

MEĐIMURSKO VELEUČILIŠTE U ČAKOVCU

ODRŽIVI RAZVOJ

LANA TRESKA

ZBRINJAVANJE MULJA

ZAVRŠNI RAD

Čakovec, 2017

MEĐIMURSKO VELEUČILIŠTE U ČAKOVCU

ODRŽIVI RAZVOJ

LANA TRESKA

ZBRINJAVANJE MULJA

DISPOSAL OF SLUDGE

ZAVRŠNI RAD

Mentor:

dr.sc. Silvija Zeman, pred.

Čakovec, 2017

Zahvala

Zahvaljujem se mentorici dr.sc. Silviji Zeman pred. i profesorici mr. sc. Nadi Glumac na stručnoj pomoći prilikom izrade završnog rada.

Posebno se zahvaljujem svojoj obitelji, zaručniku Martinu i prijateljima koji su mi bili podrška tijekom cijelog školovanja.

Lana Treska

SAŽETAK

Mulj nastaje u postupku pročišćavanja otpadnih voda. Pročišćena otpadna voda se ispušta u prirodni prijamnik, a problem predstavlja izdvojeni mulj koji je potrebno obraditi i konačno zbrinuti radi očuvanja ljudskog zdravlja i okoliša. Za svaki pojedini uređaj koji pročišćava otpadnu vodu potrebno je odabrati siguran način kojim će se obrađeni mulj zbrinuti. Učinak uređaja za pročišćavanje ne smije se vrednovati jedino kakvoćom pročišćene vode, nego i učinkovitošću obrade mulja koji se izdvoji u postupku pročišćavanja. Što je stupanj pročišćavanja otpadnih voda veći, time su i količine izdvojena mulja veće. Mulj uz bezopasne tvari sadrži i opasne tvari kao što su teški metali, organski spojevi, biomasa i druge štetne tvari koje se tijekom pročišćavanja izdvajaju iz otpadnih voda. Mulj treba obrađivati stalno bez štetnih utjecaja na okoliš. Nakon što se utvrdi količina mulja, njegovo porijeklo i osnovne značajke, odlučuje se njegov način obrade i zbrinjavanja. Postoje različiti načini zbrinjavanja mulja upotrebom u poljoprivredi, odnosno za slične namjene kao što su cvjećarstvo, šumarstvo, pašnjaci, sanacija oštećenih dijelova zemljišta, korištenjem proizvoda termičke obrade - pepela u građevinarstvu, odlaganje mulja na deponijama te u građevinskoj industriji. Svi navedeni postupci imaju svoje prednosti i nedostatke te su tijekom godina primjene ukazali na pojavu raznih problema i ograničenja. Mulj je potrebno zbrinuti na odgovarajući održivi način što zahtjeva veću financijsku potporu. Donošenjem zakonskih regulativa na državnoj i lokalnoj razini potrebno je izraditi odgovarajuće analize, kriterije, smjernice te planirati provedbu načina obrade i konačnog odlaganja mulja iz otpadnih voda.

U pravilu, važno je imati dobro izveden i efikasan sustav obrade i zbrinjavanja mulja. Cilj ovog rada je provesti istraživanje i analizu koja podrazumijeva postupke obrade i zbrinjavanja mulja sukladno s načelima održivog razvoja.

Ključne riječi: otpadna voda, obrada mulja, zbrinjavanje mulja, uređaj za pročišćavanje, zakonska regulativa

SADRŽAJ

SAŽETAK	4
1. UVOD	7
2. KOLIČINA SIROVOG MULJA	8
3. SASTAV SIROVOG MULJA	8
3.1. Primarni mulj	8
3.2. Biološki mulj	8
3.3. Tercijarni mulj	9
3.4. Kombinacija muljeva	9
4. SVOJSTVA SIROVOG MULJA	9
4.1. Fizikalna svojstva	9
4.2. Kemijska svojstva	11
4.3. Mikrobiološka svojstva	11
5. KVANTITATIVNE I KVALITATIVNE KARAKTERISTIKE MULJA	11
6. PROCESI OBRADJE MULJA	13
6.1. Kondicioniranje mulja	15
6.1.1. Mehaničke operacije kondicioniranja mulja	15
6.1.2. Toplinske operacije kondicioniranja mulja	15
6.2. Zgušnjavanje mulja	16
6.2.1. Gravitacijsko zgušnjavanje	17
6.2.2. Zgušnjavanje isplivavanjem	17
6.3. Stabilizacija	17
6.3.1. Biološka stabilizacija	17
6.3.2. Kemijska stabilizacija	18
6.4. Solidifikacija	19
6.5. Odvodnjavanje mulja	19
6.6. Toplinska obrada mulja	22
6.6.1. Vrste uređaja za toplinsku obradu	22
6.6.2. Sušenje mulja	23
6.6.3. Spaljivanje mulja	24
6.7. Kompostiranje mulja	25
7. ZBRINJAVANJE MULJA	27
7.1. Zbrinjavanje mulja na odlagalište	28
7.2. Korištenje mulja u poljoprivredne svrhe	30

