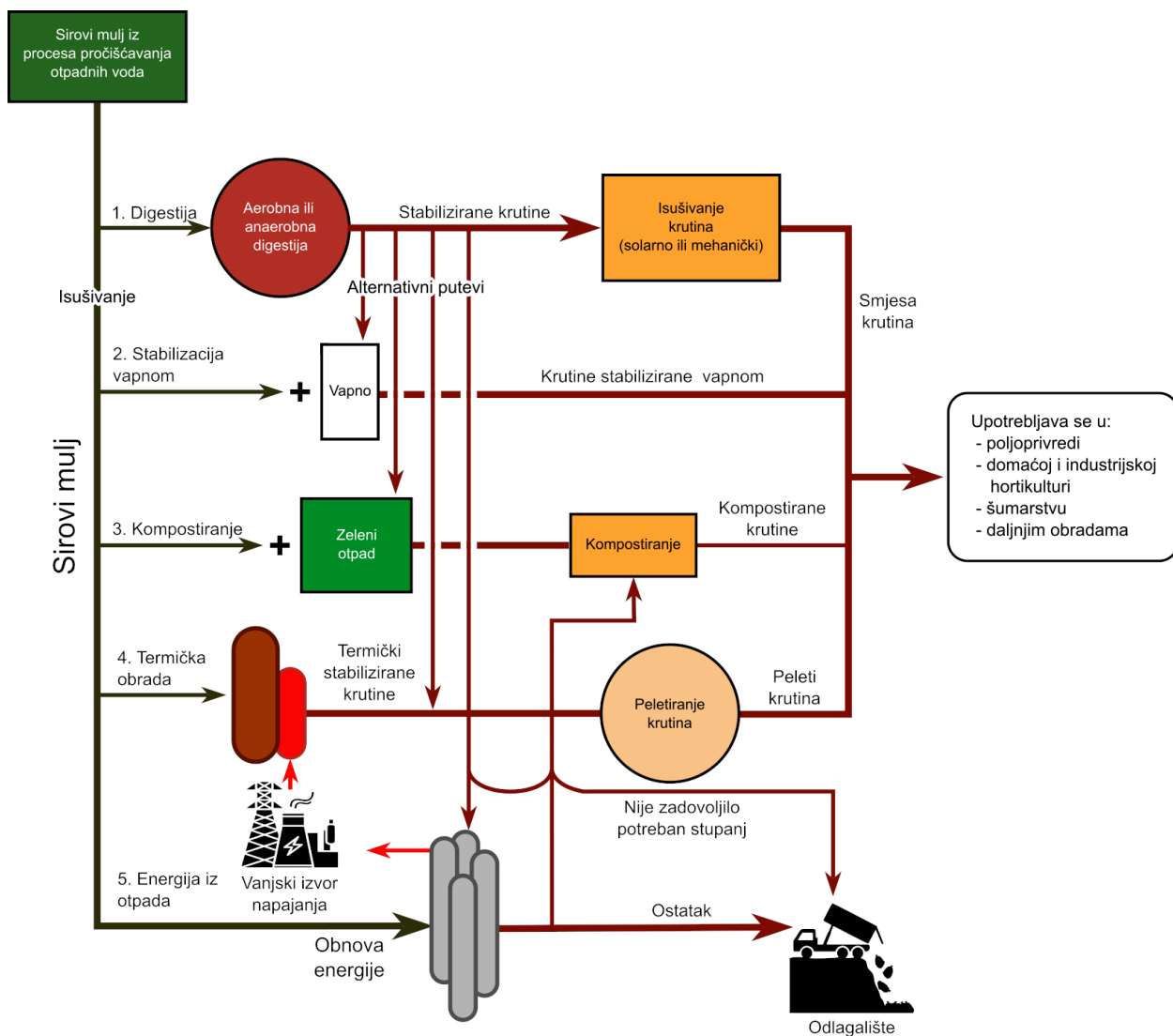
*Slika 12: Dehidracija mulja pomoću trakaste filter preše [16]*

### 3.4. Ostali oblici obrade mulja

Osim osnovnih postupaka obrade mulja, potrebno je izdvojiti i dodatne postupke koji uključuju:

- poboljšanje svojstava (kondicioniranje mulja)
- sušenje
- solidifikaciju
- ozemljavanje
- kompostiranje
- termičku obradu.

Neki od mogućih postupaka obrade mulja prikazani su na slici 13., dok slika 14. shematski prikazuje smanjenje ukupne mase mulja u ovisnosti od stupnja obrade.



Slika 13: Postupci obrade mulja do njegova konačnog zbrinjavanja [9]



Slika 14: Smanjenje ukupne mase mulja ovisno o stupnju obrade [17]

### **3.4.1. Poboljšanje svojstava**

Poboljšanjem svojstava mulja pomoću određenih postupaka povećava se učinkovitost daljnjih faza obrade mulja. Predtretmanom mulja dobiva se mulj poboljšanih karakteristika, a provodi se mehanički, kemijski, toplinski i pod tlakom, dok su najčešći postupci predtretmana koji prethode anaerobnoj stabilizaciji termalna hidroliza, ultrazvučna hidroliza, enzimaska hidroliza, pretpasterizacija i drugi postupci [17]. Kondicioniranje mulja podrazumijeva kemijske i toplinske postupke kojima se poboljšavaju svojstva mulja radi učinkovitijeg uklanjanja vode i pripremni je postupak njegovu zgušnjavanju i dehidraciji.

### **3.4.2. Sušenje mulja**

Sušenje mulja je postupak dodatnog isparavanja vode iz dehidriranog mulja. Osušeni mulj sadrži i do 90% suhe tvari, pogodan je za privremeno skladištenje i daljnju obradu i niži su troškovi prijevoza mulja na daljnju obradu i zbrinjavanje. Osim navedenog neke od pogodnosti sušenja mulja su i daljnja stabilizacija mulja, povećanje kalorijske vrijednosti mulja i smanjivanje količina mulja radi lakšeg upravljanja. Prema tipu sušenja razlikuju se termalno sušenje, solarno sušenje korištenjem solarne energije i kombinacije različitih tipova, a prema intenzitetu sušenja razlikujemo djelomično sušenje (do oko 60-80% ST) i potpuno sušenje (do oko 80-90% ST). Za sušenje mulja poželjno je koristiti otpadnu toplinu ili solarnu energiju [10].

#### **Solarno sušenje mulja**

Postupak solarnog sušenja mulja (slika 15.) posljednjih se godina intenzivno razvija i sve češće koristi zbog korištenja sunčeve energije kao obnovljivog izvora energije. Sušenje predstavlja važan proces za upravljanje muljem jer može smanjiti masu i volumen proizvoda, a posljedično i troškove skladištenja, rukovanja, transporta te konačnog zbrinjavanja pa samim time i uzimajući u obzir klimatološke prilike pobuđuje značajan interes dionika uključenih u proces gospodarenja muljem i u RH.



*Slika 15: Staklenik za solarno sušenje mulja s fiksnim zgrtačem mulja [5]*

Dehidrirani mulj razastire se na uređenu vodonepropusnu podlogu (koja je najčešće asfaltirana ili betonirana) u debljini od 20-80 cm. Staklenik je izrađen od materijala s velikim faktorom insolacije kako bi se omogućilo što bolje prenošenje Sunčevog zračenja. Pomoću mobilnog prevrtača mulj se automatski miješa i prozračuje. Mobilni prevrtač je povezan na upravljački sustav i njegov rad je potpuno automatiziran. U toku procesa sušenja mulj se prevrće nekoliko puta dnevno, u svrhu što bržeg sušenja i sprječavanja širenja neugodnih mirisa [10].

Solarno sušenje mulja se bazira na apsorpciji Sunčeva zračenja od strane mulja, što uzrokuje porast temperature u stakleniku. Brzina sušenja mulja temelji se na razlici tlakova vodene pare između zraka u stakleniku i zagrijavanog mulja. Najbolji rezultati sušenja postižu se u uvjetima zagrijanog mulja i suhog zraka u komori obzirom da parcijalni tlak vodene pare u zraku ovisi o apsolutnoj vlažnosti pa je zbog toga važno što prije evakuirati nastalu vlagu u komori. U tu svrhu se na stakleniku ugrađuju otvori za izmjenu zraka, a u sklopu objekta komore ugrađuju se i ventilatori za cirkulaciju zraka čime se sprječava njegovo uslojavanje [10].

U postupku sušenja mulja kontinuirano se mjere svi potrebni parametri u stakleniku, od koncentracije suhe tvari u mulju i koncentracije organske tvari do količine insolacije, potrošnje električne energije prevrtača mulja i ostali parametri [10].

Rezultati dosadašnjih istraživanja [18] pokazali su da je zatvoreno postrojenje za sušenje mulja prihvatljivije od otvorenog postrojenja za sušenje mulja i u ljetnom i u zimskom razdoblju. Dok je na otvorenom postrojenju za sušenje mulja kiša ometala sušenje mulja i smanjenje patogena, natkrivena sušara učinkovito je koristila sunčevu energiju za sušenje mulja i pospješila redukciju

patogena. Zatvoreno postrojenje također je funkcioniralo kao prostor za privremeno skladištenje osušenog mulja.

### **Termalno sušenje mulja**

Termalno sušenje odvija se u postrojenjima koja su opremljena pećima za sušenje mulja na temperaturi 120 do 400°C (najčešće do 150°C). Jedna od mogućnosti je termalno sušenje korištenjem primarne energije koje se koristi električnom energijom ili konvencionalnim energentima čijim sagorijevanjem nastaje toplina za sušenje ili termalno sušenje otpadnom toplinom nastalom na samom UPOV-u. Termalno sušenje otpadnom toplinom ili električnom energijom nastalom na UPOV-u prihvatljivije je rješenje zbog znatno nižih operativnih troškova. Termalno sušenje mulja se na UPOV-ima može se primijeniti kao zaseban proces ili u kombinaciji s nekim drugim postupkom obrade mulja, primjerice sa spaljivanjem ili suspaljivanjem. Termalnim sušenjem mulja dobiva se sterilizirani mulj s visokim postotkom udjela suhe tvari u mulju (i preko 90% ST), bez patogena, sa znatno smanjenim intenzitetom emisija neugodnih mirisa i znatno povećane kalorijske vrijednosti [10].

#### **3.4.3. Solidifikacija mulja**

Postupku solidifikacije prethodi stabilizacija i dehidracija mulja, a provodi se dodatna dehidracija i sušenje, stabilizacija, higijenzacija i neutralizacija mulja. Postupkom solidifikacije dobiva se mulj u osušenom obliku s više od 85 % suhe tvari, odnosno osušeni solidifikat [17]. Na slici 16. prikazana je patentirana MID-MIX<sup>®</sup> tehnologija solidifikacije mulja koja se uspješno primjenjuje i u Hrvatskoj na UPOV-u Koprivnica.



*Slika 16: MID-MIX<sup>®</sup> postrojenje za solidifikaciju mulja [10]*

### 3.4.4. Ozemljavanje mulja

Ozemljavanje mulja je tehnologija obrade biološkog mulja na poljima za ozemljavanje koja koristi biljke za dehidraciju i mineralizaciju mulja. Korijenski sustav biljke koristi vodu, nutrijente i minerale iz mulja za svoj rast i time kao krajnji produkt obrade mulja dobivamo stabilizirani, ozemljeni mulj koji se nakon izvršenih analiza može upotrebljavati u poljoprivredi, sanaciji devastiranih površina ili upotrijebiti kao dnevna pokrivka na odlagalištima. Polja za ozemljavanje mulja su dugotrajna, regenerativna, jednostavna za rukovanje bez kemijskih dodataka i složenih elektroničkih kontrola i lako se održavaju. Potrebni operativni zahvati i energija za održavanje biljaka je vrlo niska. Polja za ozemljavanje su dizajnirana kako bi optimizirala mikrobiološke, kemijske i fizikalne procese potrebne za razgradnju mulja. Kao najučinkovitija biljka u procesu ozemljavanja koristi se trska (*Phragmites australis*). Trska je zeljasta trajnica iz porodice trava (*Poaceae*), autohtona je vrsta koje je prilagođena na klimatske uvjete kontinentalne Hrvatske. Na slici 17. prikazana su polja za ozemljavanje izgrađena kao sastavni dio kompleksa za pročišćavanje otpadnih voda u Čakovcu [19].



Slika 17: Polja za ozemljavanje izgrađena uz UPOV u Čakovcu [20]

Uz navedeni UPOV izgrađeno je 9 polja za ozemljavanje koja su izvedena ukopavanjem u postojeći teren s izradom malog nasipa. Radi sprječavanja prolaska procjednih voda s polja za ozemljavanje u okolni teren na dnu polja je postavljena vodonepropusna folija. Na foliju se postavljaju drenažni slojevi šljunka i pijeska (ukupno oko 60 cm debljine). Kroz donji sloj je postavljena drenaža u uzdužnom smjeru polja. Procjedne vode s polja se prikupljaju drenažnim cijevima te dovode do crpne stanice za procjednu vodu. U crpnoj stanici se voda diže do nivoa

potrebnog za priključenje u sustav odvodnje platoa te se odvodi u internu kanalizaciju i na početak procesa pročišćavanja otpadne vode. Stabilizirani mulj iz bazena za aerobnu stabilizaciju se doprema u okno za miješanje mulja. Mulj se po potrebi razrjeđuje pročišćenom otpadnom vodom s kraja biološkog procesa kako bi se na polja dopremio mulj s dovoljno vlage potreban za rast biljaka i bolju raspodjelu mulja (razlijevanje mulja). Okno za miješanje je opremljeno mješačima i crpkama za dovod mulja na polja. Mulj se raspoređuje na polja za ozemljavanje pomoću razvodnog cjevovoda i sustava zasuna kojima se određuje na koje polje se raspoređuje mulj [19].

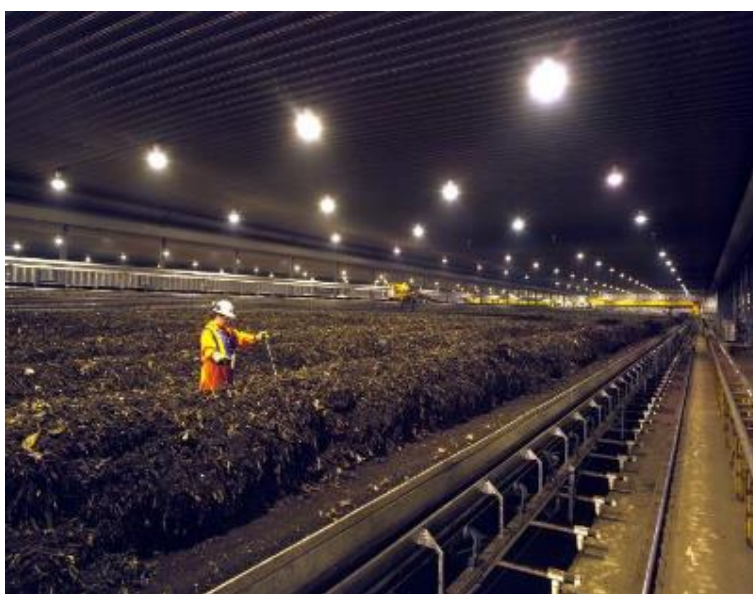
Trski je nakon sadnje potreban period od 1-2 godine da dosegne određenu visinu i da se korijenski sustav dovoljno razgrana u supstratu. Tek nakon perioda adaptacije moguće je postepeno odlaganje mulja na polja za ozemljavanje. Rast trske ovisi o periodu sadnje i vremenskim uvjetima nakon sadnje. U prvoj godini nakon sadnje očekuje se rast trske od 30,5 cm do 45,5 cm, a u drugoj godini očekuje se rast od 60,5 cm do 90 cm. Kada trska dosegne visinu oko 75 cm i pokrije oko 85 % površine polja za ozemljavanje može se početi s procesom dodavanja mulja. Nakon adaptacije trsku je potrebno kositi jednom godišnje. Trska se kosi u listopadu ili studenome na visinu od 20-25 cm iznad tla. Košnja omogućuje razvoj novih biljaka i sprječava nakupljanje biljnih ostataka na poljima za ozemljavanje. Za vrijeme košnje nije potrebno uklanjanje sloja mulja. Košnja se obavlja ručno s prilagođenim kosama za jače opterećenje ili motornim kosama s križem. Pokošena trska se ručno pokupi, kompostira ili spali. Nakon 8-10 godina potrebno je ukloniti mulj s polja za ozemljavanje. Nekoliko mjeseci prije samog otklanjanja ne preporuča se dodatno opterećenje mulja kako bi se u potpunosti omogućilo reduciranje vlage. Vađenje mulja je zahtjevan i troškovno značajan zahvat. Potrebno je koristiti laku mehanizaciju uz ručno skidanje mulja uz foliju. Postavljanjem građevinske toranjske dizalice za vađenje i malih bagera za skidanje i utovar mulja dobivamo efikasniju tehnologiju. Način vađenja mulja ovisit će o trenutnoj situaciji i stanju mulja, sigurnosti postupka i naravno cijeni. Odvoz mulja iz pojedinog polja potrebno je organizirati na način da se u svakom polju naspe izlazna rampa od prirodnog šljunka, po kojoj će se lakom traktorskom mehanizacijom izvesti mulj iz polja [19].

