Usporedba kvaliteta otpadnih muljeva s uređaja za pročišćavanje otpadnih voda

Kuzik, Mirna

Master's thesis / Diplomski rad

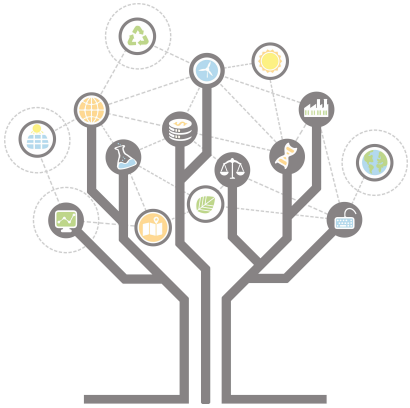
2017

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Geotechnical Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:130:951441

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-28**



Repository / Repozitorij:

Repository of Faculty of Geotechnical Engineering - Theses and Dissertations

zir.nsk.hr

dabar
DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

Usporedba kvaliteta otpadnih muljeva s uređaja za pročišćavanje otpadnih voda

Kuzik, Mirna

Master's thesis / Diplomski rad

2017

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Geotechnical Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:130:951441

Rights / Prava: In copyright

Download date / Datum preuzimanja: **2020-11-05**

Repository / Repozitorij:

Repository of Faculty of Geotechnical Engineering







SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GEOTEHNIČKI FAKULTET

MIRNA KUZIK

USPOREDBA KVALITETA OTPADNIH MULJEVA S UREĐAJA ZA PROČIŠĆAVANJE OTPADNIH VODA

DIPLOMSKI RAD

VARAŽDIN, 2017.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GEOTEHNIČKI FAKULTET

MIRNA KUZIK

USPOREDBA KVALITETA OTPADNIH MULJEVA S UREĐAJA ZA PROČIŠĆAVANJE OTPADNIH VODA

DIPLOMSKI RAD

VARAŽDIN, 2017.

Sveučilište u Zagrebu
Geotehnički fakultet

ZADATAK ZA DIPLOMSKI RAD

Pristupnica: MIRNA KUZIK

Matični broj: 141 - 2015./2016.

Smjer: UPRAVLJANJE VODAMA

NASLOV DIPLOMSKOG RADA:

USPOREDBA KVALITETA OTPADNIH MULJEVA S UREĐAJA ZA PROČIŠĆAVANJE OTPADNIH VODA

Rad treba sadržati:
1. Uvod
2. Pročišćavanje otpadnih voda
3. Karakteristike i količine mulja s UPOV-a
4. Postupci obrade mulja s UPOV-a
5. Zbrinjavanje otpadnog mulja u RH
6. Odabrani UPOV-i u RH - Zagreb, Slavonski Brod, Velika Gorica
7. Usporedba fizikalnih i kemijskih svojstava otpadnih muljeva s odabranih UPOV-a
8. Zaključak
9. Literatura

Pristupnica je dužna predati mentoru jedan uvezen primjerak diplomskog rada sa sažetkom. Vrijeme izrade diplomskog rada je od 45 do 90 dana.

Zadatak zadan: 29.05.2017. Rok predaje: 01.12.2017.

Mentor: Predsjednik Odbora za nastavu:

Izv.prof.dr.sc. Aleksandra Anić Vučinić Doc.dr.sc. Igor Petrović

REPUBLIKA HRVATSKA 1 GEOTEHNIČKI FAKULTET VARAŽDIN SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je diplomski rad pod naslovom

USPOREDBA KVALITETA OTPADNIH MULJEVA S UREĐAJA ZA PROČIŠĆAVANJE OTPADNIH VODA

(naslov diplomskog rada)

rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na istraživanjima te objavljenoj i citiranoj literaturi te je izrađen pod mentorstvom **izv. prof. dr. sc. Aleksandre Anić Vučinić.**

Izjavljujem da nijedan dio rada nije napisan na nedozvoljen način, odnosno da je prepisan iz necitiranog rada te da nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava. Izjavljujem također, da nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

U Varaždinu, 29.11.2017.

Mirna Kuzik

(Ime i prezime)

(Vlastoručni potpis)

SAŽETAK

Ime i prezime: Mirna Kuzik

Naslov rada: Usporedba kvaliteta otpadnih muljeva s uređaja za pročišćavanje otpadnih voda

Izgradnja uređaja za pročišćavanje otpadnih voda (UPOV) za sobom povlači nastanak značajnih količina mulja u postupcima obrade otpadnih voda. Mulj koji se generira na UPOV- ima nastaje kao sporedni proizvod akumulacije krute tvari tijekom fizikalnih (taloženje), bioloških (mikrobiološka aktivnost) i kemijskih procesa (koagulacija, flokulacija). Mulj je složenog sastava i predstavlja mješavinu organskih i anorganskih tvari raspršenih u vodi, a može sadržavati i patogene mikroorganizme, parazite, viruse te rojne potencijalno toksične elemente i spojeve (teške metale i dr.) Ovako nastali mulj potrebno je adekvatno obraditi na samom UPOV – u i zbrinuti u okoliš u skladu sa zakonskom regulativom.

U ovome radu proučavani su uređaji različitih karakteristika, a samim time su i rezultati analiza bili različiti. Primjetilo se kako mulj s UPOV-a Slavonski Brod ima veće vrijednosti ukupnog organskog ugljika i dušika u odnosu na druge UPOV-e, dok je najveći udio ukupnog fosfora u mulju s UPOV-a Velika Gorica. Nadalje, UPOV-i Zagreb i Slavonski Brod imaju znatne količne vode u svom sastavu na što ukazuju rezultati udjela suhe tvari u mulju. Različitost kvalitete mulja uslijed primjene različite tehnologije pročišćavanja otpadne vode najviše se očituje kod vrijednosti pH, pri čemu je mulj s UPOV-a Zagreb lužnat uslijed primjene tehnologije stabilizacije mulja vapnom. Unatoč različitostima u promatranim vrijednostima parametara, obrađeni muljevi sa sva tri uređaja mogu se koristiti u poljoprivredne svrhe, jer su vrijednosti teških metala, ali i postotak suhe tvari i pH dobivenih laboratorijskim analizama znatno manje od dopuštenih graničnih vrijednosti.

Ključne riječi: otpadni mulj, uređaj za pročišćavanje otpadnih voda, teški metali, pH, ukupni fosfor, ukupni dušik, ukupni organski ugljik.

SADRŽAJ

1 UVOD 1

2 PROČIŠĆAVANJE OTPADNIH VODA 3

3 KARAKTERISTIKE I KOLIČINE MULJA S UPOV– A 5

3.1 Vrste mulja s UPOV-a 6

3.1.1 Primarni (sirovi) mulj 6

3.1.2 Aktivni (biološki) mulj 7

3.2 Sastav i svojstva mulja 9

3.2.1 Fizikalno-kemijski sastav mulja 9

3.2.2 Biološki sastav mulja 16

4 POSTUPCI OBRADE MULJA S UPOV–a 17

4.1 Zgušnjavanje mulja 18

4.1.1 Gravitacijsko zgušnjavanje (taloženje) 19

4.1.2 Zgušnjavanje isplivavanjem (flotacija) 19

4.2 Dehidracija mulja 20

4.3 Kondicioniranje mulja 20

4.4 Stabilizacija mulja 21

4.4.1 Biološka stabilizacija mulja 21

4.4.2 Kemijska stabilizacija mulja 23

4.5 Kompostiranje 25

4.6 Termička obrada 26

5 ZBRINJAVANJE OTPADNOG MULJA U RH 27

6 ODABRANI UPOV-i U RH - Zagreb, Slavonski Brod, Velika Gorica 30

6.1 UPOV Zagreb 30

6.2 UPOV Slavonski Brod 32

6.3 UPOV Velika Gorica 34

7 USPOREDBA FIZIKALNIH I KEMIJSKIH SVOJSTAVA OTPADNIH MULJEVA S ODABRANIH UPOV–A 36

7.1 Rezultati analiza fizikalnih i kemijskih svojstava UPOV-a 37

7.2 Rasprava rezultata 41

7.2.1 Analiza sadržaja TOC-a, ukupnog dušika i fosfora 41

7.2.2 Analiza pH vrijednosti 42

7.2.3 Analiza udjela suhe tvari 43

7.2.4 Analiza sadržaja teških metala 43

8 ZAKLJUČAK 48

9 LITERATURA 50

1 UVOD

Broj stanovništva u svijetu raste velikom brzinom i koncentriran je uglavnom na urbane sredine. Ovakav trend intenzivan je u zemljama u razvoju, a očekuje se kako će u gradovima do 2030. godine živjeti i do 2,1 milijarde ljudi (Ujedinjeni narodi 2012). U tim gradovima, svake godine, proizvede se nekoliko milijuna tona otpada, pri čemu se u obzir uzima i proizvodnja mulja nastalog obradom otpadnih voda. Sudbina tog otpada različita je, prvenstveno ovisi o lokalnim propisima [1].

Isto tako, razvojem urbanih sredina i povećanjem standarda stanovništva povećava se i potrošnja vode, ali se istovremeno uzrokuje i onečišćenje čovjekove okoline, a time i porast količine otpadnih voda i mulja koji nastaje njihovim pročišćavanjem na uređajima za pročišćavanje [2]. Komunalne otpadne vode i mulj sadrže brojne vrijedne resurse kao što su voda, organska tvar, energija i nutrijenti (npr. dušik i fosfor) koji mogu biti upotrebljavani za mnogobrojne i vrlo različite ekonomske, društvene i ekološke potrebe [1]. S druge strane, zbrinjavanje ovako nastalog mulja predstavlja poseban problem zbog sadržaja teških metala i drugih štetnih tvari te velike količine biorazgradivog materijala. Upravo zbog značajnog udjela organske tvari u ovom mulju, njegovo odlaganje na odlagališta komunalnog otpada nije prihvatljivo, a nakon 2016. niti dozvoljeno, premda je to trenutno uobičajena praksa u Hrvatskoj [3].

Obrada i trajno uklanjanje (zbrinjavanje) mulja koji se izdvoji tijekom pročišćavanja otpadnih voda glavni je problem na uređajima za pročišćavanje otpadne vode (UPOV). Učinak UPOV-a ne smije se vrednovati samo kakvoćom pročišćene vode, nego i učinkovitošću obrade mulja koji se izdvoji u postupku pročišćavanja [4].

Pročišćavanje otpadnih voda i zbrinjavanje nusprodukata koji se pritom generiraju predstavlja aktualan problem na svjetskoj razini, naročito tijekom posljednjih 20-30 godina. Ulaskom Hrvatske u Europsku uniju (EU), na snagu je stupila Direktiva 91/271/EEZ, prema kojoj se zahtijeva prikupljanje i obrada otpadnih voda u svim aglomeracijama većim

od 2000 ekvivalent stanovnika (ES), drugi stupanj pročišćavanja svih ispuštenih otpadnih voda za aglomeracije veće od 2000 ES te viši stupnjevi pročišćavanja za aglomeracije veće od 10.000 ES u područjima koja su određena osjetljivima i na njihovim slivnim područjima [5]. Sve navedeno bi do 2018. godine u konačnici trebalo rezultirati puštanjem u pogon UPOV-a ukupnog opterećenja oko 4.500.000 ES. Projekti izgradnje UPOV-a u kojima nije riješeno konačno zbrinjavanje mulja ne mogu se smatrati potpunim jer ne obuhvaćaju pojedina tehnološka rješenja obrade i zbrinjavanja mulja i njihove troškove. Troškovi obrade i zbrinjavanja mulja kod većine UPOV-a koji će se graditi u Hrvatskoj do 2018. godine iznosit će oko 50% ukupnih troškova poslovanja, a u određenim okolnostima uz odvoz i zbrinjavanje na većim udaljenostima mogu biti i znatno veći [6].

Kako bi se čim vjernije usporedile kvalitete muljeva na odabranima uređajima u Republici Hrvatskoj, u prvome dijelu ovoga rada nešto detaljnije će se govoriti o mulju s njegovim sastavom i značajkama te mogućim načinima obrade, dok će se u raspravi uspoređivati određena fizikalna i kemijska svojstva dobivena iz laboratorijskih analiza odabanih uređaja sa zakonski propisanim vrijednostima.

2 PROČIŠĆAVANJE OTPADNIH VODA

Pročišćavanje otpadnih voda je postupak smanjenja onečišćenja do koncentracije onečišćivala u pročišćenoj otpadnoj vodi koja ispuštena u prirodni prijemnik neće uzrokovati neželjene promjene po okoliš i ljudsko zdravlje. Ono se postiže primarnim, sekundarnim i tercijarnim stupnjevima pročišćavanja, a do kojeg stupnja kakvoće voda mora biti pročišćena ovisi o ulaznoj kvaliteti prijemne otpadne vode i tome ispušta li se pročišćena otpadna voda u iznimno osjetljivo područje, područje normalne ili male osjetljivosti [7].

Kvalitetno pristupanje rješavanja postupka pročišćavanja otpadnih voda zahtjeva poznavanje i razumjevanje sustava prikupljanja i odvodnje otpadnih voda. Uobičajena podjela otpadnih voda s obzirom na izvor njihova nastanka odnosi se na kućanske, industrijske i oborinske otpadne vode. Kao zasebna kategorija najčešće se izdvajaju i tzv. tuđe vode, odnosno sva voda koja procesima infiltracije dospijeva u sustave odvodnje kroz pukotine, propuštanja na spojevima i sl., uključivo i ilegalne priključke oborinskih voda S obzirom na vrstu otpadnih voda koje se prikupljaju i dalje podvrgavaju postupcima pročišćavanja, sustavi odvodnje dijele se na sanitarne, oborinske i mješovite. Sanitarni sustavi odvodnje su oni kod kojih dotok čine isključivo kućanske i industrijske otpadne vode, uz dodatno generiranje tuđih voda. Mješovitim sustavima odvodnje se dodatno odvode i oborinske otpadne vode čime do samih UPOV-a dolazi mješoviti dotok [8].

Svaki proces pročišćavanja otpadnih voda rezultira produktima pročišćavanja, pročišćenom vodom i tvarima izdvojenima tijekom procesa pročišćavanja. Prije bilo kakve obrade otpadna voda prolazi kroz predtretman kako bi se uklonili pijesci, masti i krupni otpaci koji mogu ometati daljnje stupnjeve obrade. Uobičajeni proces pročišćavanja sastoji se od nekoliko stupnjeva pročišćavanja otpadnih voda, pri kojima se otpadne tvari izdvajaju iz otpadne vode, a to su:

- prethodno pročišćavanje;
- primarni, sekundarni i tercijarni stupanj pročišćavanja [1].

Prethodno pročišćavanje se sastoji od rešetanja i izdvajanje krutina i krupnijih suspendiranih tvari, izdvajanja pijeska te izdvajanja masnoća. Rezultat ove razine pročišćavanja su:

- krupni otpaci, izdvojeni na grubim i finim rešetkama;
- pijesak, izdvojen na pjeskolovima;
- masnoće (ulja i masti), izdvojeni na separatoru masnoća [1].