### **3.4.5. Kompostiranje mulja**

Kompostiranje mulja je proces biološke razgradnje organske tvari u mulju koji se odvija u kontroliranim uvjetima. Proces je definiran kroz prisutnost kisika, temperaturu i primijenjenu tehnologiju. Za kompostiranje je potrebno osigurati odgovarajuću mikrobiološku floru, pogodnu temperaturu, vlažnost te ovisno o odabranom procesu izvor kisika i ugljika. Kompostiranje može biti aerobno i anaerobno, a aerobna metoda kompostiranja je češće primjenjivana metoda. Anaerobno kompostiranje karakteriziraju niske temperature, sporije odvijanje procesa i širenje



neugodnih mirisa. Aerobno kompostiranje je brži postupak od anaerobnog kompostiranja, podrazumijeva prisutnost aerobnih mikroorganizama i dovođenje kisika, a u postupku se razvijaju visoke temperature (50 – 70 °C) bez širenja neugodnih mirisa. Kompost od mulja, kojem se dodaju komadići drveta, suho lišće, piljevina i dr., zbog poboljšanja odnosa ugljika i dušika, sadrži 40 - 60 % suhe tvari. Kompost se koristi kao poboljšivač tla koji se naknadno može koristiti u poljoprivredi i/ili hortikulturi i nema svojstva gnojiva. Prethodnom primjenom postupaka aerobne ili anaerobne stabilizacije mulja moguće je smanjiti veličinu objekata potrebnih za kompostiranje do 40 %. Kompostiranje mulja može se predvidjeti i u sklopu zajedničkog kompostiranja s kućanskim organskim otpadom [21], [22]. Primjer kompostane u zatvorenom prostoru prikazan je na slici 18.



*Slika 18: Kompostana u zatvorenom prostoru – windrow sistem [10]*

### **3.4.6. Termička obrada mulja**

Primarni cilj termičke obrade je pretvorba mulja u oblik manje štetan za okoliš i ljude, uz posljedično smanjenje količine tvari koje se šalju na konačno zbrinjavanje, najčešće uz korištenje energije oslobođene u procesima koji prethode termičkoj obradi. Problematiku vezanu uz postupke termičke obrade čine visoki troškovi investicije, velika količina energije potrebna za postizanje visokih temperatura i potreba za skupom opremom za sprječavanje onečišćenja zraka [17]. Termičku obradu mulja u osnovi čine spaljivanje (mono i suspaljivanje), piroliza, rasplinjavanje, termalna hidroliza i mokra oksidacija.

Spaljivanje mulja je postupak u kojem dolazi do potpunog isparavanja vode i oksidacije svih organskih tvari, što utječe na značajno smanjenje mase i volumena mulja. Uz to se uništavaju

toksične organske komponente, eliminiraju se neugodni mirisi, a moguće je i dobivanje energije. U postupku spaljivanja mulja generira se pepeo. Spaljivanje mulja odvija se u posebnim pećima pri čemu se najčešće koriste peći s izgaranjem u vrtložnom sloju. Prije postupka spaljivanja mulj je potrebno osušiti što je izuzetno važno za uspješan proces spaljivanja. Spaljivanjem mulja se eliminiraju okolišni i zdravstveni problemi vezani uz mulj, prije svega uništavanjem patogena i toksičnih organskih spojeva [10].

Termalna hidroliza mulja je termički postupak obrade mulja pri temperaturama 150 - 200 °C i najčešće se koristi u kao predtretman za anaerobnu stabilizaciju mulja [17].

Procesom pirolize se organska tvar termički razgrađuje u uvjetima bez prisutnosti kisika i vode pri temperaturama 300 – 900 °C, uobičajeno u uvjetima povišenog tlaka [17].

Mokra oksidacija podrazumijeva oksidaciju pri povišenoj temperaturi i tlaku uz prisutnost vode. Obraduje se mulj u tekućem stanju, pri temperaturi 150 – 330 °C i tlaku 1-22 MPa uz pomoć čistog ili atmosferskog kisika [23]. Prihvatljiv je izbor za obradu mulja koji su previše razrijeđeni za spaljivanje i previše koncentrirani za biološku obradu.

Rasplinjavanje je postupak djelomičnog spaljivanja kojim se gorive krutine prevode u korisno plinovito gorivo, koje se može transportirati do mjesta daljnjeg iskorištavanja i učinkovito spaljivati [29]. Rasplinjavanje je proširenje procesa pirolize za termokemijsku obradu mulja, pri čemu se pretvorba odvija na višim temperaturama od onih koje se koriste za pirolizu.

## 4. Zbrinjavanje mulja i nusprodukata njegove obrade

Svaki do sada spomenut postupak obrade mulja generira mulj ili pepeo koji je potrebno na adekvatan način konačno zbrinuti u skladu sa zakonskom regulativom. Od mnogobrojnih mogućnosti zbrinjavanja mulja u nastavku su obrađene sljedeće varijante:

- odlaganje mulja na tlo na poljoprivredne površine,
- odlaganje pepela dobivenog spaljivanjem u monospalionici na posebno uređena odlagališta neopasnog otpada,
- odvoz osušenog mulja izvan granica države.

Potrebno je spomenuti i ostale mogućnosti zbrinjavanja koje uključuju odlaganje mulja na tlo na nepoljoprivredne površine, korištenje mulja i/ili pepela u građevinarstvu, suspaljivanje mulja s gradskim komunalnim otpadom, suspaljivanje mulja u cementarama i termoelektranama i dr. Odlaganje obrađenog mulja na odlagališta je mogućnost koja je u skladu s Pravilnikom o uvjetima i načinima odlaganja otpada, kategorijama i uvjetima rada za odlagališta otpada (NN broj 114/15, 103/18 i 56/19) postojala samo do kraja 2018. godine, ali se zbog neriješenih pitanja konačnog zbrinjavanja mulja na pojedinim UPOV-ima u RH i dalje primjenjuje u svojevrsnoj „sivoj zoni“ uslijed različitih tumačenja pojedinih odredbi regulative.

### 4.1. Odlaganje mulja na tlo na poljoprivredne površine

Mogućnosti uporabe mulja u poljoprivredi definirane su Pravilnikom o gospodarenju muljem iz uređaja za pročišćavanje otpadnih voda kada se mulj koristi u poljoprivredi (NN 38/08) i Pravilnikom o nusproizvodima i ukidanju statusa otpada (NN 117/14). Sukladno Pravilniku (NN 38/08), u poljoprivredi je dozvoljeno upotrijebiti samo obrađeni mulj koji je stabiliziran i koji sadrži organske tvari i teške metale u količinama koje ne prelaze dopuštene vrijednosti.

Sukladno odredbama Pravilnika o gospodarenju muljem iz uređaja za pročišćavanje otpadnih voda kada se mulj koristi u poljoprivredi (NN 38/08), zabranjuje se upotreba obrađenog mulja na:

- travnjacima i pašnjacima koji se koriste za ispašu stoke,
- površinama na kojima se uzgaja krmno bilje najmanje dva mjeseca prije žetve,
- tlu na kojem rastu nasadi voća i povrća, uz iznimku voćaka,
- tlu namijenjenom uzgoju voća i povrća koje može biti u izravnom dodiru sa zemljom i koje se može jesti sirovo, u razdoblju od barem 10 mjeseci prije datuma početka berbe ili žetve,
- tlu na kojem postoji opasnost od ispiranja mulja u površinske vode,
- tlu čija je pH vrijednost niža od 5,

- tlu krških polja, plitkom ili skeletnom tlu krša (nije primjenjivo na Grad Zagreb i okolicu),
- tlu zasićenom vodom, pokrivenom snijegom i na smrznutom poljoprivrednom tlu,
- u priobalnom i vodozaštitnom području [25].

Pravilnikom o nusproizvodima i ukidanju statusa otpada (NN 117/04) mulj je definiran kao kompost klase III, koji se ne može upotrijebiti na tlu koje se koristi za proizvodnju hrane. Njegova upotreba je ograničena na šumsko ili parkovno zemljište, za potrebe uređenja zemljišta i za izradu završnog rekultivacijskog sloja odlagališta. Kontinuirana upotreba obrađenog mulja u poljoprivredi nije preporučena pa ga je zbog kontinuirane proizvodnje potrebno skladištiti. Troškovi prijevoza do poljoprivrednog zemljišta, način razastiranja po površini i mogućnost skladištenja ovise o tipu mulja [10].

## **4.2. Odlaganje pepela na posebno uređena odlagališta neopasnog otpada**

Prema rezultatima dosadašnjih istraživanja na području čitave Hrvatske može se, u slučaju spaljivanja mulja, očekivati dobivanje pepela od spaljivanja mulja s UPOV-a koji bi bio karakteriziran kao neopasni otpad, a što je prvenstveno posljedica smanjene industrijske aktivnosti. Oporaba fosfora iz pepela dobivenog spaljivanjem mulja pozitivan je primjer kružne ekonomije i održivog razvoja obzirom na sve veću iscrpljenost prirodnih rezervi fosfora. Obzirom da je tehnologija izdvajanja fosfora iz pepela izuzetno skupa i ekonomski neprihvatljiva nudi se rješenje odlaganja pepela na privremene deponije do pronalaženja ekološki i ekonomski prihvatljivih rješenja oporabe. Trošak odlaganja pepela na posebno uređena odlagališta neopasnog otpada može uključivati trošak prijevoza pepela do odlagališta i sam trošak odlaganja uključujući i razne odlagališne takse i poreze [17].

## **4.3. Odvoz osušenog mulja izvan granica države**

Brojne ekonomske analize pokazuju opravdanost prevoženja mulja tek kad je on osušen na min. 75% suhe tvari zbog visokih cijena transporta. Stoga se u slučaju odvoza mulja izvan granica RH preporuča njegovo sušenje na samim uređajima ili na centralnom pogonu za sušenje za veći broj susjednih UPOV-a te daljnji prijevoz zajednički osušenog mulja. Ova varijanta podrazumijeva preuzimanje mulja na UPOV-u od strane određene pravne osobe i odvoz mulja u susjedne zemlje, npr. u Mađarsku. Trošak odvoza mulja izvan granica Hrvatske može uključivati trošak prijevoza osušenog mulja i trošak premije za pravnu osobu u inozemstvu koja preuzima osušeni mulj ili, u

slučaju prethodnog spaljivanja mulja i potom odvoza dobivenog pepela, trošak premije pravnoj osobi koja u Hrvatskoj preuzima pepeo i odvozi ga na daljnje zbrinjavanje izvan granica Hrvatske [17].

## 5. Zakonska regulativa

Pravilnikom o graničnim vrijednostima emisija otpadnih voda (NN 26/2020) definirane su granične vrijednosti emisija komunalnih otpadnih voda pročišćenih na uređaju drugog stupnja (II) i trećeg stupnja (III) pročišćavanja što je prikazano tablicama 5. i 6.

Tablica 5: Granične vrijednosti emisija komunalnih otpadnih voda pročišćenih na uređaju drugog (II) stupnja pročišćavanja [26]

Pokazatelji	Granična vrijednost	Najmanji postotak smanjenja onečišćenja
1	2	3
Ukupne suspendirane tvari	35 mg/l	90
Biokemijska potrošnja kisika BPK <sub>5</sub> (20 °C) bez nitrifikacije	25 mg O <sub>2</sub> /l	70
Kemijska potrošnja kisika KPK	125 mg O <sub>2</sub> /l	75

Tablica 6: Granične vrijednosti emisija komunalnih otpadnih voda pročišćenih na uređaju trećeg (III) stupnja pročišćavanja [26]

Pokazatelji	Granična vrijednost	Najmanji postotak smanjenja onečišćenja
1	2	3
Ukupni fosfor	2 mg P/l (10 000 do 100 000 ES) 1 mg P/l (veće od 100 000 ES)	80
Ukupni dušik (organski N+NH <sub>4</sub> -N+NO <sub>2</sub> -N+NO <sub>3</sub> -N)	15 mg N/l (10 000 do 100 000 ES) 10 mg N/l (veće od 100 000 ES)	70

Načela i pristupi gospodarenja muljem s UPOV-a dani su u Okvirnoj direktivi o vodama (2000/60/EC) i Direktivi o otpadu (2008/98/EZ) Europskog parlamenta i Vijeća, iz kojih je proistekla ostala regulativa na razini EU i koja je postupno integrirana u hrvatske zakone i propise [10].

U nastavku je dan popis najvažnijih Direktiva EU, nacionalnih planskih dokumenata i regulative vezano uz obradu i zbrinjavanje mulja te kratak pregled najbitnijih navoda i zaključaka.

#### Direktive i Uredbe EU:

- Direktiva Vijeća Europe o pročišćavanju komunalnih otpadnih voda (91/271/EEZ)
- Direktiva Europskog parlamenta i Vijeća o uspostavi okvira za djelovanje Zajednice u području vodne politike (2000/60/EZ)
- Direktiva Vijeća Europe o zaštiti okoliša, posebno tla, kod upotrebe mulja iz uređaja za pročišćavanje otpadnih voda u poljoprivredi (86/278/EEZ)
- Direktiva Vijeća Europe o zaštiti voda od onečišćenja uzrokovanog nitratima iz poljoprivrednih izvora (91/676/EEZ)
- Direktiva Europskog parlamenta i Vijeća o uspostavi okvira za djelovanje Zajednice u području vodne politike (2000/60/EZ)
- Direktiva Europskog parlamenta i Vijeća o zaštiti podzemnih voda od onečišćenja i pogoršanja stanja (2006/118/EZ)
- Direktiva Europskog parlamenta i Vijeća o standardima kvalitete okoliša u području vodne politike (2008/105/EZ)
- Uredba (EZ) br. 1881/2006 o utvrđivanju najvećih dopuštenih količina određenih kontaminanata u hrani utvrđuje ograničenja kontaminanata u hrani uspostavom dobre poljoprivredne, ribarske i proizvodne prakse
- Uredba (EZ) br. 834/2007 o ekološkoj proizvodnji i označivanju ekoloških proizvoda i stavljanju izvan snage Uredbe (EEZ) br. 2092/91 utvrđuje uvjete održive ekološke proizvodnje
- Direktiva Europskog parlamenta i Vijeća o standardima kvalitete okoliša u području vodne politike (2008/105/EZ)
- Direktiva Europskog parlamenta i Vijeća o otpadu i stavljanju izvan snage određenih direktiva (2008/98/EZ)
- Direktiva Vijeća Europe o odlagalištima otpada (1999/31/EZ)
- Direktiva Europskog parlamenta i Vijeća o otpadu i stavljanju izvan snage određenih direktiva (2008/98/EZ) - „GUBITAK STATUSA OTPADA“

#### Nacionalni planski dokumenti i regulativa:

- Strategija upravljanja vodama (NN 91/08)
- Strategija gospodarenja otpadom (NN 130/05)
- Plan upravljanja vodnim područjima 2016.-2021. (NN 66/16)
- Plan gospodarenja otpadom Republike Hrvatske za razdoblje 2017.-2022. (NN 03/17, 1/22)

- Zakon o vodama (NN 66/19, 84/21)
- Zakon o vodnim uslugama (NN 66/19)
- Zakon o gospodarenju otpadom (NN 84/21)
- Pravilnik o gospodarenju otpadom (NN 81/20)
- Pravilnik o načinima i uvjetima odlaganja otpada, kategorijama i uvjetima rada za odlagališta otpada (NN 114/15, 103/18, 56/19)
- Pravilnik o gospodarenju muljem iz uređaja za pročišćavanje otpadnih voda kada se mulj koristi u poljoprivredi (NN 38/08)
- Pravilnik o termičkoj obradi otpada (NN 75/16)
- Pravilnik o nusproizvodima i ukidanju statusa otpada (NN 117/14)
- Pravilnik o zaštiti poljoprivrednog zemljišta od onečišćenja (NN 71/19)

Direktiva Vijeća Europe o pročišćavanju komunalnih otpadnih voda (91/271/EEZ) potiče postupno smanjenje odlaganja mulja nastalog pročišćavanjem otpadnih voda u površinske vode i korištenje recikliranog mulja na način da se minimiziraju štetni učinci na okoliš [17].