Primarno pročišćavanje otpadnih voda obuhvaća fizikalne procese pročišćavanja otpadnih voda, taloženje ili mikrofitarciju, s ciljem uklanjanja ukupne raspršene tvari i manjeg dijela organskog onečišćenja. Najčešće korišteni primarni uređaji su: primarni taložnici i imhoffovi stošci [1]. Rezultat ove razine pročišćavanja je organski mulj primarnoga pročišćavanja (primarni mulj). Ovaj mulj štetan je po okoliš, stoga je potrebno daljnje obrađivanje ovisno o konačnom načinu zbrinjavanja. Količine izdvojenog mulja sadrže oko 20 – 30 g suhe tvari po ES (ekvivalent stanovnika) na dan, odnosno prosječno 25 g suhe tvari/ES/dan.

Sekundarno pročišćavanje otpadnih voda obuhvaća biološke procese pročišćavanja otpadnih voda, aerobnu ili anaerobnu razgradnju otopljenih organskih tvari u biološkom reaktoru te potom taloženja suspendiranih tvari. Uobičajeni sekundarni tretmani uključuju aeracijske lagune, aktivni mulj, biofiltere, produženu aeraciju aktivnim muljem i ostale procese [1]. Rezultat ove razine pročišćavanja je organski mulj sekundarnoga pročišćavanja (sekundarni mulj). Količine izdvojenog mulj sadrži oko 40 – 60 g suhe tvari/ES/dan, odnosno prosječno 55 g suhe tvari/ES/dan.

Tercijarno pročišćavanje otpadnih voda obuhvaća kombinaciju bioloških i kemijskih procesa pročišćavanja otpadnih voda. Svrha ovog stupnja pročišćavanja je uklanjanje nutrijenata (prventsveno dušika i fosfora), zatim toksičnih spojeva, preostalih suspendiranih tvari ili mikroorganizama. Ipak, ovaj stupanj rijetko se koristi u zemljama nižeg standarda jer može uključivati financijski zahtjevnije postupke kao što su: membranska filtracija (mikro, nano, ultra ili reverzna osmoza), infiltracija/perkolacija, aktivni ugljen, dezinfekcija (kloriranje, ozon, UV zračenje) [1].

3 KARAKTERISTIKE I KOLIČINE MULJA S UPOV– A

Karakteristike mulja ovise o podrijetlu i količini vode te načinu prikupljanja i stupnju obrade.

Primarni i netretirani mulj sadrži visok udio patogenih bakterija, vode, biokemijsku potrošnju kisika (BPK) i neugodnog je mirisa. Ipak, mulj sadrži mnoge hranjive tvari za biljke (npr. dušik i fosfor) i potencijalno je vrlo korisno gnojivo. Organski ugljik u mulju kada je jednom stabiliziran ima potencijal kao poboljšivač tla ili može biti transformiran u energiju pomoću procesa anaerobne digestije ili termičkom oporabom. Sastav mulja ovisi o opterećenju i sastavu otpadnih voda, kao i o tehnološkim značajkama procesa pročišćavanja otpadnih voda i mulja. 98 – 99 % ukupne čvrste tvari mulja čine korisne tvari, dok organske tvari čine 40 – 70% [8].

Kada se radi o mješovitom kanalizacijskom sustavu, otpadna voda može sadržavati onečišćivala (npr. teške metale, farmaceutske proizvode) koji dolaze iz industrija ili su posljedica drugih sličnih aktivnosti, a takva onečišćivala kasnije se koncetriraju u mulju. U tom slučaju prikupljanje mulja na licu mjesta smatra se sigurnijim, ako se radi o daljnjoj ponovnoj uporabi. Potrebna obrada mulja, ovisi prvenstveno o njegovim početnim karakteristikama i konačnoj upotrebi. Glavni ciljevi obrade su smanjenje udjela vode, BPK, patogenih bakterija i svih neugodnih mirisa. Opcije za obradu mulja su višestruke, a uključuju zgušnjavanje, uklanjanje vode/sušenje, kao i stabilizaciju odnosno kompostiranje. Sadržaj vode u sirovom mulju je čak 98%, što ga čini neprikladnim za kompostiranje i čini prijevoz i rukovanje teškim i skupim. Zgušnjavanjem mulja u sedimentacijskom bazenu sadržaj vode može se smanjiti i do 90%. Centrifugiranjem i sušenjem smanjuje se sadržaj vode tako da mulj sadrži oko 20% suhe tvari (ST). Uklanjanje vode je brže, ali zahtijeva energiju za daljnje filtriranje ili centrifugiranje dok sušenje traje dulje, čak i nekoliko tjedana, ali ne zahtijeva energiju jer se voda isparava i ispušta [1].

3.1 Vrste mulja s UPOV-a

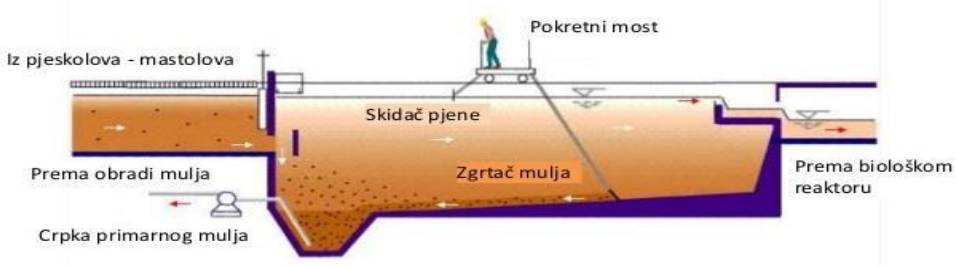
Ovisno o stupnju obrade otpadne vode, mulj koji nastaje može se klasificirati kao:

- primarni (sirovi) mulj,
- aktivni (biološki) mulj [3], [7], [9].

3.1.1 **Primarni (sirovi) mulj**

Primarni ili sirovi mulj izdvaja se na UPOV-ima I. stupnja pročišćavanja s prethodnim taložnicima, flotacijom, mikrositima i dr. [3].

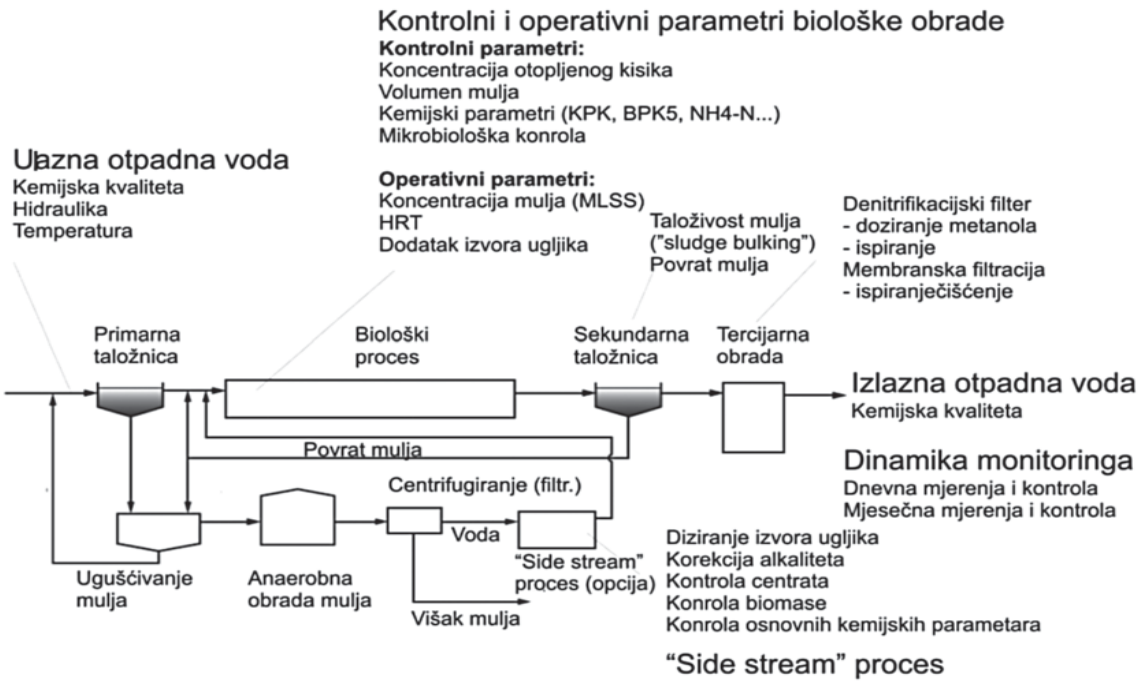
Primarni mulj, odvodi se iz prethodnih sedimentacijskih taložnika. Sadrži uglavnom sve lako odvojive tvari iz otpadnih voda i 1% sadržaja prikupljenog kao mulj, ima veliki udio organskog sadržaja (uglavnom fekalne tvari i ostatke hrane) te se zbog toga brzo razgrađuje. Primarni mulj sive je boje i ima neugodan miris po fekalijama. Ovaj mulj čini 50 – 60 % ukupne početne suspendirane krute tvari u ulaznoj otpadnoj vodi koja dolazi na uređaj. Uobičajene koncentracija krutih tvari u sirovom primarnom mulju od taloženja komunalnih otpadnih voda iznosi 6 – 8 %, a udio hlapivih tvari varira 60 – 80 %. Primarni precipitati mogu se lako odstraniti nakon kemijskog kondicioniranja zbog njihove vlaknaste i krupnozrnate prirode [9]. Sljedeća slika (Slika 1.) prikazuje shemu rada pravokutnoga prethodnoga taložnika.



Slika 1. Pravokutni prethodni taložnik [10]

3.1.2 **Aktivni (biološki) mulj**

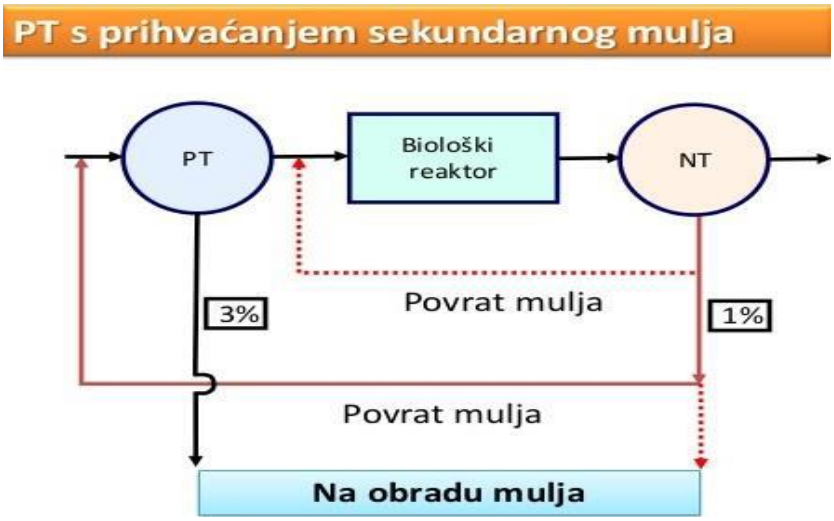
Najznačajniji stupanj obrade otpadnih voda je sekundarni - biološki postupak, odnosno tehnologija aktivnog mulja, a provode ga različite mikrobne zajednice u prisutnosti kisika. Mikroorganizmi razgradnjom organske tvari, prisutnoj u otpadnoj vodi kao onečišćivala, dobivaju energiju za svoj rast i održavanje, pri čemu se kao nusproizvodi dobivaju CO_2, H_2O i nova stanična biomasa. U aktivnom mulju su također zastupljeni mikroorganizmi koji tijekom postupka nitrifikacije energiju dobivaju pretvorbom amonijačnog dušika u nitratni. Cjelokupna mikrobna zajednica koja provodi biološke procese razgradnje i pretvorbe naziva se aktivni mulj. Cilj biološke obrade otpadnih voda (Slika 2.) je uklanjanje organske i anorganske tvari metaboličkim postupcima rasta i razmnožavanja mikrobnih stanica, nitrifikacije i denitrifikacije, taloženjem i odvajanjem mikrobne biomase kako bi se dobila pročišćena otpadna voda i mikrobna biomasa koja se izdvaja vraćanjem dijela istaloženih mikroorganizama ponovno u sustav te izvlačenjem suviška prirasle mikrobne biomase kao višak aktivnog mulja [7].



Slika 2. Kontrolni i operativni parametri u obradi otpadnih voda tehnologijom aktivnog mulja [7]

Omjer količine proizvedene biomase prema količini potrošenog supstrata definiran je kao prinos biomase. U aerobnim uvjetima, prinos rasta može doseći 0,60 - 0,70 što znači da se 60-70% organskih biorazgradivih tvari uklanja u biološkom tretmanu te pretvara u novu staničnu biomasu. Zbog biološkog rasta i nakupljanja djelomično degradiranih krutih tvari prisutnih u sirovoj otpadnoj vodi, višak mulja se na kraju nakuplja iznad željene koncentracije suspendiranih čestica miješane suspenzije (MLSS) u spremniku za aeraciju. Tipične koncentracije krutina u sekundarnom mulju iz procesa aktivnog mulja su 1 - 2%, a udio hlapivih čvrstih tvari varira od 50% do 85%. Osim toga, hranjive tvari iz otpadnih voda trebaju se tretirati prije ispuštanja, u tom smislu, postoji manja proizvodnja mulja proizvedenog nakon procesa uklanjanja bioloških hranjivih tvari [9].

Aktivni ili biološki mulj izdvaja se na UPOV-ima II. i III. stupnja pročišćavanja na biološkim reaktorima procesima aerobne i anaerobne razgradnje organskih tvari [3]. Na slici ispod (Slika 3.) prikazana je shema prethodnog taložnika s prihvaćanjem sekundarnog mulja.



Slika 3. Biološki reaktor [10]

3.2 Sastav i svojstva mulja

Muljevi se jedan od drugoga, razlikuju prema svojstvima, a ona se mogu podijeliti na: fizikalna, kemijska i biološka. Ovisno o svojstvima mulja određuje se tehnologija koja će se primjenjivati za njihovu obradu [9]. Svojstva mulja određena su pak njegovim sastavom.

3.2.1 **Fizikalno-kemijski sastav mulja**

Sastav mulja, odnosno fizikalno – kemijska svojstava ovise prvenstveno o vrsti mulja, tj. o stupnju obrade. Razlika u sastavu uočava se u vrijednostima udjela ukupne suhe tvari, topivih etera, koncentriranih etera, celuloze te željeza, što je vidljivo u sljedećoj tablici (Tablica 1.). Osvrne li se na ostale prisutne vrijednosti, primjećuje se podudarnost vrijednosti (udio kalija). Vrijednosti pH u oba stupnja obrade mulja se kreću u rasponu blago kiselog do blago lužnatog [9].