Direktiva Vijeća Europe o zaštiti okoliša, posebno tla, kod upotrebe mulja iz uređaja za pročišćavanje otpadnih voda u poljoprivredi (86/278/EEZ) zabranjuje korištenje mulja u poljoprivredi ukoliko koncentracije teških metala prelaze određene granične vrijednosti, ali ne postavlja ograničenja za organska onečišćenja. Iako poziva na korištenje obrađenog mulja, Direktiva ne specificira postupke obrade [33].

Direktiva Europskog parlamenta i Vijeća o spaljivanju otpada (2000/76/EZ) regulira otpad, uključujući otpadni mulj i tehnologiju spaljivanja, utvrđuje granične vrijednosti emisije za odabrane teške metale i kemijske spojeve. Granične vrijednosti postavljene su kako bi se spriječili i ograničili, koliko je to moguće, negativni učinci na okoliš i iz toga proizašli rizici za zdravlje ljudi [33].

Strategija upravljanja vodama (NN 91/08) na neki način potiče odlaganje mulja na odlagališta, no potrebno je napomenuti da Strategija datira iz 2008. godine te da prema Pravilniku o načinima i uvjetima odlaganja otpada, kategorijama i uvjetima rada za odlagališta otpada (NN 114/15, 103/18, 56/19) nije dozvoljeno odlaganje mulja na odlagalištima nakon 2018. godine [10].

Strategija gospodarenja otpadom (NN 130 /05) navodi aktivnosti za pojedine kategorije otpada i predviđa pojačanu izgradnju UPOV-a te samim time i povećane količine generiranog mulja koji je potrebno zbrinuti. Nudi više mogućnosti zbrinjavanja mulja, no naglasak je stavljen na termičku obradu i iskorištavanje mulja u poljoprivredi [10].

Plan upravljanja vodnim područjima 2016.-2021. (NN 66/16) se poziva na tehničko-ekonomsku studiju “Obrada i zbrinjavanje otpada i mulja generiranog pročišćavanjem otpadnih



voda na javnim sustavima odvodnje otpadnih voda gradova i općina u hrvatskim županijama''(Izrađivač: WYG International Ltd. (vodeći partner), 2013. godine, Naručitelj: Hrvatske vode), kojom je razrađen pristup zbrinjavanju mulja s UPOV-a. Studija razmatra niz potencijalnih varijanti zbrinjavanja mulja, a prednost daje varijanti s monospaljivanjem u regionalnim centrima (4 ili 5 na nivou RH) [27].

Plan gospodarenja otpadom Republike Hrvatske za razdoblje 2017.-2022. (NN 03/17, 1/22) navodi kako trenutno u RH nije uspostavljen odgovarajući sustav gospodarenja otpadnim muljem iz UPOV-a, no isti će se provesti kroz mjeru izrade Akcijskog plana za korištenje mulja iz uređaja za pročišćavanje otpadnih voda na pogodnim površinama [10] koji je izrađen 2020. godine i daje opće smjernice s prijedlozima za zbrinjavanje mulja na razini RH. Nadalje navodi kako je potrebno voditi računa o redu prvenstva gospodarenja otpadom te da je potrebno razmotriti materijalnu uporabu otpadnog mulja i primjenu na površinama pogodnima za primjenu mulja.

## **6. Analiza produkcije mulja i tehničko–tehnoloških rješenja obrade i zbrinjavanja mulja**

Cilj rada je analiza produkcije mulja na razini Međimurske i Varaždinske županije te analiza ekonomski prihvatljivih tehničko–tehnoloških rješenja obrade i zbrinjavanja mulja. Mjerodavan podatak za određivanje produkcije mulja bio je predviđeni kapacitet UPOV-a na području Međimurske i Varaždinske županije definiran u sklopu Plana upravlja vodnim područjima 2016.-2021. [27].

Analizom je obuhvaćeno 7 aglomeracija veličine veće od 2000 ekvivalent stanovnika (u daljnjem tekstu: ES) na području Međimurske županije (slika 19.):

- aglomeracija Čakovec (84.123 ES)
- aglomeracija Donja Dubrava (13.000 ES)
- aglomeracija Donji Kraljevec (9.000 ES)
- aglomeracija Mursko Središće (12.000 ES)
- aglomeracija Novo Selo na Dravi (5.000 ES)
- aglomeracija Podbrest (10.000 ES)
- aglomeracija Podturen (17.600 ES)

i 11 aglomeracija na području Varaždinske županije (slika 19.):

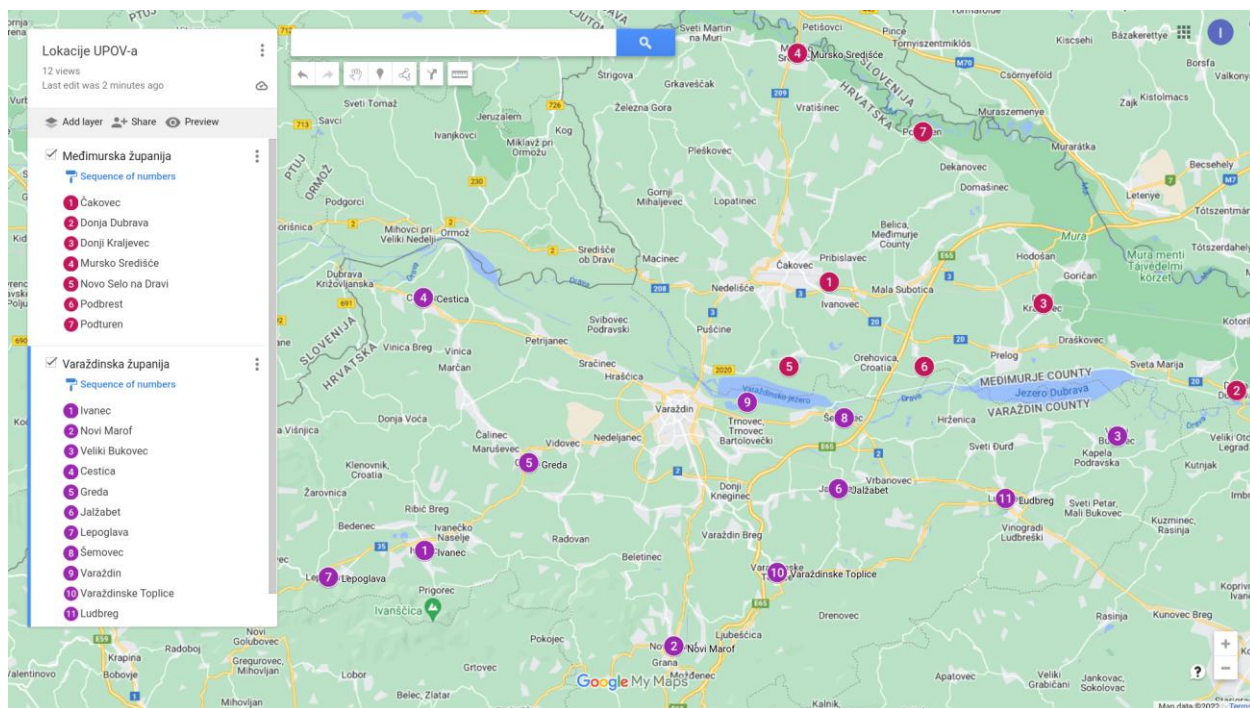
- aglomeracija Cestica (4.111 ES)
- aglomeracija Greda (5.162 ES)
- aglomeracija Ivanec (11.806 ES)
- aglomeracija Jalžabet (3.138 ES)
- aglomeracija Lepoglava (6.894 ES)
- aglomeracija Ludbreg (8.260 ES)
- aglomeracija Novi Marof (7.464 ES)
- aglomeracija Šemovec (2.254 ES)
- aglomeracija Varaždin (129.933 ES)
- aglomeracija Varaždinske Toplice (5.423 ES) i
- aglomeracija Veliki Bukovec (2.588 ES).

Aglomeracije Čakovec i Novo Selo na Dravi su u cijelosti izgrađene, dok su aglomeracije Mursko Središće i Donja Dubrava u izgradnji. Aglomeracije Podturen, Donji Kraljevec i Podbrest su

djelomično izgrađene te je u narednom periodu (od 2023. – 2026.) planirana njihova dogradnja i rekonstrukcija, a što uključuje i rekonstrukciju uređaja za pročišćavanje u Podturnu i Donjem Kraljevcu, odnosno izgradnju uređaja za pročišćavanje u Podbrestu [20].

Prema podacima Međimurskih voda d.o.o. na dan 31.12.2020. godine ukupna dužina izgrađene kanalizacijske mreže na cjelokupnom području Međimurja iznosi cca. 414 km. Javna odvodnja pruža se u ukupno 47 naselja Međimurske županije, ukupan broj priključaka domaćinstava i gospodarstva je cca. 20.000 i postotak priključenosti u naseljima gdje je izvedena kanalizacijska mreža iznosi 70% [20].

Otpadne vode pročišćavaju se na uređajima za pročišćavanje otpadnih voda u Čakovcu, Novom Selu na Dravi, Podturnu i Donjem Kraljevcu dok su uređaji za pročišćavanje otpadnih voda u Donjoj Dubravi i Murskom Središću trenutno u postupku izgradnje. Uređaj za pročišćavanje Podbrest je predviđen za izgradnju kao sastavni dio planirane aglomeracije Podbrest [20].



Slika 19: Karta Međimurske i Varaždinske županije s prikazom UPOV-a svih planiranih aglomeracija veličine preko 2000 ES [20]

Obzirom da je produkcija mulja izračunata prema podacima iz Plana upravljanja vodnim područjima 2016-2021. godine [27] područje Varaždinske županije obuhvaća 11 aglomeracija veličine veće od 2000 ES. Prema podacima naknadno dobivenim od strane poduzeća Varkom d.o.o. predviđena je gradnja/rekonstrukcija 8 aglomeracija veličine veće od 2000 ES na području Varaždinske županije:

- aglomeracija Ivanec (11.806 ES)
- aglomeracija Jalžabet (3.138 ES)
- aglomeracija Lepoglava (6.894 ES)
- aglomeracija Ludbreg (8.260 ES)
- aglomeracija Novi Marof (7.464 ES)
- aglomeracija Varaždin (129.933 ES)
- aglomeracija Varaždinske Toplice (5.423 ES) i
- aglomeracija Veliki Bukovec (2.588 ES),

dok su aglomeracije Cestica i Greda pridružene aglomeraciji Varaždin, a naselja aglomeracije Šemovec će se spojiti na UPOV aglomeracije Varaždin. Pridruživanjem obližnjim aglomeracijama ne mijenja se ukupni broj ES, samim time ni količina generiranog mulja, pa prema tome nije potrebno mijenjati proračun produkcije mulja prema podacima o izgradnji aglomeracija dobivenim od poduzeća Varkom d.o.o. za područje Varaždinske županije, već su podaci iz Plana upravljanja vodnim područjima 2016-2021. godine [27] uzeti kao relevantni.

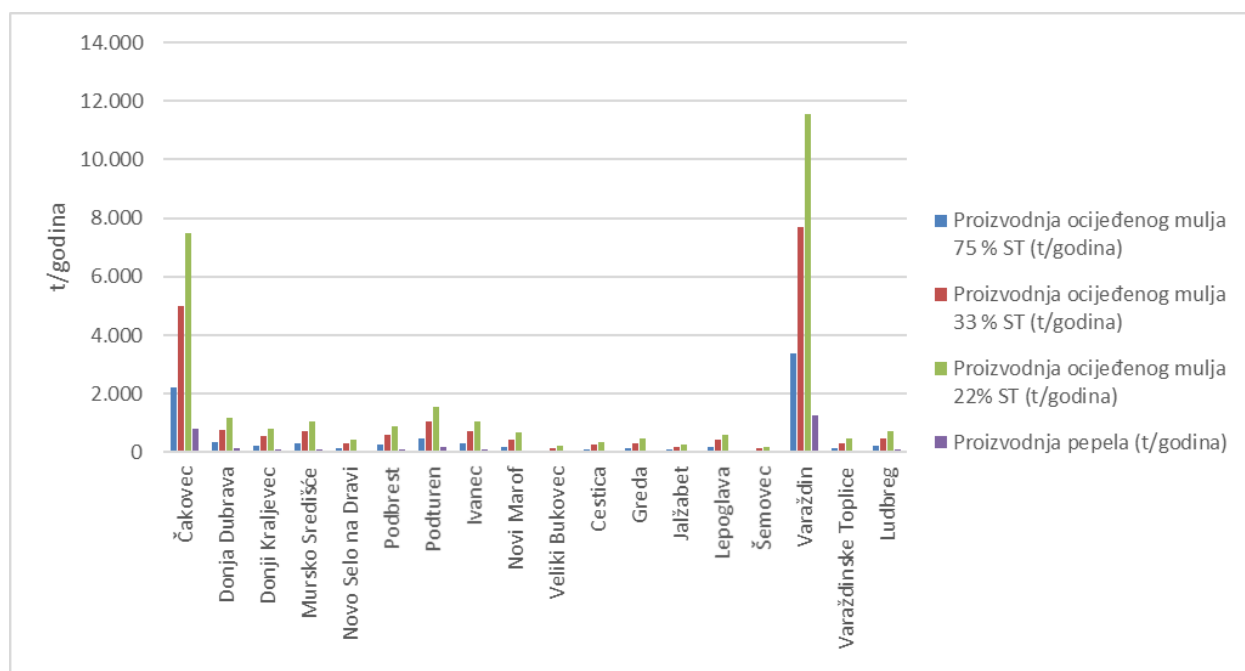
## **6.1. Troškovna analiza**

U nastavku rada iznijet će se troškovna analiza varijantnih rješenja odrade mulja. Za razmatrane UPOV-e izračunate su količine generiranog mulja, kao i proizvodnja dehidriranog mulja s 23 i 33 % ST te količine generiranog mulja u slučaju solarnog sušenja do 75 % ST (tablica 7.). Proračunata je i proizvodnja pepela (t godišnje) u slučaju da se cjelokupni mulj spaljuje u centralnoj monospalionici (tablica 7.). Polazna točka za određivanje produkcije mulja bio je predviđeni kapacitet izgrađenih i planiranih uređaja za pročišćavanje otpadnih voda. Kapaciteti UPOV-a koji su razmatrani preuzeti su kao planirani kapaciteti predviđenih aglomeracija iz Plana upravljanja vodnim područjima 2016-2021. godine, korigirani prema podacima dobivenim od tvrtke Međimurske vode d.o.o. Podaci o jediničnim troškovima solarnog sušenja, prijevoza dehidriranog i osušenog mulja, uzorkovanja i analiza mulja te transakcijskih troškova i premija poljoprivrednicima kod zbrinjavanja u poljoprivredi, podaci o troškovima kompostiranja i ozemljavanja mulja, jediničnim troškovima spaljivanja mulja i zbrinjavanja pepela u monospalionicama kao i troškovi zbrinjavanja mulja izvan granica Hrvatske preuzeti su iz Akcijskog plana [10] i u određenoj mjeri korigirani obzirom na trenutno stanje i kretanje cijena na tržištu.