Tablica 1. Karakteristični kemijski sastav i svojstva primarnog i biološkog mulja [9]

Komponenta	Primarni mulj	Aktivni mulj
Ukupna suha tvar (ST), %	2 -8	0,83 – 1,16
Hlapive tvari, % ST	60 - 80	50 -88
Masti i ulja,% ST		
Topivi eter	6 - 30	-
Koncentrat etera	12966	5 – 12
Proteini, % ST	20 - 30	32 -41
Dušik, % ST	1,5 - 4	2,4 – 5
Fosfor (P_2O_5), % ST	0,8 – 2,8	2,8 – 11
Kalij (K_2O), % ST	0 -1	0,5 – 0,7
Celuloza, % ST	8 -15	-
Željezo (ne kao sulfid)	2 - 4	-
Alkalnost, mg/l $CaCO_3$	500 - 1500	580 – 1,100
Organske kiseline, mg/l H_{ac}	200 - 2000	1,100 – 1,700
Energetska vrijednost	10,000 – 12,500	8,000 – 10,000
pH	5 - 8	6,5 – 8,0

U sljedećim tablicama (Tablica 2. i Tablica 3.) prikazana su osnovna fizikalno – kemijska svojstva miješanog mulja. Posebno je bitno primjetiti različite vrijednosti udjela hlapive tvari, ukupnoga organskoga ugljika, ukupnoga dušika i fosfora te omjera ugljika i dušika u različitim fazama obrade mulja. Naime, u sljedećoj tablici (Tablica 2.) vidljivo je kako je najveći postotak udjela hlapive tvari prisutan u miješanome kanalizacijskom mulju. Vrijednosti ukupnoga organskoga ugljika podjednake su u miješanome kanalizacijskom mulju i u anaerobno digestiranome mulju, odnosno u slučaju miješanoga kanalizacijskog mulja kreću se od 360 - 412 g kg^{-1} dok se u anaerobnome mulju kreću u granicama 340 – 412 g kg^{-1}. Najveća vrijednost ukupnoga dušika prisutna je u biougljenu i ona iznosi 22.525 g kg^{-1}. Usporedno sa zasebnim vrijednostima ukupnoga dušika i ukupnoga organskoga ugljika u tablici su prikazani i omjeri ugljika i dušika u različitim stupnjevima obrade. Daleko najveće vrijednosti zabilježene su u miješanome kanalizacijskom mulju i u anaerobno digestiranome mulju s obzirom da se tu radi o početnim fazama obrade. Vrijednosti ukupnoga fosfora također ovise o stupnju obrade pa su tako najveće zabilježene u miješanome kanalizacijskom mulju [9].

Tablica 2. Kemijski sastav i svojstva neobrađenog kanalizacijskog mulja, mulja iz anaerobne digestije, kompostiranog mulja, termički osušenog mulja, biougljena i pepela mulja [9]

Svojstva/sastav	**Jedinica**	**Miješani kan. mulj**	**Anaerobno digestirani mulj**	**Kompost**	**Osušeni mulj**	**Biougljen**	**Pepeo mulja**
Udio hlapive tvari	%	43 – 80	56 - 76	55 – 76	64 – 69	25	<1
Sadržaj pepela	%	20 – 57	44 – 24	32 – 45	31 – 36	75	>99
pH		4,5 – 8,3	8,4	6,5 – 7,8	6,9 – 7,2	6,7 – 9,5	-
Elekrična vodljivost	mS cm^{-1}	1,1 – 11,9	2,3	1,2 – 8,5	1,5 – 6,2	0,6 – 1,9	-
Molalnost	cmol kg^{-1}	9,2	-	-	-	2,3 – 35	-
Respiracijski indeks	mg O_2 g^{-1} VS h^{-1}	2,5 – 9,5	2 – 5	1,3 – 2,1	-	-	-
TOC	g kg^{-1}	360 – 412	340 – 412	181	296	179	-
Omjer C/N	g kg^{-1}	42562	42560	7,5 – 13	8,3	9	-
Ukupni N	g kg^{-1}	15 – 62	39 – 59	22 – 39	36 - 61	22525	-
Ukupni P	g kg^{-1}	15432	34	13 – 28	13 - 29	20 – 42	23 – 93
S	g kg^{-1}	8,9	8 – 15	-	-	0,4 – 1	6,6 – 8,9

Važna fizikalna svojstva određena su udjelom čvrste tvari i organske tvari. Udio ukupne čvrste tvari određuje mogućnosti primjene mulja na tlu. Organska tvar je važan sastavni dio biološke tvari i njegova upotreba poboljšava sadržaj organske tvari u tlu. U pješčanim tlima organska tvar povećava kapacitet zadržavanja vode, agregaciju tla i druga fizikalna svojstva tla. Smanjuje zapreminsku gustoću tla i povećava kapacitet izmjene kationa, svojstvo važno za opskrbu biljaka nutrijentima [9].

U sirovom stanju veličina čestica primarnog mulja može biti: veća od 7 mm (5 – 20%), 1 - 7 mm (9 – 33%) i manja od 1 mm (50 – 88%) od čega je oko 45 % manje od 0,2 mm. U aktivnom mulju približna raspodjela čestica je: 90 % ispod 0,2 mm, 8 % između 0,2 i 1 mm, 1,6 % između 1 i 3 mm i 0,4 % većih od 3 mm. Organski dio mulja brže se raspada povećanjem broja potpuno dispergiranih i koloidnih čestica i vezane vode što rezultira smanjenjem izdvajanja vode iz mulja [11].

Gustoća primarnog mulja iznosi 1,0 – 1,03 g/cm^3, dok je gustoća aktivnog mulja oko 1,0 g/cm^3. Gustoća krutih čestica primarnog mulja je 1,2 – 1,4 g/cm^3. Primarni muljevi čija vrijednost udjela čvrste tvari prelazi 5% i aktivni mulj s udjelom čvrste tvari iznad 3% u cjevovodu uzrokuju velike gubitke jer su tiksotropni, odnosno postaju manje viskozni kada se miješaju [11].

Specifična toplina mješavine primarnog i zgušnjavanog mulja iznosi 3,5 – 4,7 x 10^3 kJ/kg·K. Toplinska vrijednost izgaranja mase čvrste čestica iznosi 16,7 – 18,4 MJ/kg. Mulj gori na temperaturi 430 – 500°C, međutim kako bi iz njega bili uklonjeni neugodni mirisi temperatura se treba povećati na 800 – 850 °C. U procesu anaerobne digestije aktivnog mulja, proizvede se 15 MJ topline po kilogramu hlapivih suspendiranih krutih tvari [11].

Dehidracija, proces je prirodnog ili mehaničkog uklanjanja vode iz mulja. Voda može biti prisutna u mulju kao slobodna voda ili vezana za čestice fizički ili kemijski. Što je više vezane vode prisutno u mulju, potrebno je više energije ili reagenata za uklanjanje vezane

vode. Odvajanje vode od mulja ovisi o veličini čvrstih čestica; što su čestice manje, to je manje i uklanjanja vode iz mulja. Stoga, svaki proces obrade mulja koji smanjuje veličinu suspendiranih čestica ima negativan učinak na kondicioniranje i uklanjanje vode iz mulja [11].

Udio suhe tvari u mulju ovisi o tehnološkoj fazi obrade te su u tablici (Tablica 3.) u nastavku prikazani rasponi vrijednosti udjela suhe tvari.

Tablica 3. Udio suhe tvari u mulju u pojedinim fazama pročišćavanja [3]

Tehnološka faza	**Udio suhe tvari (%)**	
	Raspon vrijednosti	**Karakteristična vrijednost**
Prethodni taložnik		
Primarni mulj	5 – 9	6
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
Naknadni taložnik		
Aktivni mulj uz prethodno taloženje	0,5 – 1,5	0,8
Aktivni mulj bez prethodnog taloženja	0,8 – 2,5	1,3
Prokapnik	1 – 3	1,5
Okretni biološki nosač	1 - 3	1,5
Anaerobna digestija		
Primarni mulj	2 -5	4
Mješavina primarnog i aktivnog mulja	1,5 -4	2,5
Primarni mulj i mulj iz prokapnika	2 -4	3
Aerobna digestija		
Primarni mulj	2,5 - 7	3,5
Mješavina primarnog i aktivnog mulja	1,5 - 4	2,5
Primarni mulj i mulj iz prokapnika	0,8 – 2,5	1,3

U tablici (Tablica 4.) u nastavku prikazana je obrnuto proporcionalna ovisnost smanjenja volumena i povećanja udjela suhe tvari za različito obrađene muljeve.

Tablica 4. Smanjenje volumena mulja te povećanje udjela suhe tvari [3]

	Sirovi mulj	Zgusnuti mulj	Dehidrirani mulj	Sušeni mulj	Spaljeni mulj
Udio suhe tvari (%)	1	5	25	90	100
Smanjenje obujma mase u odnosu na sirovi mulj	1	5	25	90	330
Smanjenje obujma (%)	100	20	4	1,11	0,30

Važna kemijska svojstva mulja određena su vrijednostima: pH, udjela topivih soli, biljnih hranjivih tvari (makro i mikro), esencijalnih i neesencijalnih elementa u tragovima, organske tvari. pH većine biomasa (bilo tekućina, polučvrstih i čvrstih tvari) općenito je u rasponu 7 – 8, osim ako se tijekom procesa obrade otpadnih voda ne dodaje vapno. Hranjive tvari su među najznačanijim kemijskim svojstvima biomasa, glavni hranjivi sastojci su: dušik (N), fosfor (P) i kalij (K). Ostali makronutrijenti su kalcij (Ca), magnezij (Mg) i sumpor (S). Pristuni mikronutrijenti u mulju su: bor (B), bakar (Cu), željezo (Fe), mangan (Mn), molibden (Mo), nikal (Ni) i cink (Zn) [9].

Neki UPOV-i koriste kemijska sredstva kako bi se ubrzali ili poboljšali tehnološki procesi. Kemijska sredstva dodaju se u otpadnu vodu i mulj, a njihov najveći dio završava u muljevima povećavajući im ukupni volumen te masu, ali isto tako ona utječu i na kvalitetu i svojstva mulja. Zbog svog sastava i količine u kojoj nastaju, muljevi se smatraju velikim ekološkim i tehnološkim problemom svakog javnog sustava odvodnje. U Hrvatskoj se mulj s UPOV–a još uvijek najvećim dijelom odlaže na odlagalištima otpada ili UPOV-a. Kako bi se riješio problem zbrinjavanja otpadnog mulja, potrebne su opsežne analize i istraživanja, uz zadovoljenje zakonskih odredbi i propisa, uzimajući u obzir temeljna ishodišta kao što su [12]:

- raspoloživost za eventualnu upotrebu i recikliranje muljeva,
- kakvoća mulja s gledišta mogućnosti primjene za različite namjene,
- energetska vrijednost mulja,
- jedinična količina proizvedenog mulja,
- kemijski sastav mulja u odnosu na različite mogućnosti njegove obrade na samome uređaju,
- mogućnost centralizirane obrade,

- trošak odvoza stabiliziranog i dehidriranog mulja van granica RH i dr.

Bitno je naglasiti kako kemijski sastav mulja pretežito ovisi o karakteristikama otpadnih voda koje se pročišćavaju na UPOV-ima. Sadržaj glavnih elemenata mulja ovisi o procesima koji se primjenjuju na UPOV-ima i drugim čimbenicima kao što je npr. razina industrijske aktivnosti na slivnom području u slučajevima kada se radi o mješovitom ili razdjelnom sustavu odvodnje i dr. Kao glavni pokazatelj kemijskih svojstava mulja za moguću daljnju obradu i zbrinjavanje, u obzir se uzimaju količine teških metala sadržane u mulju [12].

U tablici ispod (Tablica 3.) prikazane su vrijednosti udjela teških metala, polikloriranih bifenila te ostalih kemijskih svojstva miješanoga mulja sa svojim različitim koncentracijama ovisno o stanju mulja u kojemu su prisutni. Kalcij i magnezij prisutni su u miješanome kanalizacijskom mulju, anaerobno digestiranom mulju te u biougljenu i pepelu mulja. Bakar i cink prisutni su u velikim količinama i to u svim promatranim stanjima mulja [9].

Tablica 5. Kemijski sastav neobrađenog kanalizacijskog mulja, mulja iz anaerobne digestije, kompostiranog mulja, termički osušenog mulja, biougljena i pepela mulja [9]

Sastav	**Jedinica**	**Miješani kan. mulj**	**Anaerobno digestirani mulj**	**Kompost**	**Osušeni mulj**	**Biougljen**	**Pepeo mulja**
Ca	g kg-1	10 – 38	19 – 50	-	-	2 – 15	66 – 163 Mg
Mg	g kg-1	4 – 26	0,3 -19,2	-	-	3 – 15	16 - 35
Na	g kg-1	0,7 – 1,5	-	2,5	-	1 – 2,7	3,6 – 32
K	mg kg-1	1,9 – 6,5	2,3	2,8 – 5,0	2,2 – 4,3	1,2 – 16	42669
Al	mg kg-1	8	-	-	-	-	37 – 67
Cu	mg kg-1	151 – 800	993	139 – 743	645 - 823	400 – 2100	553 – 4775
Co	mg kg-1	30	-	15	-	21	42 – 553
Cr	mg kg-1	54 – 500	54	30 – 345	30 - 217	230	114 – 1402
Ni	mg kg-1	17 – 80	64	19 – 105	42 - 85	35 – 740	63 – 369
Cd	mg kg-1	0,6 – 3,6	3,2	<0,5 – 4,4	<0,5 – 3,6	1,8 – 9,8	1,7 – 15,6
Zn	mg kg-1	588 – 1700	998	600 – 1385	800 – 1346	900 – 3300	384 – 4303
Pb	mg kg-1	28 – 3940	78	67 – 1196	75 - 3747	130 – 750	122 – 999
Mn	mg kg-1	188 – 395	-	173 – 241	-	253 – 667	470 – 2510
Hg	mg kg-1	0,4 – 8	-	2,4 – 2,8	2,7	-	1,1
NPE (nonifenol + etoksilat)	mg kg-1	489 – 2556	513 – 961	24 – 363	14 - 3150	-	-
PCB (poliklorirani bifenili)	mg kg-1	0,01 – 0,35	0,023	0,01 – 0,06	0,01 – 0,06	-	-
PAH (policiklički aromatski ugljikovodici)	mg kg-1	0,1 – 5,3	1,1	<0,01 – 16	0,2 – 7,4	1 – 100	-
DEHP (di-2-etil-heksil-ftalat)	mg kg-1	2 – 164	143	2 – 120	589138	-	-
LAS (linearni alkilbenzen sulfonati)	mg kg-1	816 – 3240	3240	214 – 2879	331 - 5572	-	-
PCDD/F (poliklorirani dibenzodioksini i furani)	ng TEQ kg-1	7 - 15	7,7	11 – 55	12 – 77	-	-

3.2.2 **Biološki sastav mulja**

Udio patogenih organizama u mulju, smatra se najvažnijim biološkim sastavom biomase mulja. Budući da patogeni organizmi preživljavaju procese pročišćavanja otpadnih voda, potrebno je izbjegavati ili ograničiti izravnu primjenu otpadnog mulja u poljoprivredne svrhe. Daljnja obrada, kao što je digestija, kompostiranje, alkalna stabilizacija ili sušenje, povećava mogućnosti daljnje uporabe. Prisutost patogenih mikroorganizama kao što su virusi, bakterije i gljivice uključuju potencijalni rizik koji može utjecati na organizme ili biljke u tlu na koji se ovakav mulj odlaže i može prouzročiti promjene u mikrobnoj strukturi i svojstvima tla. S druge strane, primjena otpadnog mulja u poljoprivredi pojačava mikrobiološku populaciju, što povećava brzinu raspadanja organskih tvari u tlu [9].

Sirovi mulj može sadržavati patogene mikroorganizme, jaja, crve i druge parazite kao i saprofitne organizme [8].