Tablica 7: Prikaz količina generiranog mulja, dehidriranog mulja s 23 i 33 % ST, generiranog mulja u slučaju solarnog sušenja do 75 % ST i količina pepela u slučaju spaljivanja mulja

Aglomeracija	ES	Proizvodnja mulja	Proizvodnja ocijedenog mulja			Proizvodnja pepela
			75 % ST	33 % ST	22% ST	
		t ST/godina	t/godina			t/godina
Čakovec	84.123	1.647	2.196	4.990	7.485	815
Donja Dubrava	13.000	254	339	771	1.157	126
Donji Kraljevec	9.000	176	235	534	801	87
Mursko Središće	12.000	235	313	712	1.068	116
Novo Selo na Dravi	5.000	98	130	297	445	48
Podbrest	10.000	196	261	593	890	97
Podturen	17.600	345	459	1.044	1.566	170
Ivanec	11.806	231	308	700	1.050	114
Novi Marof	7.464	146	195	443	664	72
Veliki Bukovec	2.588	51	68	154	230	25
Cestica	4.111	80	107	244	366	40
Greda	5.162	101	135	306	459	50
Jalžabet	3.138	61	82	186	279	30
Lepoglava	6.894	135	180	409	613	67
Šemovec	2.254	44	59	134	201	22
Varaždin	129.933	2.543	3.391	7.707	11.561	1.258
Varaždinske Toplice	5.423	106	142	322	483	53
Ludbreg	8.260	162	216	490	735	80
<b>UKUPNO:</b>	<b>337.756</b>	<b>6.611</b>	<b>8.815</b>	<b>20.034</b>	<b>30.052</b>	<b>3.271</b>

Ukupna količina generiranog dehidriranog mulja s 22% i 33% ST, generiranog osušenog mulja u slučaju solarnog sušenja do 75 % ST i količina pepela prikazane su i grafički (slika 20.)



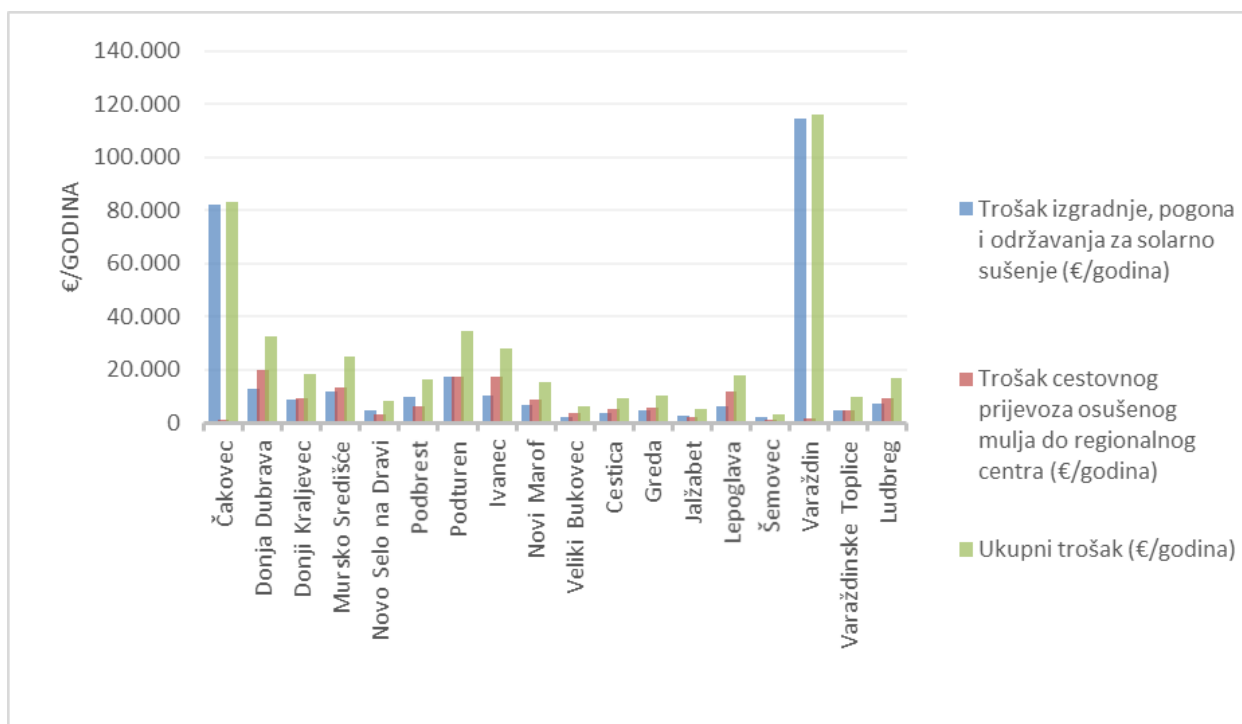
Slika 20: Grafički prikaz generiranog mulja s 22%, 33% i 75% ST i pepela

U konkretnom slučaju najisplativije se, već provedbom preliminarnih analiza, pokazalo graditi postrojenja za sušenje mulja na ukupno 2 lokacije. Lokacija UPOV-a Čakovec izabrana je kao lokacija centralnog pogona za solarno sušenje mulja na području Međimurske županije, a lokacija UPOV-a Varaždin kao lokacija centralnog pogona za solarno sušenje mulja na području Varaždinske županije, obzirom da takav pristup rezultira nižom jediničnom cijenom obrade mulja. Proračunati troškovi solarnog sušenja mulja uključuju trošak izgradnje, pogona, održavanja i amortizacije uređaja za solarno sušenje mulja te trošak cestovnog prijevoza dehidriranog mulja od pojedinih UPOV-a do regionalnog centra (u Čakovcu ili Varaždinu) što je prikazano tablicom 8. Trošak izgradnje, pogona i održavanja postrojenja za solarno sušenje procijenjen je na 50 €/t ST za regionalni centar Čakovec obzirom na kapacitet > 125.000 ES, te na 45 €/t ST za regionalni centar Varaždin kapaciteta > 175.000 ES.

Tablica 8: Trošak izgradnje i održavanja pogona za solarno sušenje u Čakovcu i Varaždinu s uključenim troškovima cestovnog prijevoza osušenog mulja

Agglomeracija	Trošak izgradnje, pogona i održavanja za solarno sušenje		Regionalni centar	Udaljenost od regionalnog centra	Trošak cestovnog prijevoza osušenog mulja do regionalnog centra		UKUPNI TROŠAK
	€/tST	€/godina			€/t-km	€/godina	
Čakovec	50	82.333	Čakovec	0,2	0,65	973	83.306
Donja Dubrava	50	12.723		33	0,52	19.848	32.572
Donji Kraljevec	50	8.808		19	0,62	9.395	18.204
Mursko Središće	50	11.745		20	0,62	13.186	24.931
Novo Selo na Dravi	50	4.894		11	0,65	3.181	8.074
Podbrest	50	9.787		11	0,65	6.362	16.149
Podturen	50	17.225		18	0,62	17.406	34.631
Ivanec	45	10.399		Varaždin	30	0,55	17.411
Novi Marof	45	6.575	22		0,59	8.547	15.122
Veliki Bukovec	45	2.280	30		0,55	3.817	6.096
Cestica	45	3.621	25		0,59	5.349	8.971
Greda	45	4.547	20		0,62	5.672	10.219
Jalžabet	45	2.764	12		0,65	2.178	4.942
Lepoglava	45	6.073	40		0,49	11.961	18.034
Šemovec	45	1.985	8		0,65	1.043	3.028
Varaždin	45	114.451	0,2		0,65	1.503	115.954
Varaždinske Toplice	45	4.777	16		0,62	4.767	9.544
Ludbreg	45	7.276	22		0,59	9.459	16.734
<b>UKUPNO:</b>		<b>312.263</b>				<b>142.057</b>	<b>454.321</b>

Slika 21. prikazuje trošak izgradnje i održavanja pogona za solarno sušenje i trošak cestovnog prijevoza osušenog mulja do regionalnog centra u odnosu na ukupni trošak solarnog sušenja mulja.



Slika 21: Grafički prikaz troškova solarnog sušenja mulja

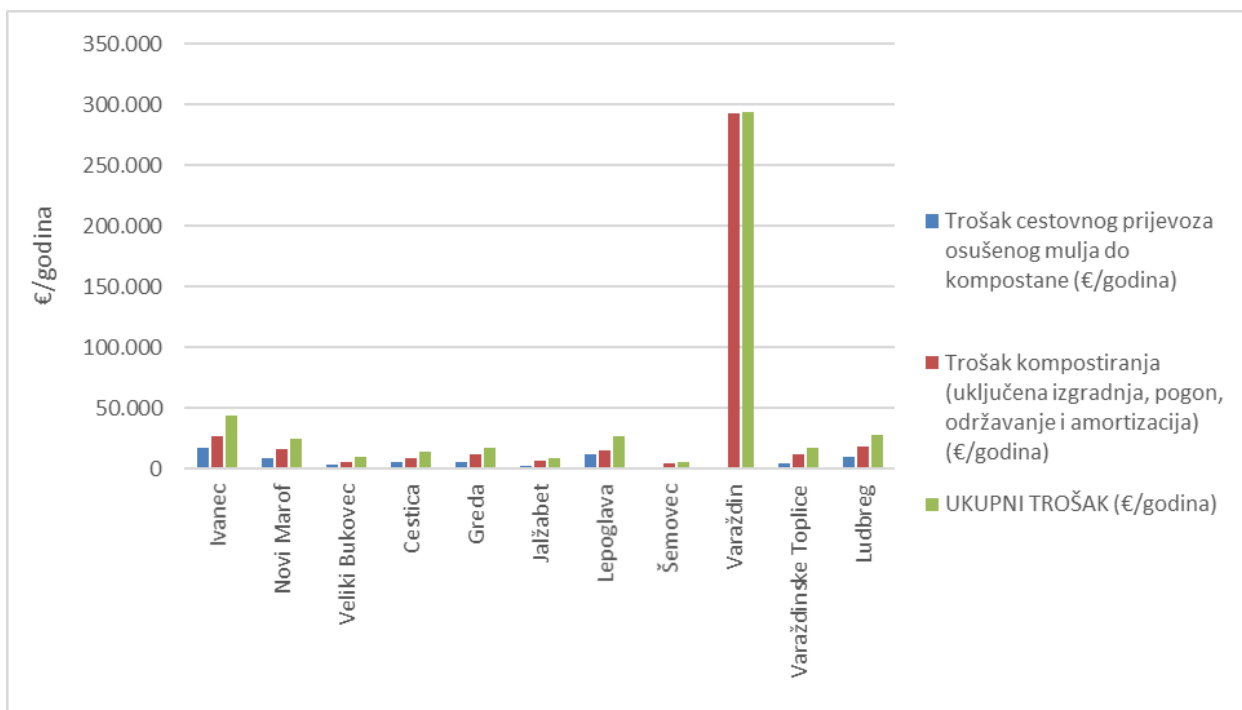
Varijanta koja obuhvaća kompostiranje mulja na području Varaždinske županije i ozemljavanje mulja na poljima za ozemljavanje Međimurske županije podrazumijeva izgradnju kompostane u Varaždinu i dovoz mulja s manjih UPOV-a na području Varaždinske županije u kompostanu te izgradnju polja za ozemljavanje u Čakovcu i dovoz mulja s manjih UPOV-a na području Međimurske županije na polja u sklopu UPOV-a Čakovec. Ukupni trošak uključuje izgradnju, pogon, održavanje i amortizaciju kompostane u Varaždinu i trošak cestovnog prijevoza osušenog mulja s manjih UPOV-a u kompostanu te trošak izgradnje, pražnjenja polja, odvoza mulja, troškove uzorkovanja i trošak cestovnog prijevoza mulja s manjih UPOV-a do polja za ozemljavanje (tablica 9.). Varijanta je u stvarnosti provedena izgradnjom polja za ozemljavanje u Čakovcu i kompostane u Varaždinu i uključuje prihvata mulja s manjih UPOV-a na području Međimurske, odnosno Varaždinske županije, no ne isključuje mogućnost da će neki od manjih UPOV-a donijeti zasebno rješenje za zbrinjavanje mulja. Mulj koji se dovozi s manjih UPOV-a na polja za ozemljavanje u Čakovcu je prethodno zgusnut i stabiliziran i sadrži 3% ST kako bi se osigurala dobra raspodjela tekućeg (nedehidriranog) mulja po cijeloj površini sloja.



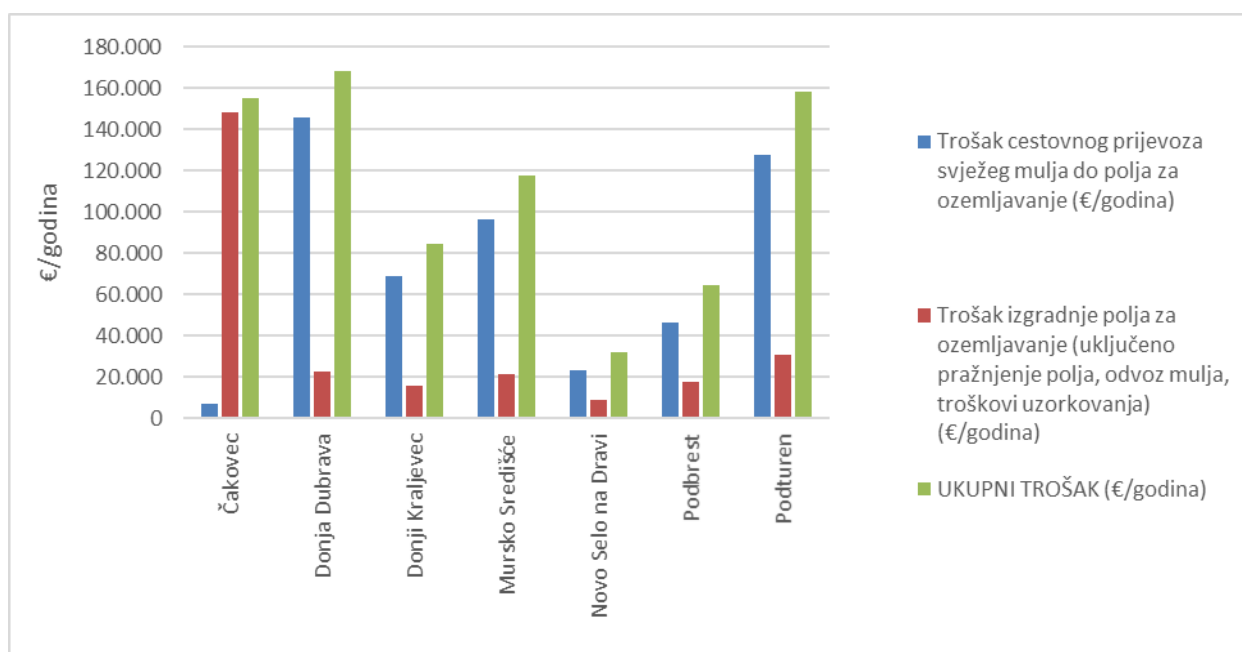
Tablica 9: Ukupni trošak kompostiranja mulja na području Varaždinske županije i ozemljavanje na poljima na području Međimurske županije

Agglomeracija	Udaljenost od kompostane	Trošak cestovnog prijevoza osušenog mulja do kompostane		Trošak kompostiranja (uključena izgradnja, pogon, održavanje i amortizacija)		UKUPNI TROŠAK
	km	€/t-km	€/godina	€/tST	€/godina	€/godina
Ivanec	30	0,55	17.411	115	26.576	43.987
Novi Marof	22	0,59	8.547	115	16.802	25.349
Veliki Bukovec	30	0,55	3.817	115	5.826	9.642
Cestica	25	0,59	5.349	115	9.254	14.604
Greda	20	0,62	5.672	115	11.620	17.292
Jalžabet	12	0,65	2.178	115	7.064	9.242
Lepoglava	40	0,49	11.961	115	15.519	27.480
Šemovec	8	0,65	1.043	115	5.074	6.117
Varaždin	0	0,65	1.503	115	292.486	293.989
Varaždinske Toplice	16	0,62	4.767	115	12.207	16.975
Ludbreg	22	0,59	9.459	115	18.594	28.052
<b>UKUPNO 1:</b>			<b>71.707</b>		<b>421.022</b>	<b>492.728</b>
Agglomeracija	Udaljenost od polja za ozemljavanje	Trošak cestovnog prijevoza svježeg mulja do polja za ozemljavanje		Trošak izgradnje polja za ozemljavanje (uključeno pražnjenje polja, odvoz mulja, troškovi uzorkovanja)		UKUPNI TROŠAK
	km	€/t-km	€/godina	€/tST	€/godina	€/godina
Čakovec	0,2	0,65	7.136	90	148.199	155.335
Donja Dubrava	33,0	0,52	145.555	90	22.902	168.457
Donji Kraljevec	19,0	0,62	68.897	90	15.855	84.752
Mursko Središće	20,0	0,62	96.698	90	21.140	117.838
Novo Selo na Dravi	11,0	0,65	23.326	90	8.808	32.135
Podbrest	11,0	0,65	46.652	90	17.617	64.269
Podturen	18,0	0,62	127.641	90	31.006	158.647
<b>UKUPNO 2:</b>			<b>515.905</b>		<b>265.528</b>	<b>781.433</b>
<b>SVEUKUPNO (1+2):</b>						<b>1.274.161</b>

Prikaz troškova varijante koja obuhvaća kompostiranje mulja na području Varaždinske županije i ozemljavanje mulja na poljima Međimurske županije dan je slikama 22. i 23.



Slika 22: Grafički prikaz troškova kompostiranja



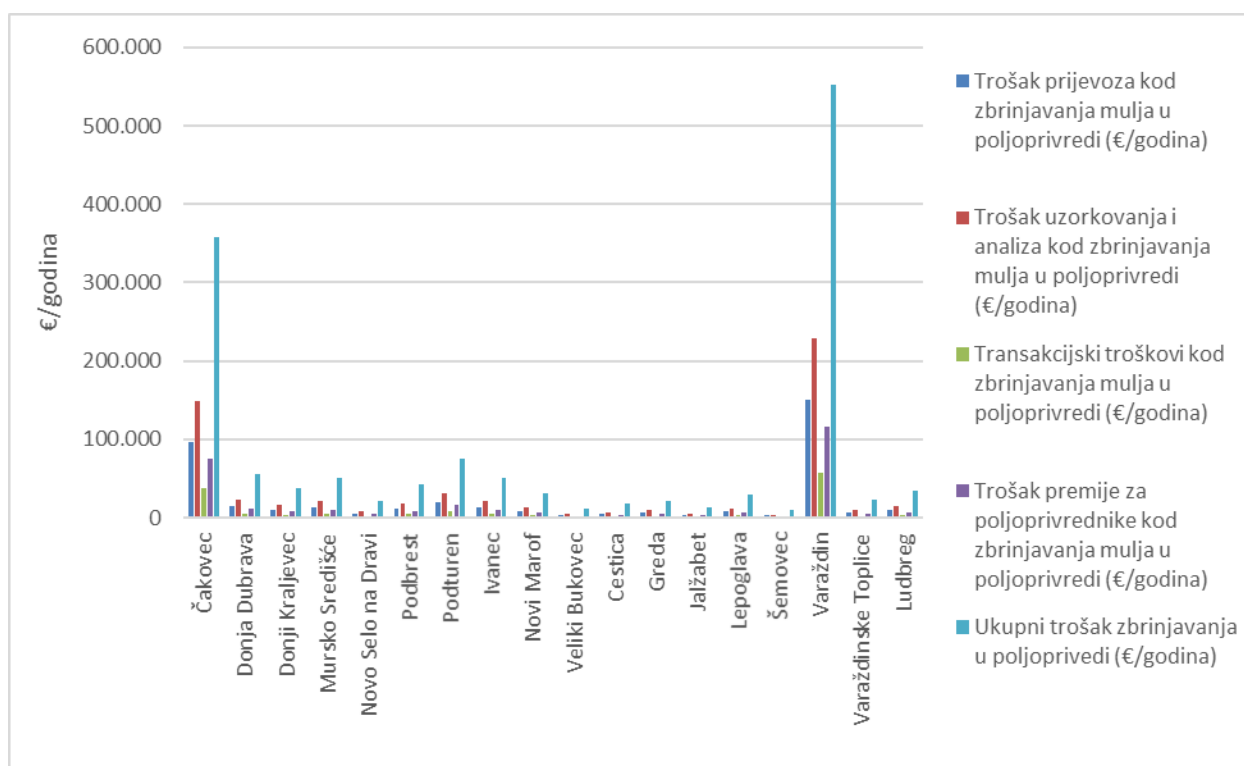
Slika 23: Grafički prikaz troškova ozemljavanja mulja

Varijanta sa zbrinjavanjem mulja u poljoprivredi uključuje trošak prijevoza osušenog mulja na poljoprivredne površine bez ikakvih restrikcija, koje se nalaze u krugu do 50 km od bilo kojeg od razmatranih UPOV-a (13 €/t u krugu od 10-50 km), trošak uzorkovanja i analiza (koji je za potrebe ove analize pretpostavljen na 90 €/t osušenog mulja), transakcijske troškove (5 €/t osušenog mulja) i trošak premije za poljoprivrednike (10 €/t osušenog mulja), što je prikazano tablicom 10.

Tablica 10: Trošak prijevoza osušenog mulja, uzorkovanja i analiza, transakcijski troškovi i trošak premije za poljoprivrednike kod zbrinjavanja mulja u poljoprivredi

Agglomeracija	Trošak prijevoza osušenog mulja kod zbrinjavanja u poljoprivredi		Trošak uzorkovanja i analiza kod zbrinjavanja mulja u poljoprivredi		Transakcijski troškovi kod zbrinjavanja mulja u poljoprivredi	Trošak premije za poljoprivrednike kod zbrinjavanja mulja u poljoprivredi	UKUPAN TROŠAK
	€/t	€/godina	€/tST	€/godina			€/t
	10-50 km						
Čakovec	13	97.302	90	148.199	5	10	357.774
Donja Dubrava	13	15.037	90	22.902	5	10	55.289
Donji Kraljevec	13	10.410	90	15.855	5	10	38.277
Mursko Središće	13	13.880	90	21.140	5	10	51.036
Novo Selo na Dravi	13	5.783	90	8.808	5	10	21.265
Podbrest	13	11.567	90	17.617	5	10	42.530
Podturen	13	20.357	90	31.006	5	10	74.853
Ivanec	13	13.656	90	20.799	5	10	50.211
Novi Marof	13	8.633	90	13.149	5	10	31.744
Veliki Bukovec	13	2.993	90	4.559	5	10	11.007
Cestica	13	4.755	90	7.242	5	10	17.484
Greda	13	5.971	90	9.094	5	10	21.954
Jalžabet	13	3.630	90	5.528	5	10	13.346
Lepoglava	13	7.974	90	12.145	5	10	29.320
Šemovec	13	2.607	90	3.971	5	10	9.586
Varaždin	13	150.290	90	228.902	5	10	552.603
Varaždinske Toplice	13	6.273	90	9.554	5	10	23.064
Ludbreg	13	9.554	90	14.552	5	10	35.130
<b>UKUPNO:</b>		<b>390.672</b>		<b>595.023</b>			<b>1.436.471</b>

Slika 24. prikazuje troškove prijevoza osušenog mulja, uzorkovanja i analiza, transakcijskih troškova i troška premije za poljoprivrednike kod zbrinjavanja mulja u poljoprivredi u odnosu na ukupni trošak.



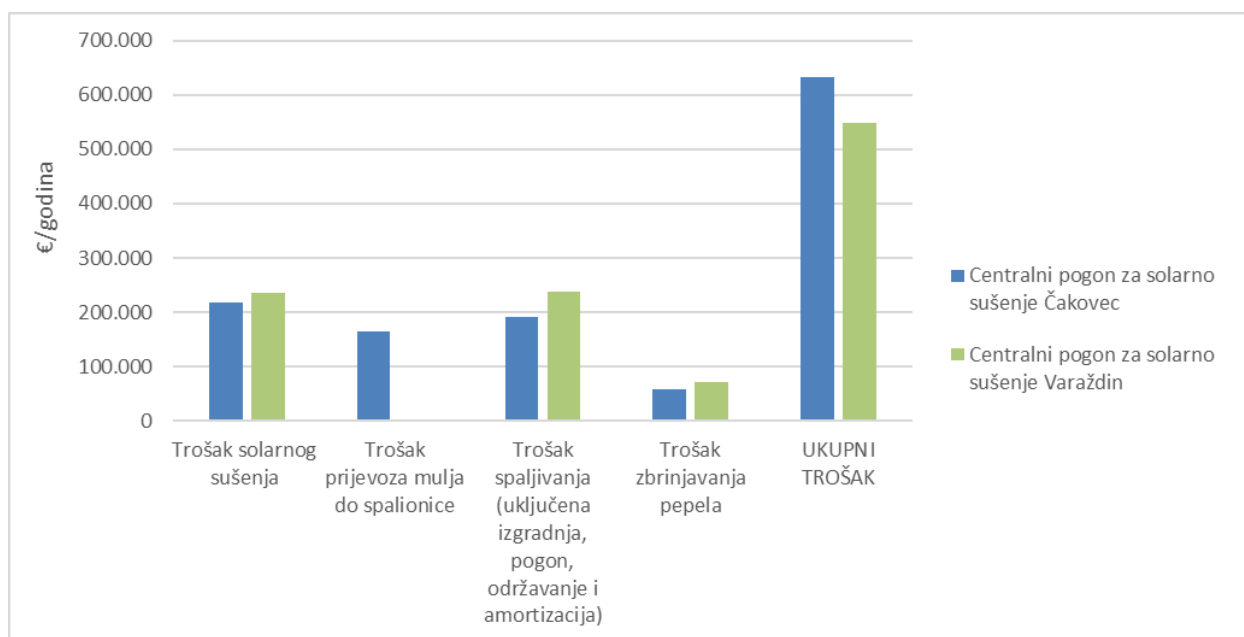
Slika 24: Grafički prikaz troškova prijevoza osušenog mulja, uzorkovanja i analiza, transakcijskih troškova i troška premije za poljoprivrednike kod zbrinjavanja mulja u poljoprivredi u odnosu na ukupni trošak

Varijanta sa spaljivanjem mulja u monospalionici podrazumijeva izgradnju monospalionice uz UPOV u Varaždinu i dovoz osušenog mulja iz centralnih pogona za solarno sušenje mulja u Čakovcu i Varaždinu u monospalionicu. Centralni pogon za solarno sušenje u Čakovcu udaljen je 21 km od lokacije monospalionice, a pogon za solarno sušenje u Varaždinu predviđen je u neposrednoj blizini UPOV-a u Varaždinu i same monospalionice. Trošak spaljivanja u monospalionici uključuje trošak solarnog sušenja mulja, trošak prijevoza mulja iz centralnih pogona za solarno sušenje mulja u monospalionicu, trošak izgradnje, pogona, održavanja i amortizacije monospalionice (pretpostavljena jedinična cijena spaljivanja u iznosu 65 €/t ST) i trošak zbrinjavanja pepela (tablica 11.) uz pretpostavku da će se pepeo odložiti na uređeno odlagalište neopasnog otpada, u blizini monospalionice.

Tablica 11: Trošak solarnog sušenja, prijevoza mulja do spalionice, izgradnje, pogona, održavanja i amortizacije spalionice i trošak zbrinjavanja pepela

Aglomeracija	Trošak solarnog sušenja	Trošak prijevoza mulja do spalionice	Masa mulja koji se spaljuje	Trošak spaljivanja (uključena izgradnja, pogon, održavanje i amortizacija)		Proizvodnja pepela	Trošak zbrinjavanja pepela		UKUPNI TROŠAK
	€/godina	€/godina	tST/godina	€/tST	€/godina	t/godina	€/t	€/godina	€/godina
Čakovec	217.866	164.748	2.950	65	191.770	1.460	40	58.381	632.765
Donja Dubrava									
Donji Kraljevec									
Mursko Središće									
Novo Selo na Dravi									
Podbrest									
Podturen									
Ivanec	236.454	2.163	3.661	65	237.969	1.811	40	72.445	549.032
Novi Marof									
Veliki Bukovec									
Cestica									
Greda									
Jalžabet									
Lepoglava									
Šemovec									
Varaždin									
Varaždinske Toplice									
Ludbreg									
<b>UKUPNO:</b>	<b>454.321</b>	<b>166.911</b>	<b>6.611</b>		<b>429.739</b>	<b>3.271</b>		<b>130.826</b>	<b>1.181.797</b>

Troškovi solarnog sušenja, prijevoza mulja do spalionice, izgradnje, pogona, održavanja i amortizacije spalionice i trošak zbrinjavanja pepela u odnosu na ukupni trošak prikazani su na slici 25.



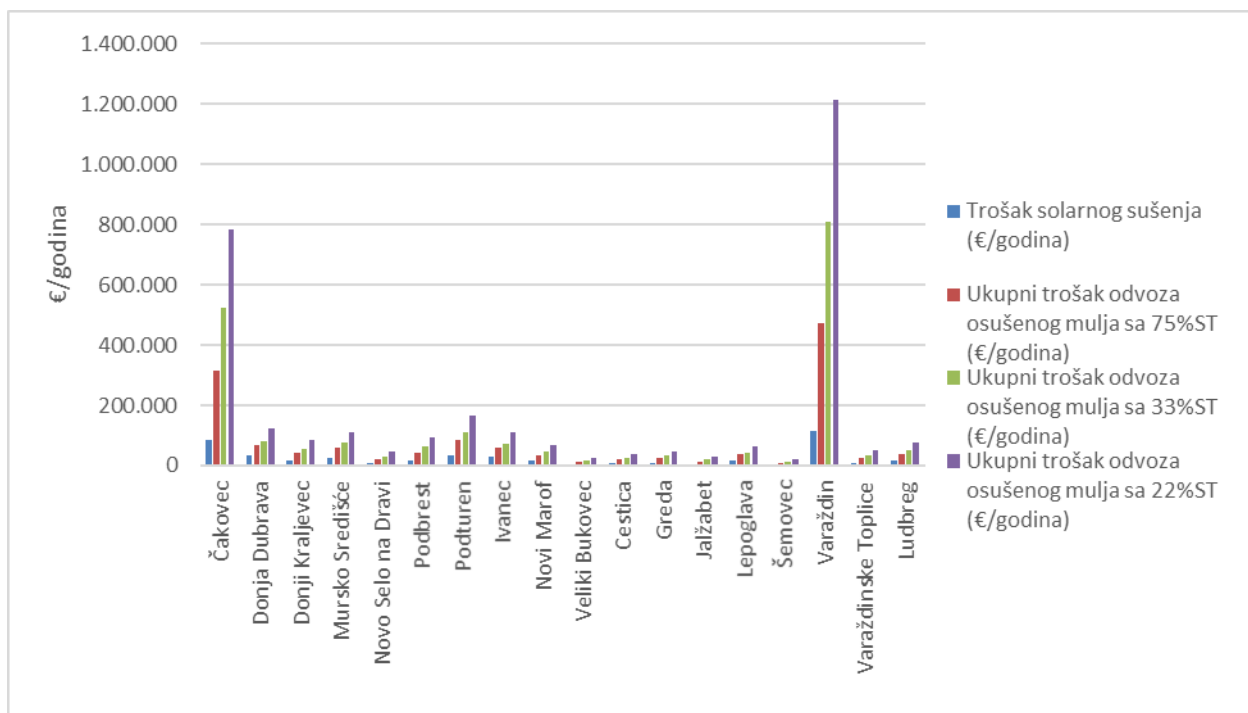
Slika 25: Grafički prikaz troškova solarnog sušenja, prijevoza mulja do spalionice, izgradnje, pogona, održavanja i amortizacije spalionice i trošak zbrinjavanja pepela u odnosu na ukupni trošak

Varijantno rješenje sa zbrinjavanjem mulja izvan granica Hrvatske pretpostavlja da će određena pravna osoba preuzimati osušene muljeve (75 % ST) s predviđene 2 lokacije postrojenja za solarno sušenje mulja te ih odvoziti i zbrinjavati u Mađarskoj. Uračunat je trošak solarnog sušenja mulja i trošak isplate pravnoj osobi koji uključuje trošak prijevoza i zbrinjavanja mulja izvan Hrvatske (tablica 12.). Obzirom da stavka prijevoza predstavlja najznačajniju komponentu konačne cijene, rješenja s odvozom dehidriranog mulja kojima su isključeni troškovi solarnog sušenja mulja (mulj s 22% i 33% ST) nisu ekonomski prihvatljiva budući bi značajno veće ukupne količine mulja zahtijevale prijevoz na značajnim udaljenostima što bi rezultiralo neopravdano visokim troškovima.