4 POSTUPCI OBRADE MULJA S UPOV–a

U ovisnosti o načinu konačnog zbrinjavanja mulja najčešće se određuje i postupak njegove prethodne obrade. Jedinstven način zbrinjavanja mulja, a u odnosu na relevantne čimbenike (svojstva otpadne vode, stupanj i tehnologija čišćenja otpadne vode, svojstva i količina proizvedenog mulja, kapacitet UPOV- a, zakonski propisi, mjesne prilike, troškovi izgradnje i održavanja i dr.) ne postoji. Potrebno je za svaki UPOV odabrati način konačnog zbrinjavnja mulja [3].

Govori li se o daljnjoj upotrebi mulja vrlo je bitno imati na umu kako različite mogućnosti korištenja mulja zahtijevaju primjenu određenih postupaka prilikom njegove obrade. Primjerice, ukoliko se iz mulja želi izdvajati fosfor, što danas predstavlja jedan od svjetskih trendova, potrebno je postići niske razine pH vrijednosti mulja, što isključuje stabilizaciju ili dodatnu dehidraciju mulja vapnom. S druge strane, ukoliko se mulj želi koristiti u betonskoj industriji, kao zamjena cementa ili agregata, poželjno je koristiti mulj sa što većom pH vrijednosti mulja, pri čemu se stabilizacija ili dodatna dehidracija mulja vapnom ocjenjuju poželjnim [3].

Mulj, sirovi ili obrađeni, ne smije se ispuštati u vodne sustave, što uključuje i more, radi zaštite vodnih sustava. Jedina mogućnost konačnog odlaganja mulja ili ostataka obrade mulja je tlo. Nadzirano odlagalište na/u tlu može biti građeno samo za mulj ili zajedničko i za ostali kruti komunalni otpad. Nadzirano odlagalište mora zadovoljavati sve zdravstvene, ekološke i gospodarske uvjete [13].

Obrada mulja ovisi ne samo o sastavu, karakteristikama i podrijetlu mulja, nego i o dostupnim mogućnostima upotrebe ili mjestu i načinu konačnoga odlaganja.

Obrada mulja, kao i način konačnog odlaganja u okolinu, ovisi o osobinama mulja. Primarni ciljevi obrade otpadne vode su smanjenje obujma u svakoj fazi obrade radi smanjenja troškova daljnje obrade, a onda i manje površine tla na kojem se odlaže otpadna

tvar te nadziranje daljnje razgradnje otpadne tvari kako bi se spriječile neželjene posljedice na okoliš. Posebno je važno obratiti pažnju na [13]:

- količinu suhe tvari u mulju, koja se obično izražava u g/l ili masenim udjelom (sušenje na 105°C),
- količinu suhe tvari koja ishlapi na tempraturi 550 – 600°C. Izražava se u postotku ukupne suhe tvari. Ako je riječ o biološkom mulju, ishlapljene tvari približno su jednake organskoj tvari, koja je svojstvena po dušikovim spojevima,
- težinu pojedinih sastojaka mulja koja je posebno značajna s obzirom na mogućnost konačnog odlaganja. Količina ugljika i vodika određuje ogrjevnu moć mulja, a dušika i fosfora ukazuje na prikladnost primjene u poljoprivredi. Količina teških metala pokazatelj je otrovnosti.

U sljedećim poglavljima ukratko su navedeni načini obrade otpadnog mulja.

4.1 Zgušnjavanje mulja

Zgušnjavanje mulja je proces u kojem se dolazi do smanjenja volumena mulja, no još uvijek se zadržava tekuće stanje mulja, kako bi se smanjili troškovi njegove kasnije obrade, kao i troškovi izgradnje objekata koji slijede na liniji obrade mulja [3], [11]. Smanjenje obujma vode izražava se jednadžbom (1)[8]:

$$\boldsymbol{Q_i = Q_u \frac{C_u}{C_i}} \qquad (1)$$

gdje su:

Q_i i Q_u – količina mulja nakon i prije zgušnjavanja [m^3],

C_i i C_u – koncentracija suhe tvari nakon i prije zgušnjavanja [m^3].

Ovisno o svojstvima mulja i primijenjenom tehnološkom rješenju, zgušnjavanjem se postiže udio suhe tvari u mulju 2 – 12%. Razlikuju se tri osnovna postupka:

- gravitacijsko zgušnjavanje,
- zgušnjavanje isplivavanjem,

- mehaničko zgušnjavanje (centrifuga, gravitacijska traka i rotacijski bubanj) [3].

4.1.1 **Gravitacijsko zgušnjavanje (taloženje)**

Najjednostavniji postupak uklanjanja vode iz mulja je taloženje. To je proces pri kojem se sirovi mulj uvodi u taložnik (zgušnjivač). Zgušnjivač može biti statički (primjenjuje se kod manjih uređaja, promjer spremnika 5 m) i dinamički, imaju sličnu strukturu sedimentacijkih spremnika. Obično su kružnog oblika, sa središnjom prihranom, dok se u donjem dijelu vrši ispuštanje mulja i plutajućih čestica preko njihovog perimetra. Zgusnuti mulj usmjeren je na sljedeću fazu, obično digestiju, a plutajuće čestice vraćaju se na glavno postrojenje. Statički zgušnjivač zadržava mulj jedan do jedan i pol dan. Višak vode se preljeva na vrhu spremnika, a mulj ispušta na dnu. Kod većih uređaja primjenju se dinamički zgušnjivači u kojima su ugrađene mješalice mulja s vrlo malom brzinom obilaska, promjer spremnika je 60 m. Dinamički zgušnjivači dimenzioniraju se prema dnevnom opterećenju suhe tvari po m² površine taložnika. Zgušnjavanje taloženjem pogodno je za muljeve koji sadrže krutine veće gustoće [14].

4.1.2 **Zgušnjavanje isplivavanjem (flotacija)**

Ovaj proces koristi se kada se radi o muljevima male gustoće – aktivni mulj. Pri upuhivanju zraka održavaju se uvjeti visokog tlaka. Kada dođe do smanjenja tlaka, otpušta se otopljeni zrak, pri čemu se formiraju mjehurići koji svojim podizanjem prema površini za sobom povlače i čestice mulja koje se na taj način lakše uklanjaju, odnosno skupljaju se obiračima i odvode na daljnu obradu. Vrijeme zadržavanja je oko 30 min. Flotacija je široko primjenjiva u slučaju aktivnog mulja, koji se ne zgusne tijekom gravitacijskog zgušnjavanja. Također, koristi se i u postrojenjima za obradu gdje se prakticira biološko uklanjanje fosfora. U tom slučaju, potrebno je održavanje aerobnih uvjeta kako bi se izbjeglo oslobađanje fosfora u tekućoj fazi u obliku otopljenoga fosfora. Spremnici u kojima se vrši flotacija obično se brže pune od onih gdje se odvija gravitacijsko zgušnjavanje. Kako bi se pospješilo „hvatanje“ čvrstih tvari u plutajućem mulju, dodaju se

polimeri. Uobičajene doze su između 2 i 5 kg suhog polimera po toni uobičajene čvrste tvari [14].

4.2 Dehidracija mulja

Dehidracija mulja je postupak koji se temelji na fizikalnim procesima, kojim se iz mulja uklanja višak vode te je učinkovitiji od procesa zgušnjavanja u reduciranju vlažnosti mulja [3], [11]. Zbog popriličnog smanjenja volumena mulja, ovaj postupak smanjuje troškove odvožnje i operativne troškove kasnijeg rukovanja muljem [11]. Ovisno o svojstvima zgusnutog mulja, primijenjenom tehnološkom rješenju te mogućnosti dodavanja određenih kemijskih sredstava (CaO, $FeCl_3$ i dr.), dehidracijom se postiže udio suhe tvari u mulju 25 – 35 %. Osnovna tehnološka rješenja dehidracije mulja su [3]:

- fizikalno ulanjanje vode (polja za sušenje mulja),
- mehaničko uklanjanje vode (centrifuge, trakaste filter preše, vakuumske filter preše).

Odabir određenog postupka određen je vrstom mulja i volumenom koji je potrebno reducirati, ali i dostupnom prostoru za odlaganje. Nadalje, postupak dehidracije mulja prethodi postupcima kompostiranja i termičke obrade mulja [11].

4.3 Kondicioniranje mulja

Kondicioniranje mulja prethodi procesima zgušnjavanja i dehidracije mulja, budući da se biološkim, kemijskim i/ili fizikalnim tretmanom mulja pospješuje odvajanja čvrstih tvari od tekućine. Može se provesti anorganskim ili organskim kemikalijama, dodavanjem lebdećeg pepela ili fizikalnim procesima kao što su grijanje, ispiranje, zamrzavanje i odmrzavanje. Međutim, kondicioniranje je potrebno pospješiti dodavanjem manjih količina kemijskih tvari. Osim pospješavanja dehidracije, neki procesi kondicioniranja dezinficiraju mulj, utječu na redukciju mirisa, omogućavaju razgradnju ili zgušnjavanje ograničene količine čvrste tvari [11].

Kemijsko kondicioniranje najčešće prethodi postupcima zgušnjavanja i dehidracije mulja. Kemijsko kondicioniranje može se promatrati kao koagulacija ili flokulacija neutralizacijom koloidnih površine sa suprotno nabijenim organskim polimerima ili anorganskim kemikalijama. Veličina čestica najvažnija je značajka za dehidraciju mulja. Dodavanjem kemikalija povećava se veličina čestica, dok se vezana voda smanjuje. Vrsta i količina dodanih kemikalija ovisi od uređaja do uređaja [11].

Ostale korištene metode kondicioniranja mulja uključuju dodavanje nekemijskih sredstava za kondicioniranje, termičko kondicioniranje, kondicioniranje zamrzavanjem i odmrzavanjem te ispiranje [11].

4.4 Stabilizacija mulja

Stabilizacijom mulja postiže se inhibicija, smanjenje ili eliminacija mogućnosti daljnje razgradnje mulja (razgradnje organske tvari uz pomoć mikroorganizama). Mogući postupci stabilizacije mulja su:

- biološka stabilizacija,
- kemijska stabilizacija,
- toplinska stabilizacija [3].

Izuzev kemijske alkalne stabilizacije, ostalim procesima stabilizacije reducira se volumen otpadnog mulja[11].

4.4.1 **Biološka stabilizacija mulja**

Biološka stabilizacija mulja podrazumijeva primjenu jednog od dva postupka biološke razgradnje organske tvari:

- aerobnu (uz prisutnost kisika) ili
- anaerobnu (bez prisutnosti kisika) [1], [3].

Aerobna stabilizacija koristi se za stabilizaciju samo biološkog mulja ili mješavine biološkog i primarnog mulja te za mulj iz uređaja s produženom aeracijom. Uglavnom se primjenjuje na manjim UPOV-ima. Prednosti aerobne stabilizacije ogledaju se prvenstveno u dobivanju mulja u obliku humusa, biološki stabilnog produkta sa značajno smanjenim emisijama neugodnih mirisa. Nadalje, tehnologija aerobne stabilizacije mulja ocjenjuje se jednostavnom. Značajni su i relativno mali troškovi početne investicije, a eliminirani su eventualni sigurnosni rizici vezani uz mogućnosti nakupljanja eksplozivnih plinova. Osnovni nedostaci ogledaju se u značajnim pogonskim (energetskim) zahtjevima za opskrbu kisikom i miješanje, nemogućnosti energetskog iskorištavanja nusproizvoda (budući da ne dolazi do produkcije metana), a potrebno je istaknuti i znatno lošije karakteristike dobivenog mulja s obzirom na mogućnosti njegove daljnje dehidracije [11].Kod srednjih, a posebice većih UPOV-a, preporuča se primjena anaerobne stabilizacije mulja. Naime, to je jedini biološki postupak kojim se može iskoristiti energetska razina mulja. Bioplin, koji je proizvod anaerobne stabilizacije sadrži oko 2/3 metana i 1/3 ugljikovog dioksida i ima donju ogrjevnu moć od 6,63 kWh/m3 plina [3]. Predstavlja najjeftiniji način obrade jer nema dodatnog unosa energije, dok se ostatak “kolača“ i dalje može koristiti kao poboljšivač tla. Međutim, kada mulj sadrži velike koncentracije teških metala ili postojanih onečišćujućih tvari, anaerobna stabilizacija nije najbolja opcija, budući da mulj koji tada nastaje nije pogodan za upotrebu u poljoprivredi [1].

Kada se pravilno obrađuje, otpadni mulj može se smatrati i biomasom. U tom slučaju može se koristiti i kao korisna sirovina, npr. prilikom uređenja okoliša. Primjena biomase može pridonijeti stvaranju novog tla ili povećati fizikalna i kemijska svojstva postojećeg tla, čime se prvenstveno smanjuje upotreba pesticida. Otpadni mulj se može koristiti i kao izvor energije, ako je dovoljno suh, može se izravno spaljivati, pirolizom ili plinifikacijom pri čemu nastaje bioplin ili bio-ulje [1].



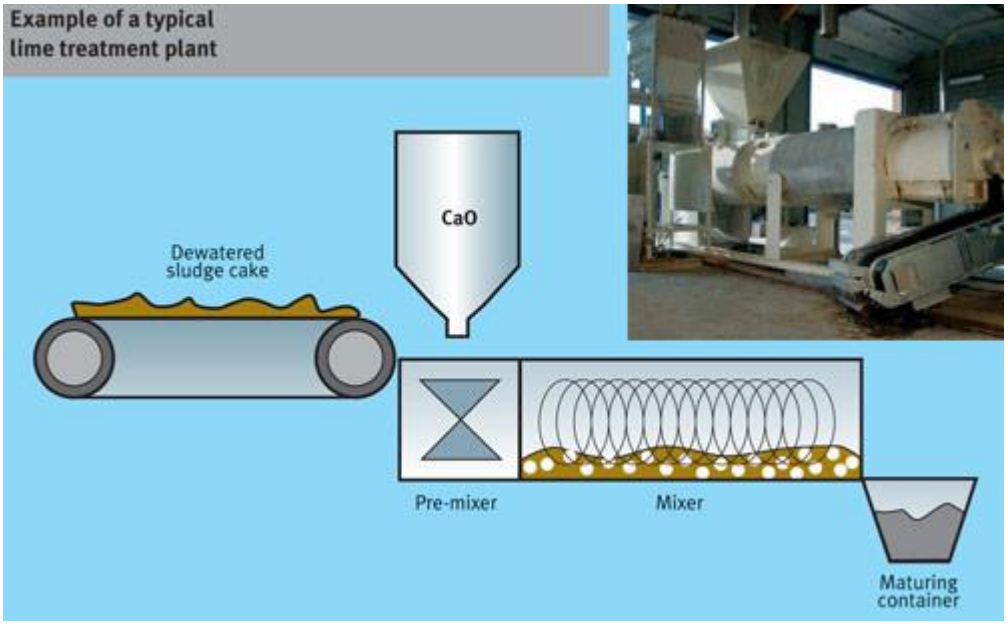
Slika 4. Postrojenje za anaerobnu obradu mulja na UPOV Zagreb [15]

Anaerobna stabilizacija odvija se bez prisutnosti zraka u dvije faze. Prva faza je kiselo vrenje, gdje se djelovanjem mikroorganizama, kompleksne organske tvari razgrađuju u niže organske spojeve poput organskih kiselina, alkohola i drugih spojeva. Druga faza je metanska faza i uključuje razgradnju u metan, ugljični dioksid, vodu i amonijak pod djelovanjem bakterija metanskog vrenja. Razgradnja mulja u drugoj fazi je osjetljiva na promjene temperature, pH vrijednost i prisutnost otrovnih tvari. S obzirom da je postupak osjetljiv na promjene uvjeta, proces se treba odvijati u zatvorenim objektima, digestorima. Digestori trebaju biti izvedeni na način da se u njima može održavati željena temperatura i da rade pod niskim opterećenjem. [11] Na slici iznad (Slika 4.) prikazani su prilagođeni digestori za potrebe anaerobne obrade mulja na UPOV-u Zagreb.