Tablica 12: Trošak solarnog sušenja mulja i ukupni trošak odvoza mulja obzirom na sadržaj ST

Aglomeracija	Trošak solarnog sušenja	Isplata pravnoj osobi koji odvozi i zbrinjava mulja izvan granica Hrvatske	Ukupni trošak odvoza osušenog mulja sa 75%ST	Ukupni trošak odvoza osušenog mulja s 33%ST	Ukupni trošak odvoza osušenog mulja s 22%ST
	€/godina	€/t	€/godina	€/godina	€/godina
Čakovec	83.306	105	313.838	523.936	785.905
Donja Dubrava	32.572	105	68.197	80.967	121.450
Donji Kraljevec	18.204	105	42.867	56.054	84.081
Mursko Središće	24.931	105	57.816	74.739	112.108
Novo Selo na Dravi	8.074	105	21.777	31.141	46.712
Podbrest	16.149	105	43.553	62.282	93.423
Podturen	34.631	105	82.862	109.617	164.425
Ivanec	27.810	105	60.164	73.530	110.296
Novi Marof	15.122	105	35.576	46.487	69.731
Veliki Bukovec	6.096	105	13.188	16.119	24.178
Cestica	8.971	105	20.236	25.604	38.406
Greda	10.219	105	24.365	32.150	48.225
Jalžabet	4.942	105	13.541	19.544	29.316
Lepoglava	18.034	105	36.926	42.937	64.406
Šemovec	3.028	105	9.205	14.038	21.058
Varaždin	115.954	105	472.025	809.251	1.213.877
Varaždinske Toplice	9.544	105	24.405	33.776	50.663
Ludbreg	16.734	105	39.370	51.445	77.168
<b>UKUPNO:</b>	<b>312.263</b>		<b>1.379.913</b>	<b>2.103.618</b>	<b>3.155.427</b>

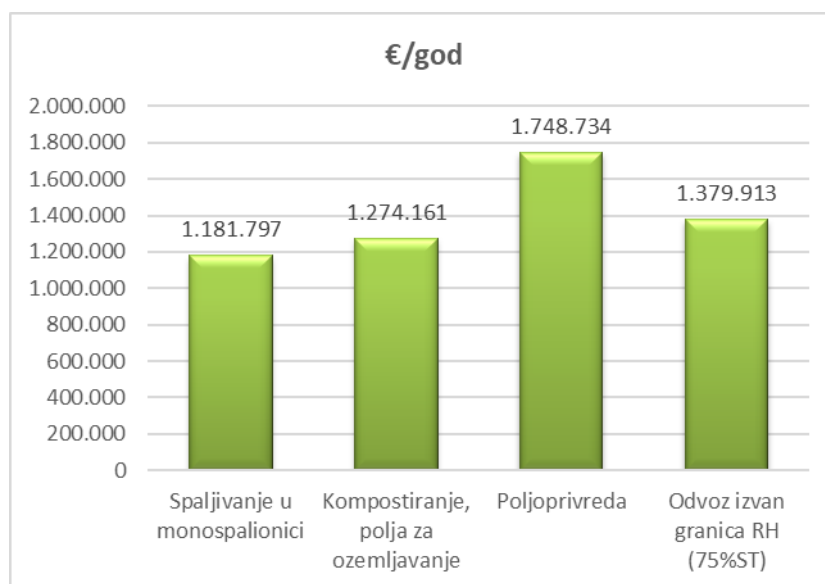
Trošak solarnog sušenja mulja i ukupni trošak odvoza mulja s obzirom na sadržaj ST grafički je prikazan slikom 26.



Slika 26: Grafički prikaz troškova solarnog sušenja i ukupnog troška odvoza i zbrinjavanja mulja s obzirom na sadržaj ST

Temeljem provedenih analiza za opisane četiri varijante (slika 27.) na području Međimurske i Varaždinske županije vidljivo je da spaljivanje mulja u regionalnoj monospalionici predstavlja ekonomski najpovoljnije rješenje i ukupni trošak iznosi 1.18 milijuna €/godišnje. Na drugom mjestu, neznatno skuplja, je varijanta s ozemljavanjem mulja na području Međimurske županije i kompostiranjem mulja na području Varaždinske županije, skuplja 7.81% od varijante sa spaljivanjem mulja u monospalionici. Iako varijanta sa zbrinjavanjem mulja u poljoprivredi ispada ekonomski najnepovoljnija (47.97% skuplja od varijante sa spaljivanjem), uz donošenje racionalnije zakonske regulative, odnosno smanjenjem troškova uzorkovanja i analiza mulja i tla može se očekivati i njezina bolja ekonomska isplativost. Odvoz mulja izvan Hrvatske, iako troškovno prihvatljivija varijanta od upotrebe obrađenog mulja na poljoprivrednim površinama (16.76% skuplja od varijante sa spaljivanjem), ne predstavlja povoljno rješenje. Opravdano ga je koristiti tek kao privremeno rješenje do uspostave odgovarajućeg sustava gospodarenja muljem u predmetnoj regiji.





*Slika 27: Ukupni troškovi zbrinjavanja mulja po razmatranim varijantama na području Međimurske i Varaždinske županije*

Obzirom da su troškovi u analizama zbrinjavanja mulja promjenjivog karaktera nužno je provođenje dodatnih analiza rizika koje uključuju promjenu vrijednosti pojedinačnih jediničnih troškova. U nastavku su prikazani rezultati analize ekonomskih rizika kojom se daje naznaka mogućih raspona ukupnih troškova za odabrane varijante zbrinjavanja mulja ovisno o odabranim ulaznim parametrima. Trošak solarnog sušenja, troškovi uzorkovanja i analize mulja i tla te troškovi prijevoza kada se mulj koristi u poljoprivredi, trošak premije za poljoprivrednike, ukupni trošak spaljivanja, troškovi kompostiranja i polja za ozemljavanje te ukupni trošak izvoza mulja izvan države odabrani su kao varijabilni ulazni parametri.

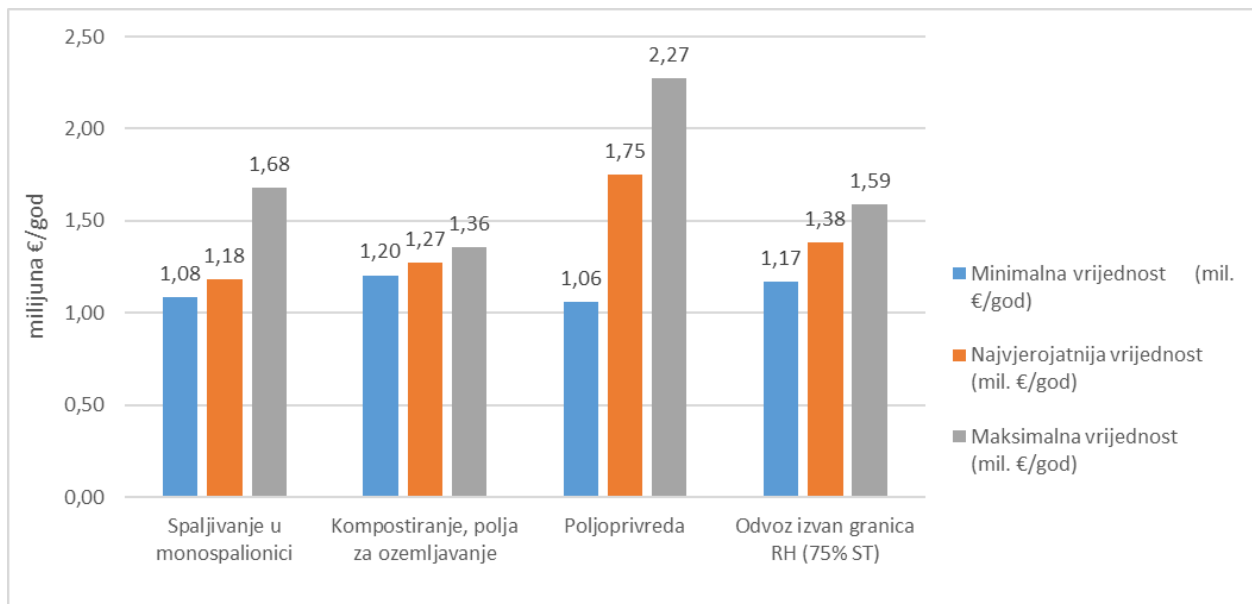
Minimalne, maksimalne i najvjerojatnije vrijednosti (tablica 13.) definirane su na temelju prikupljene literature i do sada provedenih istraživanja i analiza te na temelju stvarnih podataka koji su relevantni za analizirano područje.

Rasponi ukupnih troškova za svaku od odabranih varijanti odlaganja mulja prikazani su na slici 28.

Tablica 13: Rasponi jediničnih troškova varijabilnih ulaznih parametara

Parametar	Minimalna vrijednost	Najvjerojatnija vrijednost	Maksimalna vrijednost
Trošak solarnog sušenja	40-45 €/t ST*	45-50 €/t ST*	50-55 €/t ST*
Troškovi uzorkovanja i analize mulja i tla kada se mulj koristi u poljoprivredi	50 €/t ST	90 €/t ST	110 €/t ST
Premija poljoprivrednicima	0 €/t	10 €/t	15 €/t
Trošak prijevoza osušenog mulja kada se mulj koristi u poljoprivredi	10 €/t	13 €/t	20 €/t
Trošak spaljivanja	60 €/t ST	65 €/t ST	130 €/t ST
Trošak zbrinjavanja pepela	30 €/t	40 €/t	50 €/t
Ukupni trošak odvoza mulja i odlaganje izvan zemlje	85 €/t	105 €/t	125 €/t
Trošak polja za ozemljavanje mulja	85 €/t ST	90 €/t ST	105 €/t ST
Trošak kompostiranja	100 €/t ST	115 €/t ST	125 €/t ST

\* Trošak izgradnje, pogona i održavanja postrojenja za solarno sušenje procijenjen je na 50 €/t ST (minimalni procijenjeni trošak iznosi 45 €/t ST, a maksimalni 55 €/t ST) za regionalni centar Čakovec obzirom na kapacitet > 125000 ES, te na 45 €/t ST (minimalni procijenjeni trošak iznosi 40 €/t ST, a maksimalni 50 €/t ST) za regionalni centar Varaždin kapaciteta > 175000 ES



Slika 28: Mogući rasponi ukupnih troškova za svaku od odabranih varijanti odlaganja mulja

Iako varijanta koja uključuje spaljivanje mulja u monospalionici provedbom analize koja uzima u obzir najvjerojatniju vrijednost jediničnog troška (65 €/t ST) predstavlja ekonomski najpovoljniju varijantu, ona može biti i relativno nepovoljna u odnosu na ostale razmatrane varijante uzme li se u obzir maksimalna vrijednost jediničnog troška izgradnje, pogona, održavanja i amortizacije monospalionice (130 €/t ST). Troškovi koji uključuju izgradnju, pogon, održavanje i amortizaciju postojećih monospalionica na području EU znatno variraju, no pretpostavljena vrijednost nalazi se u rasponu minimalnog i maksimalnog troška već izgrađenih monospalionica te se smatra najrealnijom procjenom za predmetno područje. Predviđena minimalna vrijednost jediničnog troška spaljivanja mulja u monospalionici iznosi 60 €/t ST i odstupa 7,69 % od najvjerojatnije vrijednosti jediničnog troška, dok odstupanje maksimalne vrijednosti u odnosu na najvjerojatniju vrijednost jediničnog troška iznosi 100 % što potvrđuje spomenuta znatna variranja u dosadašnjim troškovima izgradnje. U istoj varijanti, ali za trošak zbrinjavanja pepela, odstupanje minimalne (30 €/t) i maksimalne vrijednosti (50 €/t) u odnosu na najvjerojatniju (40 €/t) je 25 %.

Varijanta koja uključuje kompostiranje mulja na području Varaždinske županije i ozemljavanje mulja na poljima Međimurske županije predviđa najmanje rizike, odnosno najmanja odstupanja od minimalne i maksimalne vrijednosti. Upravo to je, uz sigurnost u izvedbi i poznate utjecajne faktore, jedan od razloga za odabir i izvedbu baš ove varijante u konačnici. Raspon jediničnih troškova ulaznih parametara kod varijante koja uključuje ozemljavanje mulja kreće se od 85 €/t ST do 105 €/t ST što predstavlja odstupanje minimalne vrijednosti jediničnog troška od 5,56 % u odnosu na najvjerojatniju vrijednost (90 €/t ST), dok odstupanje maksimalne vrijednosti jediničnog troška iznosi 16,67 %. U istoj varijanti, ali za kompostiranje mulja, odstupanje

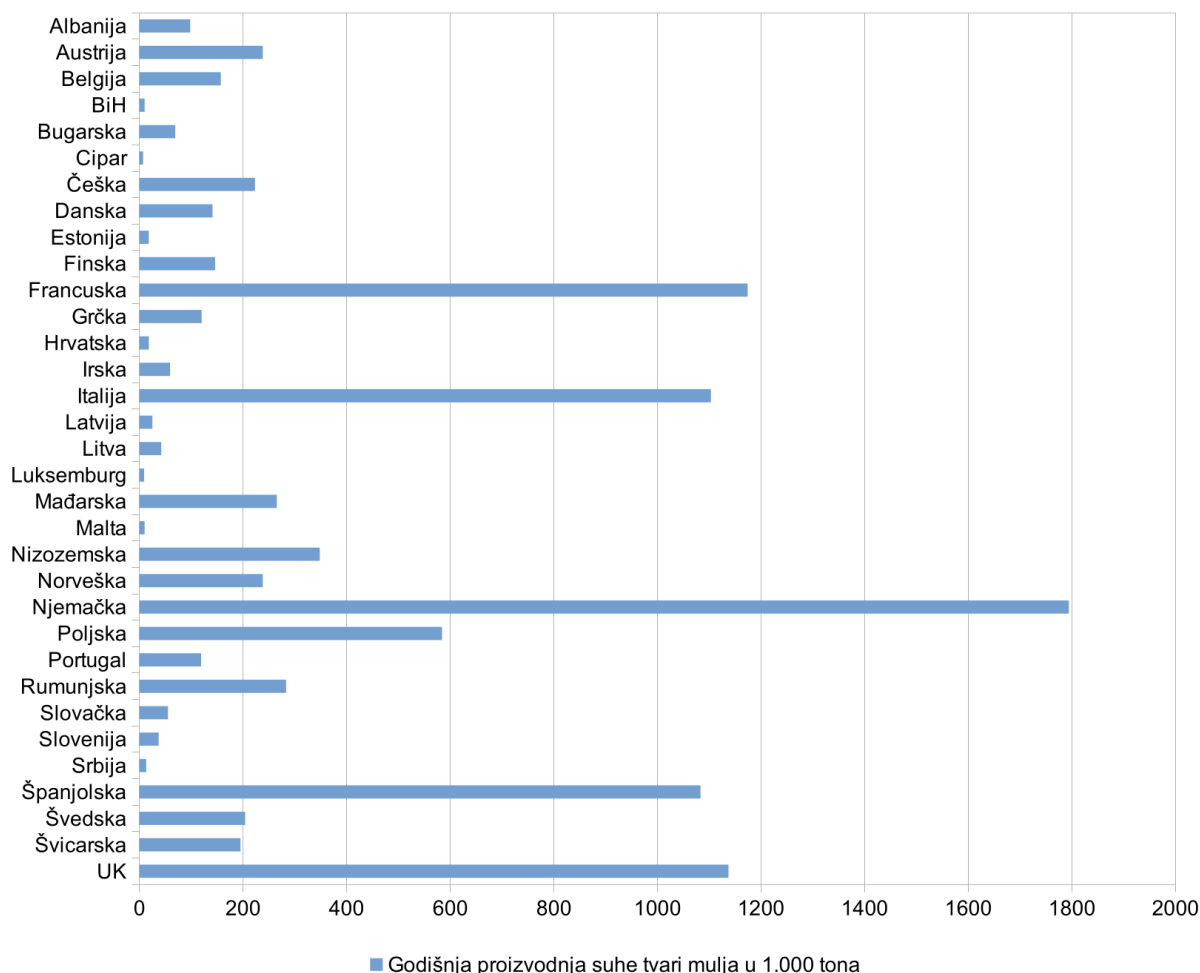
minimalne vrijednosti (100 €/t ST) u odnosu na najvjerojatniju (115 €/t ST) je 13,04 %, a maksimalne (125 €/t ST) 8,70 %.

Nešto lošije rezultate pokazala je varijanta odvoza mulja izvan granica RH obzirom da nosi određene rizike vezane uz nestabilne troškove prijevoza, ali i uz mogućnost promjene zakonske regulative u drugim zemljama ili popunjavanja raspoloživih kapaciteta što može rezultirati ograničenim mogućnostima preuzimanja mulja u budućnosti. Ukupni trošak odvoza mulja i odlaganje izvan granica RH varira u rasponu od 85 €/t (minimalna vrijednost) do 125 €/t (maksimalna vrijednost), odnosno predstavlja odstupanje od 19,05 % i za minimalnu i za maksimalnu vrijednost u odnosu na najvjerojatniju vrijednost (105 €/t).

Varijantno rješenje sa zbrinjavanjem mulja u poljoprivredi uključuje nekoliko varijabilnih ulaznih podataka od kojih troškovi uzorkovanja i analize mulja i tla variraju u rasponu od 50 €/t ST (minimalna vrijednost) do 110 €/t ST (maksimalna vrijednost), odnosno predstavljaju odstupanje od 44,44 % za minimalnu i 22,22 % za maksimalnu vrijednost u odnosu na najvjerojatniju vrijednost (90 €/t ST). Trošak prijevoza varira u rasponu od 10 €/t (minimalna vrijednost) do 20 €/t (maksimalna vrijednost), odnosno predstavlja odstupanje od 23,08 % za minimalnu i 53,85 % za maksimalnu vrijednost u odnosu na najvjerojatniju vrijednost (13 €/t). Trošak premije poljoprivrednicima predviđa najvjerojatniju vrijednost od 10 €/t i maksimalnu vrijednost od 15 €/t (odstupanje od 50 % u odnosu na najvjerojatniju vrijednost), dok bi se u slučaju odgovarajuće kvalitete mulja i izmjene zakonske regulative taj trošak mogao anulirati obzirom da bi u tom slučaju poljoprivrednici mogli preuzimati mulj bez premije za što je nužna i kvalitetna edukacija krajnjih korisnika. Varijanta predviđa najveće varijacije u rasponu troškova te prikazuje da se uz donošenje racionalnije zakonske regulative, odnosno smanjenjem troškova uzorkovanja i analiza mulja i tla može očekivati bolja ekonomska isplativost.

## 7. Gospodarenje muljem u europskim zemljama

Na globalnoj razini stvaraju se velike količine otpada u obliku otpadnog mulja s UPOV-a. U tridesetak europskih zemalja koje su prikazane na slici 29., u 2017. godini generiralo na razini godine dana gotovo 10 milijuna tona ST mulja što je količina koja potencijalno predstavlja ozbiljan teret na okoliš.



Slika 29: Proizvodnja mulja u europskim zemljama prema podacima iz 2017. [10]

Diljem svijeta postoje različiti načini i prakse zbrinjavanja mulja, ne postoji univerzalna strategija ni jednoznačne smjernice pa tako i u europskim zemljama postoje bitne razlike. Posebice zadnjih desetak godina primjetnije su promjene u načinu obrađivanja mulja na način da se povećano koristi termička obrada, odnosno spaljivanje i suspaljivanje, a sve je manja upotreba mulja na poljoprivrednim, ali i na nepoljoprivrednim zemljištima, ponajviše zbog rastuće zabrinutosti za eventualne posljedice na ljudsko zdravlje, ali i okoliš u cjelini.

U skladu s njemačkim Pravilnikom o zbrinjavanju otpadnog mulja koji je na snazi od 3. listopada 2017., a u svrhu smanjenja njemačke ovisnosti o uvozu fosfora i smanjenja onečišćenja tla, zahtijeva se izdvajanje fosfora iz kanalizacijskog mulja. Pravilnik na navedeno obvezuje sve UPOV-e veće od 50.000 ES i predviđa prijelazno razdoblje za razvoj i optimizaciju procesa uporabe. UPOV-i kapaciteta više od 100.000 ES imaju rok od 12 godina za usklađenje s Pravilnikom, a UPOV-i veličine 50.000 do 100.000 ES 15 godina. Po isteku prijelaznih razdoblja, odlaganje mulja s UPOV-a navedenih kapaciteta na poljoprivredne površine više neće biti dozvoljeno. Oporaba fosfora iz pepela dobivenog spaljivanjem otpadnog mulja koji sadrži fosfor u monospalionicama jedna je od mogućih i najviše primjenjivanih opcija [28].

Uporaba mulja u poljoprivredi, s udjelom većim od 50%, najraširenija je u Danskoj, Irskoj, Velikoj Britaniji, Španjolskoj, Norveškoj, Litvi i Bugarskoj dok Estonija, Slovačka, Francuska, Mađarska i Litva prednjače kod zbrinjavanja mulja na nepoljoprivrednim površinama. Termičku obradu mulja spaljivanjem i suspaljivanjem najviše koriste Švicarska, već spomenuta Njemačka, Austrija, Belgija i Nizozemska [10].

U različitim zemljama razlikuje se zakonska regulativa o upotrebi mulja u poljoprivredi. Švedska zakonska regulativa određuje da se mulj može koristiti samo četiri mjeseca godišnje i to tri mjeseca u jesen i samo jedan mjesec u proljeće, dok u nekim zemljama takvih vremenskih ograničenja nema. S druge strane, Švicarska je u potpunosti zabranila primjenu mulja u poljoprivredi još 2008. godine [29].

Potrebno je spomenuti da je odlaganje mulja na odlagališta ograničeno prema EU direktivama, a vjerojatno će već u bližoj budućnosti biti potpuno zabranjeno. Unatoč tome, ovaj način odlaganja još uvijek je među zastupljenijima u Rumunjskoj i Italiji, dok je na Malti gotovo isključivi način zbrinjavanja mulja [10].

Austrija je primjer gdje vrijede različita pravila, strategije i smjernice o odlaganju mulja među različitim regionalnim područjima s time da nije izolirani slučaj, već i takvih primjera ima više. Njemačka pak u poljoprivredi još uvijek zbrinjava nešto više od četvrtine sveukupnog mulja, a od toga najveći dio u istočnoj Njemačkoj [30]. U Njemačkoj se godišnje generira čak 1.8 milijuna tona ST mulja, a većina se spaljuje i suspaljuje. Od ukupne količina mulja koji se spaljuje ili suspaljuje 44% suspaljuju u termoelektranama, 43% spaljuju u monospalionicama, 10% suspaljuju u cementarama i samo 3% se suspaljuje zajedno s komunalnim otpadom [10].

Pepeo nastao spaljivanjem mulja najčešće se koristi za zapunjavanje rovova ili bušotina nastalih rudarenjem, a 29% se odlaže na posebno uređena odlagališta. Gotovo isti udio, oko 29%, koristi se u građevini, primjerice u izgradnji cesta, a najmanji postotak, svega oko 5%, koristi se u poljoprivredi [31].

Temeljem neslužbenih podataka, u Njemačkoj građevinske tvrtke plaćaju od 40 do 50 €/t za preuzeti pepeo koji potom koriste u cestogradnji. Prilikom primjene mulja u poljoprivredi, on se može koristiti u količini od 5 t ST/ha u razdoblju od tri godine, a u tom vremenskom periodu nikako nije dozvoljena primjena bilo koje druge vrsta gnojiva koja sadrže organsku tvar. Cijeli ovakav postupak odrađuje se u kontroliranim uvjetima i uvijek je popraćen izdašnom dokumentacijom [10].

U Austriji, na godišnjoj razini, troškovi obrade i zbrinjavanja mulja sačinjavaju 45% sveukupnih troškova pogona svih UPOV-a, što iznosi oko 5 €/ES/godišnje za sve uređaje veće od 50.000 ES i oko 10 €/ES/godišnje za uređaje manje od 10.000 ES. Sveukupni godišnji troškovi obrade i zbrinjavanja mulja su procijenjeni na 8-15 €/ES/godišnje što iznosi oko 20% od cjelokupnih troškova zbrinjavanja otpadnih voda [32].

Nadalje, ukoliko bi se sve potrebe za fosforom od strane poljoprivrednika podmirivale iz mulja, mogao bi se očekivati dobitak od oko 70 €/ha/ godišnje [32]. Obzirom da su očekivane subvencije poljoprivrednog EU budžeta kao i vrijednost uroda oko 1.500 €/ha/godišnje sama novčana vrijednost mulja kao N+P (dušik + fosfor) gnojiva je izuzetno mala. Stoga je lako zaključiti zašto poljoprivreda nije zainteresirana za mulj kao dodatni resurs. U ovu kalkulaciju nisu uračunate eventualne dodatne naknade koje bi se isplaćivale poljoprivrednicima za preuzimanje mulja [10].

Austrija oko 50% mulja spaljuje u spalionici u Beču, dok se oko 30% prerađuje kao kompost ili koristi na tlu ili za obnovu tla, a manji dio, od samo 15%, se koristi u poljoprivredi [10].

Ekonomski snažnije države, kao što Danska, Francuska i Velika Britanija, ne pokazuju namjeru da bi išta promijenile u načinu gospodarenja muljem. Navedene države oko 2/3 ukupno generiranog mulja trenutno zbrinjavaju u poljoprivredi. Iz navedenih razloga postavlja se pitanje zašto je u Danskoj primjena mulja u poljoprivredi ocijenjena kao održiva, dok se primjerice u Njemačkoj, koja je svojim životnim standardom, većim poljoprivrednim površinama i vrlo sličnim klimatskim i geografskim uvjetima slična Danskoj, nastoji zabraniti primjenu mulja na poljoprivrednim površinama [10]. Iz svega navedenog može se zaključiti kako ne postoji jedinstveno i univerzalno rješenje za zbrinjavanja mulja.

Neke visoko razvijene zemlje ulažu visoka financijska sredstva u znanstvena istraživanja koja bi dovela do boljih rješenja konačnog zbrinjavanja mulja, kao i nusprodukata dobivenih njegovom obradom (primjerice pepela koji se dobiva spaljivanjem).

Švedska i Danska provode studiju koja bi trebala dokazati mogućnost i opravdanost primjene mješavine pepela koji je dobiven spaljivanjem mulja i pepela kao nusprodukta ostalih energana za proizvodnju peleta kao gnojiva za primjenu u šumama Švedske [33]. Druge pak zemlje, u koje

spada i Hrvatska, ulažu sredstva u istraživanja opravdanosti i mogućnosti primjene pepela dobivenog spaljivanjem mulja u građevinarstvu.

Dok se primjerice u Njemačkoj mogu primijetiti određene promjene u zakonskoj regulativi, za druge je zemlje prisutno uglavnom zadržavanje dosadašnje prakse koja se odnosi na korištenje mulja na poljoprivrednim i nepoljoprivrednim zemljištima. U Njemačkoj je prihvaćen Pravilnik o zbrinjavanju otpadnog mulja koji ima za cilj da se do 2027. godine zabrani direktna primjena mulja (za UPOV veće od 50.0000 ES) u poljoprivredi. Nadalje, biti će obavezno izdvajati fosfor iz mulja i to kroz izgradnju sustava za termičku obradu mulja [10].

No, unatoč tome, razni stručnjaci brojnih EU zemalja ipak stoje kod toga da se mulj visoke kvalitete i dalje primjenjuje u poljoprivredi, a predlažu i vremenski neograničeno skladištenje pepela koji je dobiven u spalionicama mulja na uređena odlagališta, kao i postupnog definiranja obaveza u vezi recikliranja fosfora [10].



## 8. Zaključak

Izbor najprihvatljivije varijante za obradu mulja i njegovo konačno zbrinjavanje obično je složen proces zbog interakcije tehničkih, ekonomskih, ekoloških i pravnih aspekata. Iako složeno i skupo, konačno zbrinjavanje mulja često se zanemaruje u projektiranju sustava za pročišćavanje otpadnih voda. Budući da gospodarenje muljem predstavlja znatan postotak operativnih troškova uređaja za pročišćavanje otpadnih voda, izbor metoda obrade mulja i alternativa konačnog zbrinjavanja moraju se smatrati dijelom samog postrojenja za pročišćavanje.

Kao osnovni cilj rada ispitana je mogućnost zbrinjavanja mulja s UPOV-a u poljoprivredi, spaljivanje mulja u monospalionici, kompostiranje i ozemljavanje mulja te odvoz izvan granica Republike Hrvatske za područje sjeverne Hrvatske (Varaždinska i Međimurska županija).

Ukupan kapacitet svih UPOV-a iznosi 337.756 ES, odnosno 150.723 ES na području Međimurske županije i 187.033 ES na području Varaždinske županije. Ekonomski najisplativije se pokazalo graditi postrojenja za sušenje mulja na ukupno 2 lokacije, na lokaciji UPOV-a Čakovec kao lokaciji centralnog pogona za solarno sušenje mulja na području Međimurske županije, i na lokaciji UPOV-a Varaždin kao lokaciji centralnog pogona za solarno sušenje mulja na području Varaždinske županije, obzirom da takav pristup rezultira nižom jediničnom cijenom obrade mulja. Temeljem provedenih analiza za opisane četiri varijante vidljivo je da spaljivanje mulja u regionalnoj monospalionici predstavlja ekonomski najpovoljnije rješenje i ukupni trošak iznosi 1.18 milijuna €/godišnje. Na drugom mjestu je varijanta s ozemljavanjem mulja na području Međimurske županije i kompostiranjem mulja na području Varaždinske županije, skuplja 7.81% od varijante sa spaljivanjem mulja u monospalionici. Iako varijanta sa zbrinjavanjem mulja u poljoprivredi ispada najnepovoljnija (čak 47.97% skuplja od varijante sa spaljivanjem), uz donošenje racionalnije zakonske regulative, odnosno smanjenjem troškova uzorkovanja i analiza mulja i tla može se očekivati bolja ekonomska isplativost. Odvoz mulja izvan Hrvatske, iako troškovno prihvatljivija varijanta od upotrebe obrađenog mulja na poljoprivrednim površinama (16.76% skuplja od varijante sa spaljivanjem), ne predstavlja povoljno rješenje, već ga je opravdano koristiti samo kao privremeno rješenje do uspostave odgovarajućeg sustava gospodarenja muljem u regiji. Obzirom da su jedinični troškovi definirani u analizama varijantnih rješenja zbrinjavanja mulja promjenjivog karaktera provedena je i analiza rizika koja uključuje promjenu vrijednosti pojedinačnih jediničnih troškova te su prikazani rezultati analize ekonomskih rizika kojom se daje naznaka mogućih raspona ukupnih troškova za odabrane varijante zbrinjavanja mulja ovisno o odabranim ulaznim parametrima. Analiza rizika prikazuje da varijanta koja uključuje spaljivanje mulja u monospalionici predstavlja ekonomski najpovoljniju varijantu ukoliko se uzima u obzir najvjerojatnija vrijednost jediničnog troška (65 €/t ST), no ona može biti

i relativno nepovoljna u odnosu na ostale razmatrane varijante uzme li se u obzir maksimalna vrijednost jediničnog troška izgradnje, pogona, održavanja i amortizacije monospalionice (130 €/t ST). Za navedenu varijantu prikazan je relativno velik raspon rizika obzirom da troškovi koji uključuju izgradnju, pogon, održavanje i amortizaciju postojećih monospalionica na području EU znatno variraju. Za razliku od varijante sa spaljivanjem mulja, analiza rizika je za varijantu koja uključuje kompostiranje mulja na području Varaždinske županije i ozemljavanje mulja na poljima Međimurske županije pokazala najmanje rizike, odnosno najmanja odstupanja od minimalne i maksimalne vrijednosti što je, uz sigurnost u izvedbi i poznate utjecajne faktore, rezultiralo i odabirom baš ove varijante u stvarnosti. Potrebno je napomenuti da je ovom analizom dan prikaz ekonomski najpovoljnijeg rješenja zbrinjavanja mulja što nije jedini niti glavni čimbenik koji treba uzeti u obzir prilikom odabira optimalne varijante zbrinjavanja mulja.

Zbog različitih tehničko-tehnoloških mogućnosti obrade i zbrinjavanja mulja te mogućih negativnih utjecaja na društvo i okoliš, potrebno je na državnoj razini postići konsenzus o tome koja su rješenja prihvatljiva te na temelju tog konsenzusa razviti strategiju upravljanja muljem. Među rješenjima koja se čine izvedivim svakako je i korištenje mulja UPOV-a i njegovih nusproizvoda u različite svrhe u okviru kružnog gospodarstva kao jedne od globalno prihvaćenih smjernica.