4.4.2 **Kemijska stabilizacija mulja**

Kemijska stabilizacija mulja jedna je od popularnijih metoda stabilizacije, a uz sebe najčešće povezuje korištenje vapna. Tradicionalno se koristi u postojenjima za pročišćavanje otpadnih voda kako bi se podigao pH u anaerobnim digestorima, kako bi se uklonio fosfor u naprednom postupku pročišćavanja otpadnih voda i za kondicioniranje mulja prije vukuumske filtracije. Primarni cilj kondicioniranja mulja vapnom je pospješenje

uklanjanja vode iz mulja, ali s vremenom je opaženo kako se smanjuju i mirisi te razina patogenih organizama. Standardni pristup stabilizaciji mulja vapnom je dodavanje vapnene suspenzije tekućem mulju u dovoljnoj količini kako bi se postigao pH od 12 ili više, dva sata nakon dodavanja. Visoki pH stvara okruženje koje zaustavlja ili značajno usporava mikrobne reakcije koje inače mogu dovesti do proizvodnje mirisa [11]. Slikom ispod (Slika 5.) prikazan je uobičajeni način stabilizacije mulja vapnom.



Slika 5. Stabilizacija mulja vapnom [16]

Procesi stabilizacije tekućim i suhim vapnom imaju nekoliko prednosti u odnosu na druge postupke stabilizacije mulja: trošak ulaganja je nizak, procesi su pouzdani i jednostavniji za rukovanje, omogućuju brzo pokretanje i zaustavljanje, smanjuje se količina patogenih organizama i širenje neugodnih mirisa (učinkovitije uklanjanje od procesa anaerobne digestije), poboljšano uklanjanje vode iz mulja, povišenje pH djeluje na fiksiranje ili imobilizaciju specifičnih iona metala u mulju i tlu te ograničava mogući unos metala u biljke [11].

Osim upotrebe u poljoprivredi, mulj stabiliziran vapnom koristi se i za dnevno, srednje završno i vegetativno pokrivanje tla, proizvodnju organske mješavine tla, u rahlom stanju za stabilizaciju klizišta te hortikulturnu uporabu u rasadnicima i travnjacima farmi.

Nedostatci stabilizacije vapnom su: usporedno s digestijom nema redukcije krutih tvari, povećana masa zbog dodavanja vapna može rezultirati većim transportnim troškovima i troškovima zbrinjavanja, stabilizirana biomasa ima nižu koncentraciju dušika i fosfora, ovakvom stabilizacijom nastaju amonijak i drugi plinovi neugodnog mirisa koji se moraju dodatno obrađivati te se mulj stabiliziran vapnom može očvrsnuti tijekom skladištenja [11].

Stabilizacija mulja vapnom nije trajna, jer se smanjivanjem pH vrijednosti ponovno razvijaju mikroorganizmi u nerazgrađenoj organskoj tvari u mulju. Zbog toga se kao sredstvo stabilizacije može koristiti klor, no njegova upotreba mora biti pod stalnim nadzorom, jer u prisutnosti amonijaka može doći do pojave većih koncentracija kloramina koji su otrovni za čovjeka [4].

4.5 Kompostiranje

Kompostiranje mulja je proces biološke razgradnje organske tvari u mulju pod kontroliranim uvjetima. Organska tvar se nastavlja razgrađivati do anorganske tvari biološkim procesima. Dobiva se konačni proizvod sličan humusu, s udjelom suhe tvari 40 do 50% koji se može upotrebljavati u poljoprivredne svrhe. Aeracijom se ovaj postupak ubrzava pa ga je potrebno voditi u otvorenom prostoru ili u zatvorenom uz često miješanje i prevrtanje s drugim materijalima. Vrijeme sazrijevanja komposta je oko 5 tjedana, a mehanički postupci 5 do 7 dana. Ovisno o namjeni komposta potrebno je odlučiti o načinu njegove dezinfekcije. Kompostiranje predstavlja kombiniranu aktivost sukcesije mješovitih populacija bakterija, aktinomicetama i gljiva u različitim fazama procesa. Glavni čimbenici koji utječu na biologiju kompostiranja su vlažnost, temperatura, pH, koncentracija hranjivih tvari i opskrba kisikom [11].

4.6 Termička obrada

Otpadni mulj predstavlja vrijedan materijal jer sadrži oko 70 % organske tvari čija se energijska vrijednost može iskoristiti. Termička obrada mulja obuhvaća tehnologije koje se generalno mogu podijeliti u pet skupina: termalna hidroliza (engl. thermal hydrolisis), piroliza (engl. pyrolisis), rasplinjavanje (engl. gasification), mokra oksidacija (engl. wet oxidation) i spaljivanje (engl. incineration/combustion). Procesi termičke obrade mulja imaju zajednički cilj ukloniti organsku komponentu mulja čime za daljnje zbrinjavanje preostaje nusprodukt u obliku pepela. Osnovna intencija kod primjene svih postupaka termičke obrade mulja je iskorištavanje energije oslobođene tijekom procesa za prethodnu redukciju sadržaja vlage u mulju. Drugim riječima, toplina oslobođena u procesima termičke obrade mulja uobičajeno se koristi za prethodno sušenje mulja. Osnovni problemi vezani uz postupke termičke obrade su: značajne količine energije potrebne za dostizanje visokih temperatura, visoki troškovi investicije te potreba za sofisticiranom i skupom opremom za kontrolu i sprječavanje onečišćenja zraka [11].

5 ZBRINJAVANJE OTPADNOG MULJA U RH

Izbor načina konačnog odlaganja otpadnog mulja odraz je lokalnih, nacionalnih, kulturnih, povijesnih, geografskih, pravnih, političkih i ekonomskih okolnosti. Na nivou EU višak otpadnog mulja se najčešće zbrinjava: iskorištavanjem u poljoprovredi, odlaganjem na odlagališta, restauracijom zemljišta i termičkom obradom [7].

U pogledu strategije zbrinjavanja viška otpadnog mulja na nacionalnom i lokalnom nivou u RH na žalost nije dovoljno do sad učinjeno u zakonodavnom smislu. Muljevi se i dalje odlažu na odlagališta ili u neposrednoj blizini uređaja za obradu otpadnih voda što ne predstavlja konačno rješenje zbrinjavanja otpadnog mulja [7].

Primjerice, problem zakonodavnog protuslovlja očituje se u navodu Strategije gospodarenja otpadom Republike Hrvatske (NN 130/05) koja nalaže da se višak otpadnog mulja nastalog pročišćavanjem komunalnih otpadnih voda tretira kao sastavnica komunalnog otpada. No gospodarenje muljem u nadležnosti je pravnih osoba koje upravljaju UPOV-ima, a ne tijelima nadležnih za gospodarenje otpadom. Nadalje, ista strategija nalaže da gospodarenje muljem treba riješiti u okviru Strategije gospodarenja vodama (NN 91/08), budući da će se na taj način točnije predvidjeti količine, karakteristike i opcije konačnog zbrinjavanja mulja s UPOV-a [7].

Naime, na razini EU zakonodavni okvir koji obuhvaća gospodarenje otpadnim muljem je sljedeći:

- Direktiva Vijeća od 12. lipnja 1986. o zaštiti okoliša, posebno tla, kod upotrebe mulja iz uređaja za pročišćavanje otpadnih voda u poljoprivredi (86/278/EEZ);
- Direktiva Vijeća od 21. svibnja 1991. o pročišćavanju komunalnih otpadnih voda (91/271/EEZ).

Nadalje, na razini RH, zakondavni okvir koji obuhvaća gospodarenje otpadnim muljem je sljedeći:

- Zakon o vodama (NN 153/09, 63/11, 130/11, 56/13, 14/14),
- Zakon o održivom gospodarenju otpadom (NN 94/13, 73/17)
- Pravilnik o načinima i uvjetima odlaganja otpada, kategorijama i uvjetima rada za odlagališta otpada (NN 114/15),
- Pravilnik o gospodarenju muljem iz uređaja za pročišćavanje otpadnih voda kada se mulj koristi u poljoprivredi (NN 38/08),
- Pravilnik o tehničkim zahtjevima za građevine odvodnje otpadnih voda, kao i rokovima obvezne kontrole ispravnosti građevina odvodnje i pročišćavanja otpadnih voda (NN 3/11);
- Pravilnik o graničnim vrijednostima emisija otpadnih voda (NN 80/13, 43/14, 27/15, 3/16).

Konačno zbrinjavanje mulja podrazumijeva njegovo konačno odlaganje u okoliš u skladu sa zakonskom regulativom i propisima. Pritom se ističu različite mogućnosti konačnog zbrinjavanja mulja. Sukladno relevantnoj zakonskoj regulativi, Pravilnik o načinima i uvjetima odlaganja otpada, kategorijama i uvjetima rada za odlagališta otpada (NN 114/15) mogućnost odlaganja obrađenog mulja na odlagališta (posebno uređena odlagališta ili odlagališta krutog otpada) postoji samo do kraja 2018. godine [17].

Nadalje, odlaganje mulja na tlo na poljoprivredne površine predstavlja jednu od ekonomski najisplativijih metoda konačnog odlaganja mulja, čije se dodatne prednosti ogledaju kroz korištenje hranjivih tvari sadržanih u mulju, te obogaćivanje tla organskom tvari i pojedinim elementima u tragovima potrebnim za rast biljaka. Pravilnikom o gospodarenju muljem iz uređaja za pročišćavanje otpadnih voda kada se mulj koristi u poljoprivredi (NN 38/08), koji je harmoniziran s Direktivom o otpadnom mulju (86/278/EEC) zakonski su definirana ograničenja i smjernice upotrebe mulja u poljoprivredi. Sukladno zakonskoj regulativi, u poljoprivredi je dozvoljeno koristiti samo obrađeni mulj koji sadrži teške metale u količinama koje nisu veće od dopuštenih vrijednosti. U poljoprivredi je također dozvoljeno koristiti samo obrađeni mulj koji sadrži organske tvari u količinama koje nisu veće od dopuštenih vrijednosti, mulj koji je dezinficiran (odnosno stabiliziran tako da su u

njemu uništeni patogeni organizmi), te mulj koji neće prouzročiti prekoračenje dopuštenih vrijednosti teških metala u tlu [17].

Mulj se može odložiti i na nepoljoprivredne površine, prvenstveno u hortikulturne i krajobrazne svrhe ili na posebno uređena odlagališta neopsanog otpada nakon termičke obrade [17].

6 ODABRANI UPOV-I U RH - ZAGREB, SLAVONSKI BROD, VELIKA GORICA

S ciljem uspoređivanja kvalitete otpadnih muljeva s UPOV –a, odabrana su tri uređaja u Republici Hrvatskoj s različitim kapacitetima ES i tehnologijama obrade otpadne vode. Radi se o uređajima za pročišćavanje otpadnih voda gradova:

- Zagreb s kapacitetom od 1,2 milijuna ES,
- Slavonski Brod s kapacitetom od 80.000 ES te
- Velika Gorica s kapacitetom od 35.000 ES.

6.1 UPOV Zagreb

Centralni uređaj za pročišćavanje otpadnih voda grada Zagreba najveći je UPOV u Hrvatskoj s projektiranim i izgrađenim kapcitetom od 1,2 milijuna ES (330.000 m^3/d), uz mogućnost proširenja do 1,5 milijuna ES (442.000 m^3/d) (Slika 6.). Uređaj radi s drugim stupnjem pročišćavanja, a do 2015. godine bila je predviđena i nadogradnja na treći stupanj što još uvijek nije napravljeno tako da uređaj i dalje radi s drugim stupnjem pročišćavanja. Na UPOV je primijenjeno tehnološko rješenje s konvencionalnom tehnologijom s aktivnim muljem [2], [18].

Za obradu viška mulja iz prethodnih i naknadnih taložnika primijenjeni su postupci prethodnog zgušnjavanja, anaerobne stabilizacije, naknadnog zgušnjavanja te strojne dehidracije mulja. Obrada mulja temelji se na sedmodnevnom radu uređaja tijekom 24 sata na dan. Objekti za obradu mulja građeni su za konačno razdoblje veličine od 1,5 milijuna ES. Sastavni dio uređaja je i laboratorij koji vrši analizu svih produkata i nusprodukata, koji nastaju tijekom procesa pročišćavanja tehnologijom aktivnog mulja, što znači analizu kvalitete aktivnog mulja kao i mikrobiološku analizu aerobnog aktivnog mulja. Svrha laboratorija jest brzo i kvalitetno dobivanje informacija o radu uređaja radi kontrole izlazne vode i određivanja efikasnosti uređaja te određivanja kvalitete i učinka tehnološkog procesa [2], [18].

Mulj iz prehodnih taložnika zgušnjava se u prethodnim gravitacijskim zgušnjivačima pomoću zgrtača mulja i miješalica. Višak mulja iz naknadnih taložnika zgušnjava se strojno. Nakon stabilizacije, mulj se ponovno zgušnjava u zgušnjivačima uz pomoć miješalica. Naknadni zgušnjivači koriste se i kao skladišni spremnici ispred pogona za dehidraciju mulja. Dehidracija mulja obavlja se centrifugama, uz prethodno poboljšanje svojstava mulja, dodavanjem polimera. Kako bi se postiglo minimalno 30 % ST, na izlazu iz centrifuga dodaje se vapno [2], [18].

Stabilizacija mulja provodi se postupkom anaerobne razgradnje u grijanim digestorima. Tijekom postupka stabilizacije oko polovine organske tvari pretvara se u vodu, ugljikov dioksid i metan, koji se dalje koristi za dobivanje električne energije. Anaerobna stabilizacija provodi se na temperaturi od 37°C. Kako bi se osigurao učinkovit rad digestora, osim zagrijavanja mulja predviđeno je i mješanje mulja unutar digestora. Digestori su građeni od armiranog betona u jajolikom obliku. U postupku anaerobne stabilizacije mulja odvaja se bioplin. Bioplin se koristi za proizvodnju električne energije kojom se pokrivaju energetske potrebe rada cijelog UPOV-a. Toplinska energija koja nastaje hlađenjem generatora koristi se za zagrijavanje digestora i zgrade za obradu mulja [2], [18].