## 9. Literatura

- [1] Nacrt plana upravljanja vodnim područjima 2022.-2027, <https://www.voda.hr/hr/plan-2022-2027>, dostupno 18.08.2022.
- [2] N. Ružinski, A. Anić Vučinić: Obrada otpadnih voda biljnim uređajima, Hrvatska sveučilišna naklada, Zagreb, 2010.
- [3] [https://www.voda.hr/sites/default/files/2022-04/visegodisnji\\_program\\_gradnje\\_komunalnih\\_vodnih\\_gradevina\\_za\\_razdoblje\\_do\\_2030\\_godine.pdf](https://www.voda.hr/sites/default/files/2022-04/visegodisnji_program_gradnje_komunalnih_vodnih_gradevina_za_razdoblje_do_2030_godine.pdf), dostupno 18.08.2022.
- [4] B. Tušar: Pročišćavanje otpadnih voda, Kigen d.o.o., Geotehnički fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 2009.
- [5] <http://loveco.hr/proizvodi/>, dostupno 19.08.2022.
- [6] <https://www.odvodnja.hr/odvodupovc.html>, dostupno 19.08.2022.
- [7] <https://www.aboutcivil.org/sedimentation-tank-types>, dostupno 20.08.2022.
- [8] D. Nakić (2020.-2021.): Nastavni materijali predavanja iz kolegija „Zaštita i pročišćavanje voda“, studij Graditeljstva, Sveučilište Sjever, Varaždin
- [9] N. Štirmer, M. Serdar, A. Baričević: Uspostavni istraživački projekt Reuse of sewage sludge in concrete industry – from microstructure to innovative construction products (Rescue), Zagreb, 2015.
- [10] Akcijski plan za korištenje mulja iz uređaja za pročišćavanje otpadnih voda na pogodnim površinama, HIDROPROJEKT-ING Zagreb, Hidroing Osijek, Građevinski fakultet sveučilišta u Zagrebu, Institut IGH, 2020.
- [11] G. Tchobanoglous, H. D. Stensel, R. Tsuchhashi, Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery (5th ed), vol. 4, no. 3, 2014.
- [12] <https://sahabatrak.ir/product/conventional-gravity-thickener/>, dostupno 21.08.2022.
- [13] <https://www.parkson.com/products/hycor-thicktech>, dostupno 21.08.2022.
- [14] <https://www.aireo2.com/en/applications/aerobic-sludge-digester/>, dostupno: 02.09.2022.
- [15] <https://www.sludgeprocessing.com/anaerobic-digestion/operating-anaerobic-digester/>, dostupno 22.08.2022.
- [16] <https://www.sludgeprocessing.com/sludge-dewatering/belt-filter-press/>, dostupno 23.08.2022.
- [17] D. Nakić: Primjena muljeva s uređaja za pročišćavanje otpadnih voda u betonskoj industriji, 2017., doktorska disertacija, Građevinski fakultet, Zagreb
- [18] N. K. Salihoglu, V. Pinarli, G. Salihoglu: Solar drying in sludge management in Turkey,

Faculty of Engineering & Architecture, Environmental Engineering Department, Uludağ University, Bursa

- [19] Projekt sadnje trske (*Phragmites australis*) na poljima za ozemljavanje mulja; Ecoenergy d.o.o., Varaždin, 2016.
- [20] <https://medjimurske-vode.hr/odvodnja-otpadnih-voda/>, dostupno 23.08.2022.
- [21] G. Tchobanoglous, H. D. Stensel, R. Tsuchhashi, Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery (5th ed), vol. 4, no. 3, 2014.
- [22] D. Vouk, D. Malus, D. Nakić: Zbrinjavanje mulja s UPOV-a: Pregled svjetske prakse i smjernice za učinkovitija rješenja u Hrvatskoj, Zbornik radova stručno-poslovnog skupa s međunarodnim sudjelovanjem Aktualna problematika u vodoopskrbi i odvodnji, p. 1.-35., 2016.
- [23] J. E. Hall: Sewage Sludge Production, Treatment and Disposal in the European Union, Water Environ. J., vol. 9, no. 4, p. 335.-343., 1995.
- [24] D. Fytali, A. Zabaniotou: Utilization of sewage sludge in EU application of old and new methods-A review, Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 12, no. 1. p. 116.-140., 2008.
- [25] Ministarstvo zaštite okoliša, prostornog uređenja i graditeljstva, (ožujak 2008.): Pravilnik o gospodarenju muljem iz uređaja za pročišćavanje otpadnih voda kada se mulj koristi u poljoprivredi, Narodne novine 38/08, dostupno na: [https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2008\\_04\\_38\\_1307.html](https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2008_04_38_1307.html), dostupno: 23.08.2022.
- [26] Ministarstvo zaštite okoliša i energetike, (ožujak 2020.): Pravilnik o graničnim vrijednostima emisija otpadnih voda, Narodne novine 26/2020, dostupno na: [https://narodnenovine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2020\\_03\\_26\\_622.html](https://narodnenovine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2020_03_26_622.html), dostupno: 18.8.2022.
- [27] Hrvatske vode, Plan upravljanja vodnim područjima 2016.-2021. p. (NN 66/16)
- [28] <https://www.pcs-consult.de/en/news/New-German-Sewage-Sludge-Regulation-sets-the-Standard-for-Phosphorus-Recovery>
- [29] Umweltbundesamt, Sewage sludge management in Germany, 2013.
- [30] K. G. Schmelz: Sludge Management in Germany with focus on the legal framework, Proceeding of the conference Holistic Sludge Management 2016, 2016.
- [31] O. Krüger, C. Adam: Recovery potential of German sewage sludge ash, Waste Manag., vol. 45, p. 400.-406., 2015.
- [32] H. Kroiss: Sewage sludge processing and management perspectives in Europe, Institute for Water Quality Resource and Waste Management-Wienna University of technology, Problems and Solutions in WWTP Sludge, Sofia, 2016

- [33] D. Thornberg, L. K. Nielsen, P. Jorgensen: The future of sludge ash in Copenhagen, Proceedings of the conference Holistic Sludge Management 2016, 2016.

## 10. Popis slika

Slika 1: Dijelovi tehnološke linije pročišćavanja otpadnih voda [4] .....	4
Slika 2: Rešetka za izdvajanje grubog materijala [5] .....	5
Slika 3: Pjeskolov-mastolov na UPOV-u Centar Zadar [6] .....	6
Slika 4: Primjer kružnog taložnika [7] .....	6
Slika 5: Shema konvencionalnog postupka s aktivnim muljem [4] .....	7
Slika 6: Bioaeracijski reaktor [8] .....	8
Slika 7: Sustav pročišćavanja voda i proces nastanka mulja [9] .....	9
Slika 8: Gravitacijski zgušnjivač mulja [12] .....	13
Slika 9: Mehaničko zgušnjavanje mulja pomoću rotacijskog bubnja [13] .....	14
Slika 10: Aerobna digestija mulja [14] .....	15
Slika 11: Jajoliki digestori [15] .....	15
Slika 12: Dehidracija mulja pomoću trakaste filter preše [16] .....	16
Slika 13: Postupci obrade mulja do njegova konačnog zbrinjavanja [9] .....	17
Slika 14: Smanjenje ukupne mase mulja ovisno o stupnju obrade [17] .....	17
Slika 15: Staklenik za solarno sušenje mulja s fiksnim zgrtačem mulja [5] .....	19
Slika 16: MID-MIX <sup>®</sup> postrojenje za solidifikaciju mulja [10] .....	20
Slika 17: Polja za ozemljavanje izgrađena uz UPOV u Čakovcu [20] .....	21
Slika 18: Kompostana u zatvorenom prostoru – windrow sistem [10] .....	23
Slika 19: Karta Međimurske i Varaždinske županije s prikazom UPOV-a svih planiranih aglomeracija veličine preko 2000 ES [20] .....	33
Slika 20: Grafički prikaz generiranog mulja s 22%, 33% i 75% ST i pepela .....	36
Slika 21: Grafički prikaz troškova solarnog sušenja mulja .....	38
Slika 22: Grafički prikaz troškova kompostiranja .....	40
Slika 23: Grafički prikaz troškova ozemljavanja mulja .....	40
Slika 24: Grafički prikaz troškova prijevoza osušenog mulja, uzorkovanja i analiza, transakcijskih troškova i troška premije za poljoprivrednike kod zbrinjavanja mulja u poljoprivredi u odnosu na ukupni trošak .....	42
Slika 25: Grafički prikaz troškova solarnog sušenja, prijevoza mulja do spalionice, izgradnje, pogona, održavanja i amortizacije spalionice i trošak zbrinjavanja pepela u odnosu na ukupni trošak .....	44
Slika 26: Grafički prikaz troškova solarnog sušenja i ukupnog troška odvoza i zbrinjavanja mulja s obzirom na sadržaj ST .....	46

Slika 27: Ukupni troškovi zbrinjavanja mulja po razmatranim varijantama na području Međimurske i Varaždinske županije .....	47
Slika 28: Mogući rasponi ukupnih troškova za svaku od odabranih varijanti odlaganja mulja ....	49
Slika 29: Proizvodnja mulja u europskim zemljama prema podacima iz 2017. [10] .....	51

## 11. Popis tablica

Tablica 1: Pregled sustava javne odvodnje prema stupnju pročišćavanja otpadnih voda [1] .....	1
Tablica 2: Pretpostavljeni faktori emisija i smanjenje onečišćenja na uređaju za pročišćavanje u ovisnosti o stupnju pročišćavanja [1] .....	2
Tablica 3: Rasponi vrijednosti sastava i svojstava mulja različitog podrijetla [4] .....	10
Tablica 4: Koncentracija suhe tvari mulja u pojedinim tehnološkim fazama [11].....	12
Tablica 5: Granične vrijednosti emisija komunalnih otpadnih voda pročišćenih na uređaju drugog (II) stupnja pročišćavanja [26].....	28
Tablica 6: Granične vrijednosti emisija komunalnih otpadnih voda pročišćenih na uređaju trećeg (III) stupnja pročišćavanja [26] .....	28
Tablica 7: Prikaz količina generiranog mulja, dehidriranog mulja s 23 i 33 % ST, generiranog mulja u slučaju solarnog sušenja do 75 % ST i količina pepela u slučaju spaljivanja mulja .....	35
Tablica 8: Trošak izgradnje i održavanja pogona za solarno sušenje u Čakovcu i Varaždinu s ...	37
Tablica 9: Ukupni trošak kompostiranja mulja na području Varaždinske županije i ozemljavanje na poljima na području Međimurske županije .....	39
Tablica 10: Trošak prijevoza osušenog mulja, uzorkovanja i analiza, transakcijski troškovi i trošak premije za poljoprivrednike kod zbrinjavanja mulja u poljoprivredi .....	41
Tablica 11: Trošak solarnog sušenja, prijevoza mulja do spalionice, izgradnje, pogona, održavanja i amortizacije spalionice i trošak zbrinjavanja pepela .....	43
Tablica 12: Trošak solarnog sušenja mulja i ukupni trošak odvoza mulja obzirom na sadržaj ST .....	45
Tablica 13: Rasponi jediničnih troškova varijabilnih ulaznih parametara .....	48



## 12. Prilozi

### Projekcija proizvodnje mulja i pepela na razmatranim aglomeracijama po izgradnji UPOV-a

Aglomeracija	ES UKUPNI KAPACITET	ES KAPACITETA SOLARNO SUŠENJE	ES PROSJEČNO GODIŠNJE OPTEREĆENJE	Dnevna proizvodnja mulja		Digestija		Dodatak vapna VSS+FSS tDS/d	Kemikalije za obradu VSS+FSS tDS/d	Volumen mulja i količina suhe tvari na dnevnoj s dodatkom vapna i kemikalija m <sup>3</sup> /d	Težina ocijeđenog mulja t/god	Termička obrada		Specifična proizvodnja mulja s kemikalijama gDS/ES/dan	Specifična proizvodnja mulja bez kemikalija gDS/ES/dan		
				VSS tDS/dan	FSS tDS/dan	VSS tDS/d	FSS tDS/d					S vapnom t/dan	Bez vapna t/dan				
Čakovec	84123	150723	84123	6.38	4.14	2.28	4.51	4.51	4.51	18.99	6930	1647	2.23	814.6	2.2	815	
Donja Dubrava	13000	0	13000	0.99	0.64	0.35	0.70	0.70	0.70	2.93	1071	254	1157	0.34	125.9	0.3	126
Donji Krajičevac	9000	0	9000	0.68	0.44	0.24	0.48	0.48	0.48	2.03	741	176	801	0.24	87.2	0.2	87
Mursko Središće	12000	0	12000	0.91	0.59	0.33	0.64	0.64	0.64	2.71	989	235	1068	0.32	116.2	0.3	116
Novo Selo na Dravi	5000	0	5000	0.38	0.25	0.14	0.27	0.27	0.27	1.13	412	98	445	0.13	48.4	0.1	48
Podbrežje	10000	0	10000	0.76	0.49	0.27	0.54	0.54	0.54	2.26	824	196	890	0.27	96.8	0.3	97
Podturen	17600	0	17600	1.33	0.87	0.48	0.94	0.94	0.94	3.97	1450	345	1566	0.47	170.4	0.5	170
Ivanec	11806	0	11806	0.89	0.58	0.32	0.63	0.63	0.63	2.66	973	231	1050	0.31	114.3	0.3	114
Veiki Bukovec	7464	0	7464	0.57	0.37	0.20	0.40	0.40	0.40	1.68	615	146	664	0.20	72.3	0.2	72
Novi Marof	2588	0	2588	0.20	0.13	0.07	0.14	0.14	0.14	0.58	213	51	230	0.07	25.1	0.1	25
Čestica	4111	0	4111	0.31	0.20	0.11	0.22	0.22	0.22	0.93	339	80	366	0.11	39.8	0.1	40
Greda	5162	0	5162	0.39	0.25	0.14	0.28	0.28	0.28	1.17	425	101	459	0.14	50.0	0.1	50
Jalabart	3138	0	3138	0.24	0.15	0.08	0.17	0.17	0.17	0.71	259	61	279	0.08	30.4	0.1	30
Lepoglava	6894	0	6894	0.52	0.34	0.19	0.37	0.37	0.37	1.56	568	135	613	0.18	66.8	0.2	67
Semovec	2254	0	2254	0.17	0.11	0.06	0.12	0.12	0.12	0.51	186	44	201	0.06	21.8	0.1	22
Varaždin	129933	187033	129933	9.85	6.40	3.52	6.97	6.97	6.97	29.33	10704	2543	11561	3.45	1298.2	3.4	1258
Varaždinske Toplice	5423	0	5423	0.41	0.27	0.14	0.29	0.29	0.29	1.22	447	106	483	0.14	52.5	0.1	53
Ludbreg	8260	0	8260	0.63	0.41	0.22	0.44	0.44	0.44	1.86	680	162	755	0.22	80.0	0.2	80



## IZJAVA O AUTORSTVU

## I

## SUGLASNOST ZA JAVNU OBJAVU

Završni/diplomski rad isključivo je autorsko djelo studenta koji je isti izradio te student odgovara za istinitost, izvornost i ispravnost teksta rada. U radu se ne smiju koristiti dijelovi tuđih radova (knjiga, članaka, doktorskih disertacija, magistarskih radova, izvora s interneta, i drugih izvora) bez navođenja izvora i autora navedenih radova. Svi dijelovi tuđih radova moraju biti pravilno navedeni i citirani. Dijelovi tuđih radova koji nisu pravilno citirani, smatraju se plagijatom, odnosno nezakonitim prisvajanjem tuđeg znanstvenog ili stručnoga rada. Sukladno navedenom studenti su dužni potpisati izjavu o autorstvu rada.

Ja, *Ines Belalov Dovečer* pod punom moralnom, materijalnom i kaznenom odgovornošću, izjavljujem da sam isključiva autorica diplomskog rada pod naslovom Analiza mogućnosti zbrinjavanja mulja s UPOV-a – Varaždinska i Međimurska županija te da u navedenom radu nisu na nedozvoljeni način (bez pravilnog citiranja) korišteni dijelovi tuđih radova.

Studentica:

*Ines Belalov Dovečer*

Sukladno Zakonu o znanstvenoj djelatnosti i visokom obrazovanju završne/diplomske radove sveučilišta su dužna trajno objaviti na javnoj internetskoj bazi sveučilišne knjižnice u sastavu sveučilišta te kopirati u javnu internetsku bazu završnih/diplomskih radova Nacionalne i sveučilišne knjižnice. Završni radovi istovrsnih umjetničkih studija koji se realiziraju kroz umjetnička ostvarenja objavljuju se na odgovarajući način.

Ja, *Ines Belalov Dovečer* neopozivo izjavljujem da sam suglasna s javnom objavom diplomskog rada pod naslovom Analiza mogućnosti zbrinjavanja mulja s UPOV-a – Varaždinska i Međimurska županija čija sam autorica.

Studentica:

*Ines Belalov Dovečer*