Slika 6. UPOV Zagreb [2], [18]

6.2 UPOV Slavonski Brod

Uređaj za pročišćavanje otpadnih voda izgrađen je na Poloju, nizvodno od središta Slavonskoga Broda, na rijeci Savi, koja je recipijent. Zaštićen je nasipom protiv poplava uzduž rijeke. Vrh nasipa projektiran je na bazi stogodišnjih voda (HQ100) kako bi postrojenje sačuvao suhim. Kapacitet uređaja je 80.000 ES i godišnje se na njemu obradi oko 8 milijuna m^3 otpadne vode. Obuhvaća III. stupanj pročišćavanja otpadnih voda, odnosno postupak kojim se uz –II. stupanj pročišćavanja postižu zahtjevi i za fosfor i za dušik iz Pravilnika o graničnim vrijednostima emisija otpadnih voda (NN 80/2013) [19].

Uređaj se kao cjelina sastoji od: [19]

- primarnog pročišćavanja otpadne vode,
- sekundarnog pročišćavanja otpadne vode,
- obrade mulja i plina.

Primarno pročišćavanje otpadne vode se sastoji od grube i fine rešetke te pjeskolova i mastolova. Sustav grube rešetke od 22 mm uklanja krupni otpad kao što su krpe, komadi drveta, komadi plastike i itd. te nakon grube rešetke otpadna voda protiče do 2 fine rešetke od 6 mm. Otpad s fine rešetke se pomoću zajedničkog pužnog transportera ispire, dehidrira i transportira u kontejner. U ulaznoj građevini također se nalazi i prihvat septičkog mulja. Nakon finih rešetki voda protiče do aeriranog pjeskolova-mastolova gdje dolazi do uklanjanja pijeska i plutajuće masti te iza toga otpadna voda ide u primarni taložnik ili izravno pomoću preusmjernika (bypassa) u SBR bazene (Slika 7.) [19].

Sekundarni tretman pročišćavanja zasniva se na C-TECH sustavu. Sastoji se od 4 SBR bazena (sekvencionalni biološki reaktor) i u svakom reaktoru odvijaju se naizmjenično sva 4 ciklusa: punjenje/aeracija, aeracija, taloženje i dekantiranje. Zahvaljujući kisiku iz zraka i mikroorganizmima iz aktivnog mulja uklanjaju se nutrienti: dušik, fosfor i ugljik i u izlaznoj vodi koja odlazi u recipijent postižu se dopuštene koncentracije parametara kao što su: ukupni dušik, ukupni fosfor, suspendirana tvar, KPK, BPK_5 i dr. [19].

Uslijed biološkog pročišćavanja otpadne vode nastaje i suvišni otpadni mulj koji se pomoću pumpi crpi iz pojedinog reaktora u ciklusu dekantiranja. Višak mulja iz SBR bazena odlazi na mehaničku predehidraciju koja se odvija pomoću polielektrolita. Takav preddehidrirani mulj se obrađuje 21 dan, na temp. 35°C - 37°C u dva anaerobna digestora te dolazi do smanjenja organske tvari za do 45% i stvaranja bioplina (54% CH_4, 44% CO_2..) Stvoreni bioplin se koristi za grijanje digestora i skladišti se u spremniku plina ($V=670m^3$), od kuda protiče prema bojleru (sustav grijanja) ili prema plinskoj baklji ukoliko ima viška plina. Digestirani mulj se mehanički dehidrira pomoću centrifuge i nastaje dehidrirani mulj s 25% ST. Takav mulj može se koristiti u poljoprivredi, šumarstvu, cvjećarstvu i sl. [19].

Uređajem se upravlja i nadzire rad pomoću računalnog sustava SCADA iz upravne zgrade [19].



Slika 7 UPOV Slavonski Brod

6.3 UPOV Velika Gorica

Uređaj za pročišćavanje otpadnih voda Velike Gorice sastavni je dio sustava javne odvodnje grada Velike Gorice i okolnih naselja. Lokacija postojećeg UPOV-a Velika Gorica nalazi se istočno od samog naselja uz jezero Čiče (Slika 8.). Uređaj je pušten u rad 1973. godine, a dograđivan je kroz razdoblje od 15 godina u 3 faze do sadašnjeg kapaciteta od 35.000 ES. UPOV je klasičan mehaničko–biološki uređaj s aktivnim muljem, koji se sastoji od sljedećih objekata na lokaciji uređaja: ulazne građevine s grubom rešetkom, ulazne te pomoćne crpne stanice, mjerača protoka, finih rešetki, aeriranih pjeskolova i mastolova, klasirera pijeska, po jedne primarne taložnice na svakom bloku, aeracijskih bazena. Nadalje, na lokaciji uređaja, postoje i naknadni taložnici, pumpna stanica za povrat mulja, mjerni kanal s mjeračem protoka, pumpne stanice za sirovi mulj te pumpne stanice za efluent, upravno – pogonska zgrada, zgrada za dehidraciju mulja sa strojnom dehidracijom mulja, digestori i naposljetku trafostanica [20].



Slika 8. UPOV Velika Gorica [20]

Tehnološki postupak pročišćavanja može se podijeliti na tri veće cjeline [20]:

- Mehaničko pročišćavanje,
- Biološko pročišćavanje,
- Obrada viška mulja.

Mehaničkom obradom (prethodno i primarno pročišćavanje) iz otpadne vode se uklanjaju krupne nečistoće, pijesak, masnoće i suspendirane tvari dok se biološkom obradom uklanjaju otopljene organske tvari čime se postižu zahtjevi za drugi stupanj pročišćavanja. Mulj izdvojen primarnim i sekundarnim taloženjem se ugušćuje, djelomično stabilizira te dehidrida na 20 – 30 % suhe tvari [20]. Crpna stanica ”Sava” pročišćene otpadne vode transportira u rijeku Savu tlačnim vodom (L = 11 km) [20].

7 USPOREDBA FIZIKALNIH I KEMIJSKIH SVOJSTAVA OTPADNIH MULJEVA S ODABRANIH UPOV–A

U ovom poglavlju uspoređivat će se vrijednosti teških metala (kroma, bakra, cinka, nikla, olova) sa svakog od uređaja u odnosu na granične vrijednosti propisane Pravilnikom o gospodarenju muljem iz uređaja za pročišćavanje otpadnih voda kada se mulj koristi u poljoprivredi (NN 38/08).

Prema članku 2., Pravilnika o gospodarenju muljem iz uređaja za pročišćavanje otpadnih voda kada se mulj koristi u poljoprivredi (NN 38/2008), cilj je određivanje mjera zaštite okoliša radi uspostave sustava gospodarenja muljem iz uređaja za pročišćavanje otpadnih voda kada se mulj koristi u poljoprivredi, kako bi se spriječile štetne posljedice za tlo, biljke, životinje i čovjeka, potičući time ispravno korištenje takvog mulja. Isto tako, mulj se mora koristiti na način da se uzimaju u obzir potrebe biljaka za prihranjivanjem, očuva kakvoća tla (održe ili poboljšaju njegove fizikalne i biološke osobine) te očuva kakvoća površinskih i podzemnih voda [21].

U poljoprivredi dozvoljeno je koristiti samo obrađeni mulj koji:

- sadrži teške metale u količinama koje nisu veće od dopuštenih vrijednosti propisanih Pravilnikom,
- sadrži organske tvari u količinama koje nisu veće od dopuštenih vrijednosti propisanih Pravilnikom,
- je stabiliziran na način da su u njemu uništeni patogeni organizmi, potencijalni uzročnici oboljenja [21].

Nadalje, u sljedećoj tablici (Tablica 6.) prikazan je dopušteni sadržaj teških metala u obrađenom mulju koji se koristi u poljoprivredi, a u daljnjem tekstu ti podatci će biti uspoređeni s podatcima dobivenih iz laboratorija promatranih uređaja kako bi se očitovalo jesu li muljevi s tih uređaja prihvatljivi za ovakvu vrstu konačne upotrebe.

Tablica 6. Dopušteni sadržaj teških metala u obrađenom mulju koji se koristi u poljoprivredi [21]

Teški metali	Dopušteni sadržaj teških metala izražen u mg/kg suhe tvari reprezentativnog uzorka mulja
kadmij	5
bakar	600
nikal	80
olovo	500
cink	2000
živa	5
krom	500

7.1 Rezultati analiza fizikalnih i kemijskih svojstava UPOV-a

Referentne metode za analizu parametara ključnih za usporedbu otpadnih muljeva s rezultatima dobivenih analitičkim izvješćima od odabranih UPOV-a koji se odnose na kolovoz 2015. godine bit će prikazane u sljedećim tablicama (Tablica 7., Tablica 8., Tablica 9.). Nadalje, rezultati se odnose na analizirane uzorke, no na temelju njih se da pretpostaviti kakvoća obrađenoga mulja za odabrane UPOV – e. Referentna metoda za analizu teških metala je atomska apsorpcijska spektrometrija, dok je za analizu sadržaja polikloriranih bifenila plinska kromatografija.

Referentne metode za analiziranje teških metala, polikloriranih bifenila, ukupnog fosfora, ugljika i dušika te suhe tvari i pH s rezultatima za UPOV Zagreb prikazane su u tablici ispod (Tablica 7.).

Tablica 7. Fizikalna i kemijska svojstva UPOV Zagreb [12]

NAZIV ANALIZE	METODA	JEDINICA	REZULTAT
Krom (Cr)	HRN EN 13657:2008	mg/kg ST	22,5 – 31,1
Bakar (Cu)	HRN EN 13657:2008	mg/kg ST	180 -496
Cink (Zn)	HRN EN 13657:2008	mg/kg ST	526 – 711
Nikal (Ni)	HRN EN 13657:2008	mg/kg ST	26,5 – 31,1
Olovo (Pb)	HRN EN 13657:2008	mg/kg ST	62,1 – 74,1
Kadmij (Cd)	HRN EN 13657:2008	mg/kg ST	< 2
Kobalt (Co)	HRN ISO 8288:1998	mg/kg ST	9,8 – 11,9
Arsen (As)	HRN EN ISO 11969:1998	mg/kg ST	11,95 – 16,01
Živa (Hg)	HRN EN ISO 12846:2012 modificirana	mg/kg ST	1,01 – 1,52
Molibden (Mo)	HRN EN ISO 15586:2008	mg/kg ST	2,42 – 3,02
Ukupni dušik – N	HRN EN 25663:2008	% mase ST	2,60 –3,51
Ukupni fosfor ($P–PO_4^{3-}$)	-	% mase ST	2,15 – 3,08
Ukupni org. ugljik – TOC	HRN EN 13137:2005	% mase ST	14,5 – 18,8
HCH	EPA 8081 A	mg/kg ST	< 0,05
HCB	EPA 8081 A	mg/kg ST	< 0,05
Poliklorirani bifenili (PCB)	EPA 8082	mg/kg ST	< 1
Suha tvar	HRN ISO 11465:2004	%	29,5 – 34,8
pH vrijednost	HRN EN 12176:2005	-	11,6 – 12,9

Fizikalna i kemijska svojstva za UPOV Slavonski Brod nalaze se u narednoj tablici (Tablica 8.).

Tablica 8. Fizikalna i kemijska svojstva UPOV Slavonski Brod [22]

NAZIV ANALIZE	METODA	JEDINICA	REZULTAT
Krom (Cr)	HRN EN ISO 11885:2010	mg/kg ST	45,0
Bakar (Cu)	HRN EN ISO 11885:2010	mg/kg ST	418
Cink (Zn)	HRN EN ISO 11885:2010	mg/kg ST	921
Nikal (Ni)	HRN EN ISO 11885:2010	mg/kg ST	41,9
Olovo (Pb)	HRN EN ISO 11885:2010	mg/kg ST	64,3
Kadmij (Cd)	HRN EN ISO 11885:2010	mg/kg ST	< 0,003
Kobalt (Co)	-	mg/kg ST	-
Arsen (As)	-	mg/kg ST	-
Živa (Hg)	HRN EN ISO 11885:2010	mg/kg ST	< 0,007
Molibden (Mo)	-	mg/kg ST	-
Ukupni dušik – N	HRN ISO 11261:2004	% mase ST	4,05
Ukupni fosfor ($P–PO_4^{3-}$)	HRN EN ISO 11885:2010	% mase ST	1,93
Ukupni org. ugljik – TOC	HRN EN 13137:2005	% mase ST	29,49
HCH	Vlastita metoda RU-M-44, izd. 2/16 od 12.04.2016.	mg/kg ST	0,0000763
HCB	-	mg/kg ST	-
Poliklorirani bifenili (PCB)	HRN EN 15308:2008	mg/kg ST	< 0,001
Suha tvar	HRN ISO 12880:2005	%	19,57
pH vrijednost	HRN EN 12176:2005	-	7,0

Fizikalna i kemijska svojstva za UPOV Velika Gorica nalaze se u sljedećoj tablici (Tablica 9.).

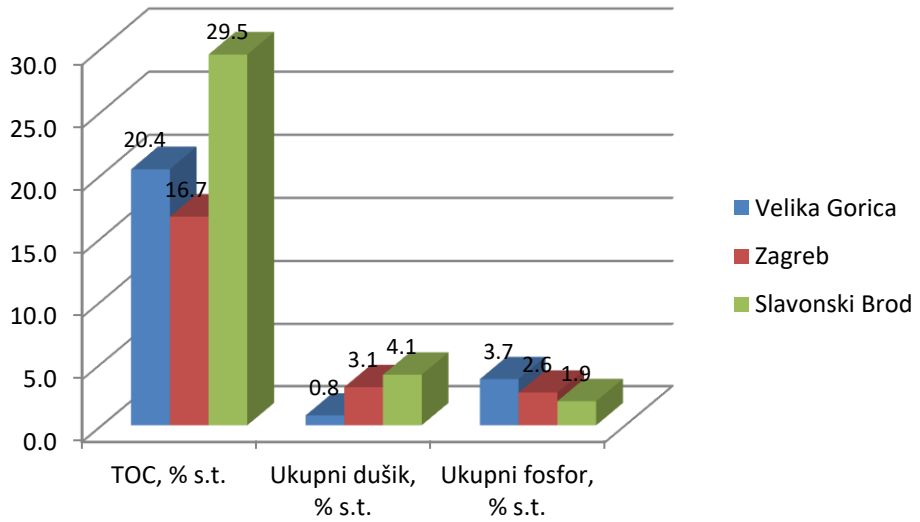
Tablica 9. Fizikalna i kemijska svojstva UPOV Velika Gorica [23]

NAZIV ANALIZE	METODA	JEDINICA	REZULTAT
Krom (Cr)	HRN EN 11885:2010	mg/kg ST	< 0,01
Bakar (Cu)	HRN EN 11885:2010	mg/kg ST	110
Cink (Zn)	HRN EN 11885:2010	mg/kg ST	255
Nikal (Ni)	HRN EN 11885:2010	mg/kg ST	5,2
Olovo (Pb)	HRN EN 11885:2010	mg/kg ST	6,9
Kadmij (Cd)	HRN EN 11885:2010	mg/kg ST	<0,01
Kobalt (Co)	-	mg/kg ST	-
Arsen (As)	-	mg/kg ST	-
Živa (Hg)	SOP –M-08-ICPE izd1,2015-11-23	mg/kg ST	< 0,01
Molibden (Mo)	-	mg/kg ST	-
Ukupni dušik – N	HRN ISO 11261:2004	% mase ST	0,78
Ukupni fosfor ($P–PO_4^{3-}$)	HRN EN 14672:2008	% mase ST	3,7
Ukupni org. ugljik – TOC	HRN EN 13137:2005	% mase ST	20,4
HCH	-	mg/kg ST	-
HCB	-	mg/kg ST	-
Poliklorirani bifenili (PCB)	HRN EN 12766:2000	mg/kg ST	Nisu dokazani
Suha tvar	HRN EN 14346:2007	%	51,2
pH vrijednost	HRN ISO 10390:2005	-	8,0

7.2 Rasprava rezultata

7.2.1 Analiza sadržaja TOC-a, ukupnog dušika i fosfora

Analiza sadržaja TOC-a od iznimne je važnosti za UPOV-e u pogledu optimiziranja rada samog postrojenja. Naime, određivanje TOC-a korisno je za određivanje ukupnog sadržaja organskih onečišćivala, uključujći naftne derivate, organske kiseline poput huminske i fulvinske, pesticide, patogene i sl.. Predstavlja nespecifičan parametar, no uključiv za praćenje organskih onečišćivala [24]. Rezultati analiza sadržaja TOC-a na promatranim UPOV-ima prikazani su na slici 9. Vrijednost TOC-a na UPOV-u Slavonski Brod ima najveću vrijednost (29,5 % ST), u odnosu na vrijednosti ostala dva promatrana UPOV-a, UPOV Velika Gorici (20,4 % ST) i UPOV Zagreb (14,5 – 18,8 % ST). Prema tome, moglo bi se zaključiti kako je u procesu uklanjanja organskih onečišćivala iz otpadne vode najučinkovitiji UPOV Slavonski Brod, no za potvrdu navedene tvrdnje potrebna su dodatna istraživanja sadržaja TOC-a u ulaznoj i izlaznoj vodi UPOV-a. Sljedeći zaključak koji se može izvesti temeljem danih vrijednosti jest da je ulazna otpadna voda na području Slavonskog Broda onečišćenija organskim onečišćivalima.

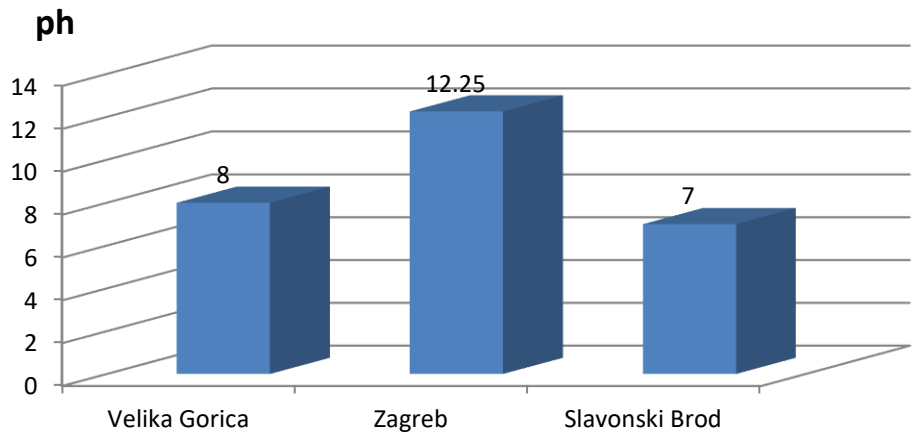


Slika 9. Usporedba rezultata analiza za TOC, ukupni dušik i ukupni fosfor za odabrane UPOV-e

Nadalje, na istom grafičkom prikazu, slici 9., prikazani su rezultati vrijednosti za ukupni dušik i fosfor. Primjećuje se kako UPOV Slavonski Brod, u odnosu na promatrane UPOV-e, ima najveću vrijednost ukupnog dušika u mulju, 4,1 % ST što je u skladu s tehnologijom UPOV-a Slavonskog Broda, trećim stupanjem pročišćavanja otpadnih voda, odnosno uklanjanja dušika i fosfora. Ukoliko se promotri vrijednost ukupnog fosfora u mulju UPOV-a Slavonski Brod od 1,9 % ST te stavi u odnos s vrijednostima preostala dva promatrana UPOV-a, može se primjetiti kako u ovom slučaju na udio fosfora i dušika u mulju utječe i kvaliteta ulazne otpadne vode, a ne samo stupanj primjenjene tehnologije pročišćavanja otpadne vode.

7.2.2 **Analiza pH vrijednosti**

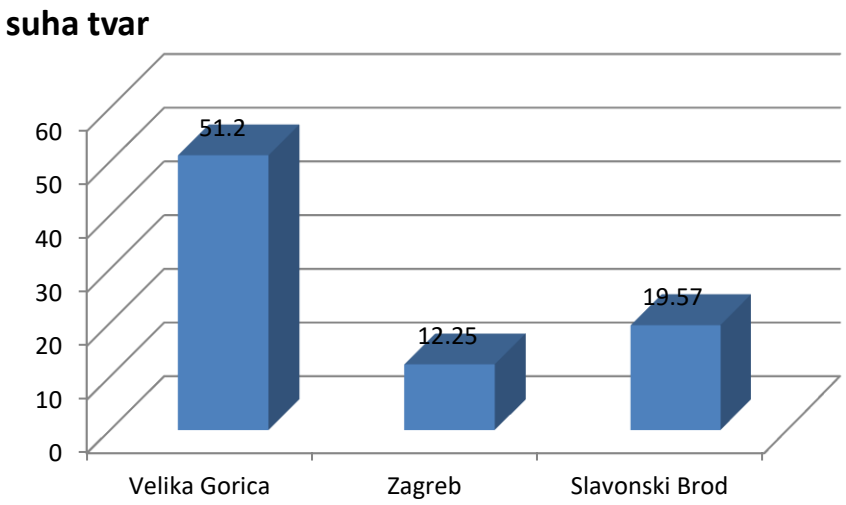
Vrijednost pH otpadnog mulja može varirati između blago kiselog i neutralnog područja pH do lužnatog područja, ovisno o stupnju i vrsti obrade otpadne vode [25]. Rezultati vrijednosti pH za promatrane UPOV-e prikazani su na slici 10. Uočava se kako je vrijednost pH mulja na UPOV-u Zagreb znatno u lužnatom području (12,3) što je odraz primjenjene tehnologije, stabilizacije mulja vapnom.



Slika 10. Usporedba pH vrijednosti muljeva na promatranim UPOV-ima

7.2.3 **Analiza udjela suhe tvari**

Udio suhe tvari u muljevima s promatranih UPOV-a prikazani su slikom 11.. Najveći postotak suhe tvari (51,2 %) uočava se na UPOV–u Velika Gorica, što odgovara klasičnom tipu mehaničko – biološkog uređaja. Nadalje, rezultati udjela suhe tvari za UPOV-e Zagreb (12,3 % ST) i Slavonski Brod (19,6 % ST) ukazuju na znatan udio vode u mulju.

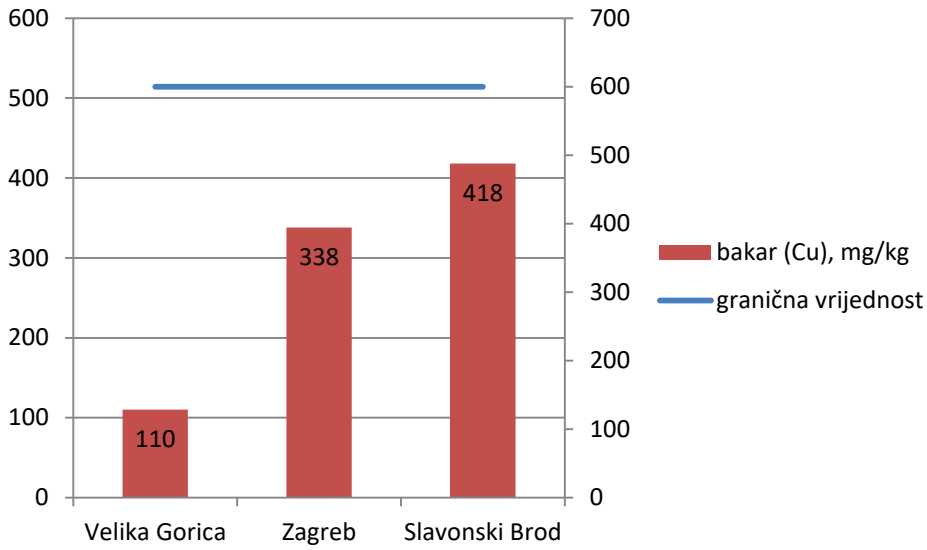


Slika 11 Usporedba postotaka suhe tvari s promatranih uređaja

7.2.4 **Analiza sadržaja teških metala**

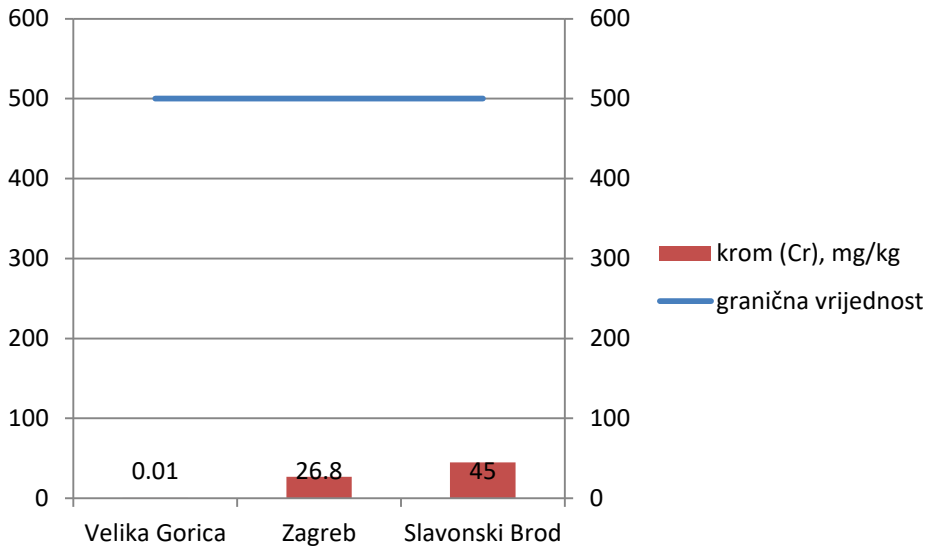
Na sljedećim slikama prikazani su podatci za odabrane teške metale (krom, bakar, cink, nikal, olovo). Uspoređuju li se oni s propisanim vrijednostima Pravilnika [21] može se zaključiti kako bi se mulj sa sva tri promatrana uređaja mogao koristiti u poljoprivredi. Za sada tu praksu ima samo UPOV Velika Gorica i to u vrlo malim omjerima. Naime, od otprilike 600 tona godišnje samo je oko 250 tona zbrinuto u poljoprivredi. Slika 12. prikazuje odnos rezultata analiza sirovoga mulja dobivenih na odabranim uređajima s graničnom vrijednošću propisanom Pravilnikom [21], a odnose se na bakar. Količina bakra u mulju sa svih promatranih UPOV-a je ispod maksimalno dopuštene količine propisane

Pravilnikom [21], no primjećuje se kako UPOV Slavonski Brod ima najveći sadržaj bakra u mulju (418 mg/kg).



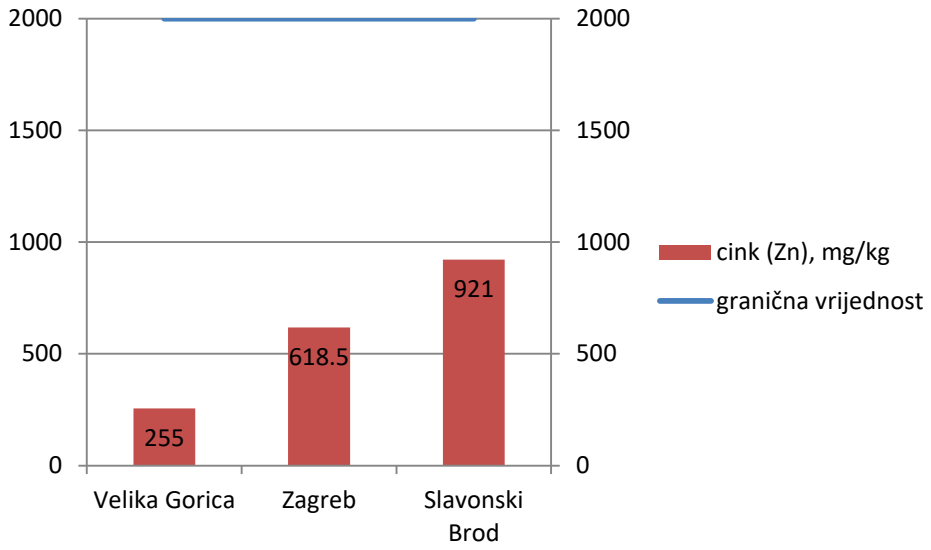
Slika 12. Usporedba dobivenih podataka uzoraka mulja s graničnom vrijednosti za bakar

Sljedećom slikom 13. prikazana je usporedba dobivenih vrijednosti analizom sirovoga mulja s graničnom vrijednosti propisanom Pravilnikom [21] za krom. Iz nje se vidi kako su analizirane vrijednosti znatno ispod maksimalno dopuštenih vrijednosti. Primjećuje se veća vrijednost kroma (45 mg/kg) na UPOV-u Slavonski Brod u odnosu na ostale promatrane UPOV-e.

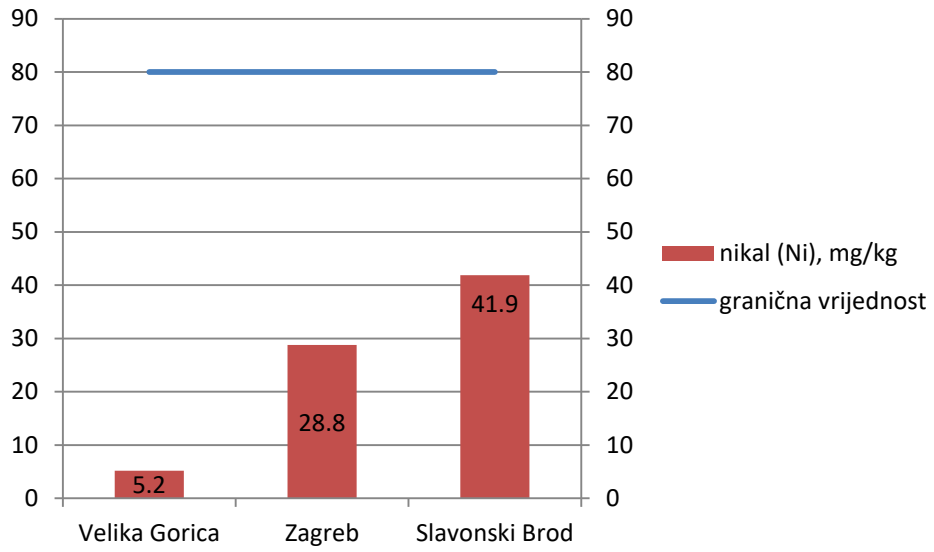


Slika 13. Usporedba dobivenih podataka uzoraka mulja s graničnom vrijednosti za krom

Ukoliko se promotri slika 14., uočava se kako je i najveća vrijednost sadržaja cinka (921 mg/kg) dobivena analizom mulja s UPOV-a Slavonski Brod u odnosu na promatrane UPOV-e, upola manja od Pravilnikom [21] propisane maksimalne vrijednosti.



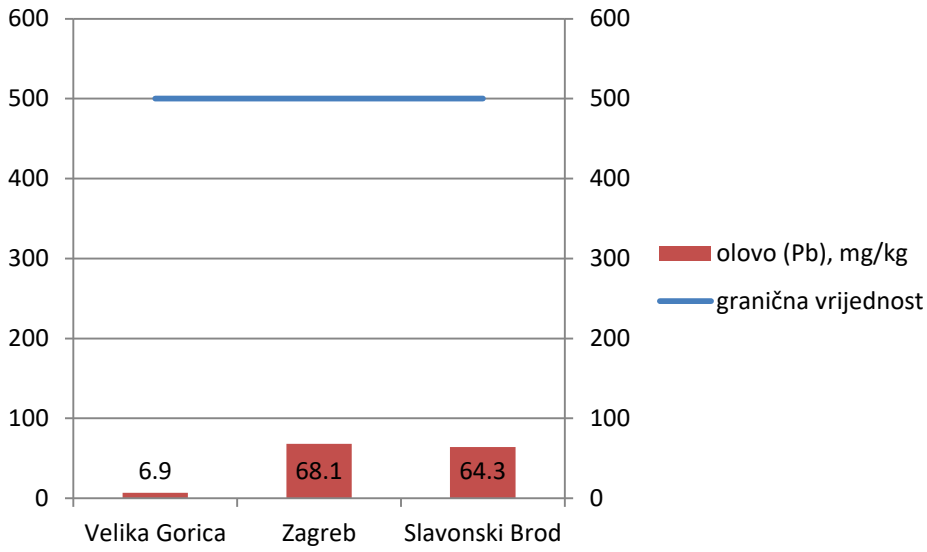
Slika 14. Usporedba dobivenih podataka uzoraka mulja s graničnom vrijednosti za cink



Slika 15. Usporedba dobivenih podataka uzoraka mulja s graničnom vrijednosti za nikal

Nadalje, slikom 15. prikazani su rezultati vrijednosti sadržaja nikla u mulju promatranih UPOV-a. U ovom slučaju se također može primjetiti veća vrijednost sadržaja nikla (41,9 mg/kg) u mulju s UPOV-a Slavonski Brod u odnosu na ostale promatrane UPOV-e, no s vrijednostima koje su u okviru propisanih vrijednosti Pravilnika [21].

Vrijednosti dobivene analizom mulja s odabranih UPOV-a usporedno s propisanom dozvoljenom graničnom vrijednošću olova u mulju prema Pravilniku [21], prikazane su na slici 16.. Uočava se kako je sadržaj olova malo veći u mulju s UPOV-a Zagreb (68,1 mg/kg) u odnosu na sadržaj olova u mulju s UPOV-a Slavonski Brod (64,3 mg/kg). Može se pretpostaviti kako je razlog tome još uvijek postojeća olovna vodoopskrbna infrastruktura te je zbog veličine grada Zagreba u odnosu na Slavonski Brod takav omjer. No, vrijednosti su još uvijek u granici propisano dozvoljenih za sadržaj olova u mulju prema Pravilniku [21].



Slika 16. Usporedba dobivenih podataka uzoraka mulja s graničnom vrijednosti za olovo

Izuzev vrijednosti sadržaja olova u mulju koja je veća za Upov Zagreb u odnosu na UPOV Slavonski Brod, sve ostale vriijednosti sadržaja nikla, cinka, croma i kadmija su veće na UPOV-u Slavonski Brod u odnosu na ostale UPOV-e što je posljedica razvijene industrije u okviru Đuro Đaković Grupe u Slavonskom Brodu.

8 ZAKLJUČAK

Problematika otpadnog mulja s uređaja za pročišćavanje otpadnih voda sve je aktualnije pitanje današnjice, jer s porastom broja stanovnika u gradovima, a raste i potreba za uređajima za pročišćavanje otpadnih voda kao i odabirom prihvatljive metode zbrinjavanja nastlih količina otpadnog mulja.

Kako bi kakvoća mulja bila odgovarajuća za zbrinjavanje koje ne šteti okolišu, odnosno da bi imao daljnju uporabu, potrebno ga je obraditi, a pri tome su potrebne konstantne analize sirovoga mulja. Neki od načina obrade mulja s UPOV-a jesu: sedimentacija, zgušnjavanje i flotacija, uklanjanje vode iz mulja, sušenje mulja, stabilizacija mulja, odlaganje mulja te njegovo spaljivanje [17].

U ovom radu usporedili su se rezultati analiza otpadnog mulja dobivenih s odabranih UPOV-a (Zagreb, Slavonski Brod i Velika Gorica), odnosno vrijednosti pH, suhe tvari, određenih teških metala (nikal, cink, krom, bakar i olovo) te ukupnoga dušika, fosfora i ukupnog organskoga ugljika. Primjetilo se kako mulj s UPOV-a Slavonski Brod ima veće vrijednosti ukupnog organskog ugljika i dušika u odnosu na druge UPOV-e, dok je najveći udio ukupnog fosfora u mulju s UPOV-a Velika Gorica. Nadalje, UPOV-i Zagreb i Slavonski Brod imaju znatne količne vode u svom sastavu na što ukazuju rezultati udjela suhe tvari u mulju. Različitost kvalitete mulja uslijed primjene različite tehnologije pročišćavanja otpadne vode najviše se očituje kod vrijednosti pH, pri čemu je mulj s UPOV-a Zagreb lužnat uslijed primjene tehnologije stabilizacije mulja vapnom. Naime, najveće vrijednosti u pogledu sadržaja teških metala nikla, cinka, bakra i kroma zabilježene su u mulju s UPOV-a Slavonski Brod što se može pretpostaviti da je posljedica razvijene industrije Đuro Đaković grupe. Također na UPOV-u Slavonski Brod zabilježene su i najveće vrijednosti TOC –a , pretpostavka je da su ovakvi podatci posljedica nedovoljno pročišćene otpadne vode tvrtke Vindon koja dospjeva na UPOV Slavonski Brod Vrijednost sadržaja olova u mulju s UPOV-a Zagreb neznatno je veća od sadržaja olova u mulju s UPOV-a Slavonski Brod što se može pretpostaviti da je posljedica veličine grada Zagreba, no približnost vrijednosti također ukazuje na problem postojeće stare vodoopskrbne

vodovodne mreže. Unatoč različitostima u promatranim vrijednostima parametara, obrađeni muljevi sa sva tri uređaja mogu se koristiti u poljoprivredne svrhe, jer su njihove vrijednosti znatno manje od dopuštenih graničnih vrijednosti propisanih Pravilnikom o gospodarenju muljem iz uređaja za pročišćavanje otpadnih voda kada se mulj koristi u poljoprivredi (NN 38/08).

9 LITERATURA

[1] J. Mateo-Sagasta, L. Raschid-Sally, and A. Thebo, “Global Wastewater and Sludge Production, Treatment and Use,” in *Wastewater*, P. Drechsel, M. Qadir, and D. Wichelns, Eds. Dordrecht: Springer Netherlands, 2015, pp. 15–38.

[2] S. Tedeschi, D. Malus, and D. Vouk, *Centralni uređaj za pročišćavanje otpadnih voda Zagreba*. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet.

[3] D. Vouk, D. Nakić, N. Štirmer, and M. Serdar, *Korištenje mulja s uređaja za pročišćavanje otpadnih voda u betonskoj industriji*. Zagreb: ITG d.o.o., 2015.

[4] B. Tušar, *Pročišćavanje otpadnih voda*. Zagreb: Kigen, 2009.

[5] -, “Direktiva Vijeća od 21. svibnja 1991. o pročišćavanju komunalnih otpadnih voda (91/271/EEZ),” *Službeni List Eur. Zajed.*, pp. 5–17, 1991.

[6] D. Vouk, D. Nakić, N. Štirmer, and M. Serdar, “Mogucnost zbrinjavanja mulja koji nastaje u procesu obrade otpadne vode u betonskoj industriji,” *Hrvat. Vode*, vol. 23, no. 94, pp. 277–286, 2015.

[7] I. Gudelj, L. Runko Luttenberger, M. Šiljeg, D. Kujundžić, and H. Gudelj, “Vodoopskrba, odvodnja i zbrinjavanje - međusobno povezane i u smislu ekološke svrhovitosti nerazdvojive djelatnosti,” in *Hrvatska grupacija vodovoda i kanalizacija- Aktualna problematika u vodoopskrbi i odvodnji*, no. November.

[8] J. Margeta, *Kanalizacija naselja: odvodnja i zbrinjavanje otpadnih i oborinskih voda*. Split: Građevinsko-arhitektonski fakultet Sveučilišta u Splitu; Geotehnički fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 2009.

[9] J. M. Lema and S. Suárez, *Innovative Wastewater Treatment & Resource Recovery Technologies: Impacts on Energy, Economy and Environment*. IWA Publishing, 2017.

[10] Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, "Modul 7: zaštita voda," 2012. [Online]. Available: https://www.slideshare.net/akrap/zatita-voda-7. [Accessed: 10-Nov-2017].

[11] I. S. Turovskiy and P. K. Mathai, *Wastewater Sludge Processing*. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc., 2005.

[12] Sveučilište u Zagrebu - Građevinski fakultet, "Fizikalne i kemijske karakteristike mulja iz kolovoza 2015."

[13] S. Tedeschi, *Zaštita voda*. Zagreb: Hrvatsko društvo građevinskih inženjera, 1997.

[14] F. Fernandes, D. D. Lopes, C. V. Andreoli, and S. M. C. P. da Silva, *Biological Wastewater Treatment Vol.6: Assessment of sludge treatment and disposal alternatives*, vol. 105. Elsevier, 2007.

[15] N.D., "Od otpadnih voda do bioplina," *Energetika-net*. [Online]. Available: http://www.energetika-net.com/specijali/posjetili-smo/od-otpadnih-voda-do-bioplina-18941. [Accessed: 09-Sep-2017].

[16] EuLA, "Liming : an advanced treatment for sewage sludge applied on land."

[17] D. Vouk *et al.*, "Muljevi s komunalnih uređaja za pročišćavanje otpadnih voda," *GRAĐEVINAR*, vol. 11, no. 4, pp. 341–349, 2010.

[18] Z. otpadne vode D.o.o., "Projekt Centralnog uređaja za pročišćavanje otpadnih voda

grada Zagreba," *Zagrebačke otpadne vode d.o.o.*, 2015. [Online]. Available: http://www.zov-zagreb.hr/hr/projekti/projekt-centralnog-uredaja-za-prociscavanje-otpadnih-voda-grada-zagreba/. [Accessed: 09-Sep-2017].

[19] S. B. Vodovod d.o.o., "Uređaj za pročišćavanje otpadnih voda Slavonski Brod," *Vodovod d.o.o., Slavonski Brod*. [Online]. Available: http://www.vodovod-sb.hr/index.php/voda/odvodnja/upov. [Accessed: 09-Sep-2017].

[20] Z. Milošev, "UPOV Velika Gorica," Velika Gorica, 2016.

[21] -, *Pravilnik o gospodarenju muljem iz uređaja za pročišćavanje otpadnih voda kada se mulj koristi u poljoprivredi*, vol. 38. 2008.

[22] UPOV Slavosnki Brod, "Analitičko izvješće," Slavonski Brod, 2015.

[23] Z. Mundjer, "Izvještaj o ispitavanju otpada," Velika Gorica, 2015.

[24] C. Assmann, A. Scott, and D. Biller, "Online total organic carbon (TOC) monitoring for water and wastewater treatment plants processes and operations optimization," *Drink. Water Eng. Sci*, vol. 10, pp. 61–68, 2017.

[25] J. S. Mtshali, A. T. Tiruneh, and A. O. Fadiran, "Characterization of Sewage Sludge Generated from Wastewater Treatment Plants in Swaziland in Relation to Agricultural Uses," *Resour. Environ.*, vol. 4, no. 4, pp. 190–199, 2014.

[26] B. Kavur, "Materijali iz kolegija Geotehničko - ekološki zahvati." Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet.

POPIS SLIKA

Slika 1. Pravokutni prethodni taložnik [10] 6

Slika 2. Kontrolni i operativni parametri u obradi otpadnih voda tehnologijom aktivnog mulja [7] 7

Slika 3. Biološki reaktor [10] 8

Slika 4. Postrojenje za anaerobnu obradu mulja na UPOV Zagreb [15] 23

Slika 5. Stabilizacija mulja vapnom [16] 24

Slika 6. UPOV Zagreb [2], [18] 31

Slika 7 UPOV Slavonski Brod 33

Slika 8. UPOV Velika Gorica [20] 34

Slika 9. Usporedba rezultata analiza za TOC, ukupni dušik i ukupni fosfor za odabrane UPOV-e 41

Slika 10. Usporedba pH vrijednosti muljeva na promatranim UPOV-ima 42

Slika 11 Usporedba postotaka suhe tvari s promatranih uređaja 43

Slika 12. Usporedba dobivenih podataka uzoraka mulja s graničnom vrijednosti za bakar 44

Slika 13. Usporedba dobivenih podataka uzoraka mulja s graničnom vrijednosti za krom . 45

Slika 14. Usporedba dobivenih podataka uzoraka mulja s graničnom vrijednosti za cink .. 45

Slika 15. Usporedba dobivenih podataka uzoraka mulja s graničnom vrijednosti za nikal . 46

Slika 16. Usporedba dobivenih podataka uzoraka mulja s graničnom vrijednosti za olovo 47

POPIS TABLICA

Tablica 1. Karakteristični kemijski sastav i svojstva primarnog i biološkog mulja [9].....9

Tablica 2. Kemijski sastav i svojstva neobrađenog kanalizacijskog mulja, mulja iz anaerobne digestije, kompostiranog mulja, termički osušenog mulja, biougljena i pepela mulja [9].....10

Tablica 3. Udio suhe tvari u mulju u pojedinim fazama pročišćavanja [3].....12

Tablica 4. Smanjenje volumena mulja te povećanje udjela suhe tvari [3].....13

Tablica 3. Kemijski sastav neobrađenog kanalizacijskog mulja, mulja iz anaerobne digestije, kompostiranog mulja, termički osušenog mulja, biougljena i pepela mulja [9] ...15

Tablica 6. Dopušteni sadržaj teških metala u obrađenom mulju koji se koristi u poljoprivredi [21].....37

Tablica 7. Fizikalna i kemijska svojstva UPOV Zagreb [12].....38

Tablica 8. Fizikalna i kemijska svojstva UPOV Slavonski Brod [22].....39

Tablica 9. Fizikalna i kemijska svojstva UPOV Velika Gorica [23].....40

POPIS KORIŠTENIH KRATICA I OBJAŠNJENJA KORIŠTENIH U RADU

UPOV	uređaj za pročišćavanje otpadne vode
EU	Europska Unija
ES	ekvivalent stanovnika
BPK	biokemijska potrošnja kisika
ST	suha tvar
CO_2	ugljikov (IV) oksid (ugljikov dioksid)
H_2O	voda
CaO	kalcijev oksid (živo vapno)
$FeCl_3$	željezov (III) klorid
SBR	sekvencionalni biološki reaktor
KPK	kemijska potrošnja kisika