7.3. Spaljivanje mulja.....	32
7.4. Korištenje mulja u građevinarstvu.....	34
7.5. Privremeno skladištenje i obrada.....	36
8. PROBLEMI ZBRINJAVANJA MULJA U HRVATSKOJ.....	37
9. PROBLEMI ZBRINJAVANJA MULJA U SVIJETU.....	39
10. PRAKSA ZBRINJAVANJA MULJA U HRVATSKOJ.....	40
11. PRAKSA ZBRINJAVANJA MULJA U SVIJETU.....	41
12. USPOREDBA ZBRINJAVANJA MULJA U HRVATSKOJ I NJEMAČKOJ.....	42
13. POLITIKA ZBRINJAVANJA MULJA.....	44
13.1. Sustav nadležnosti.....	44
13.2. Propisi.....	45
14. USKLAĐIVANJE HRVATSKE SA EUROPSKOM ZAKONSKOM REGULATIVOM.....	47
14.1. Nacionalni propisi RH kojim se preuzimaju zahtjevi akta EU.....	49
15. MATERIJALI I METODE.....	50
15.1. Analize ispitivanja.....	51
16. ZAKLJUČAK.....	59
17. LITERATURA.....	60
POPIS SLIKA.....	62
POPIS TABLICA.....	63

1. UVOD

Razvoj industrije i poljoprivrede, s jedne strane donio je veliki napredak, nagli razvoj tehnike, mogućnost korištenja raznih tehnoloških materijala i pomagala u svakodnevnom životu. S druge strane čovjek je svojim neodgovornim ponašanjem prema prirodi, kao i pretjeranim iskorištavanjem prirodnih resursa doveo do zagađenja okoliša, stvaranja otpadnih voda i narušavanja prirodne ravnoteže. Otpadna voda onečišćena je organskim i anorganskim tvarima, pa time dolazi do fizikalnih, kemijskih i bioloških promjena koje štetno djeluju na žive organizme u vodi koja time postaje neupotrebljiva za određenu namjenu. Pročišćavanje otpadnih voda ostvaruje se tehnološkim procesom na uređajima za pročišćavanje da bi se poboljšala kavoća same vode. Tehnološki proces pročišćavanja otpadnih voda odvija se kroz dvije linije: linije toka vode i linije toka mulja. U današnjici veliki problem predstavlja mulj koji nastaje kao produkt pročišćavanja otpadnih voda. Mulj je potrebno obraditi i zbrinuti na održivi način u prirodu, kako bi se spriječile štetne posljedice što pritom zahtijeva veliku financijsku potporu. Činjenica je da se mulj do 1998. godine odlagao u mora, tada je to zabranjeno. Nakon toga mulj se počeo intenzivno odlagati na sanitarna odlagališta. Posljednjih desetljeća kao rezultat gradnje uređaja za pročišćavanje mulj se počinje koristiti u poljoprivredi kao gnojivo koje potiče rast biljaka i kao poboljšivač strukture tla. Ulaskom u EU preuzimaju se zakonski propisi iz Europe, prema kojima se mulj počinje zbrinjavati na druge načine kao što su spaljivanje, korištenje u građevinoj industriji za proizvodnju betona i cementa, u opekarskoj industriji, pri izgradnji prometnica. Svi postupci zbrinjavanja mulja vežu uz sebe prednosti i ograničenja pa tako ne postoji savršeni način zbrinjavanja mulja. Svaki sustav zbrinjavanja mulja mora ponuditi učinkovita i kvalitetna rješenja daljnje namjene mulja koja moraju biti usklađena sa zakonskim propisima i ekonomskom i ekološkom održivošću.

2. KOLIČINA SIROVOG MULJA

Količina mulja znatno ovisi o postupku pročišćavanja i kakvoći vode koja se pročišćava. Količine mulja su puno veće ako je postupak pročišćavanja kvalitetan i potpun. Na uređaju za pročišćavanje svježiji mulj ima daleko manji volumen od vode koja se pročišćava. Važan cilj je izdvojiti što veće količine vode iz mulja zbog smanjenja volumena bez obzira na način obrade mulja. Takvim postupkom smanjuju se troškovi daljnje obrade, troškovi prijevoza do odlagališta mulja te površina zemljišta potrebna za odlaganje. [1]

3. SASTAV SIROVOG MULJA

Sastav sirovog mulja ovisi o vrsti otpadnih voda i o postupku kojim se one pročišćavaju. Muljevi su po svojem sastavu, količini, obradi i konačnom odlaganju veliki ekonomski i ekološki problem svakog sustava javne odvodnje. Tijekom obrade gradskih komunalnih voda nastaje primarni, biološki i sekundarni mulj. [1]

3.1. Primarni mulj

Primarni mulj nastaje izdvajanjem iz primarnog ili prethodnog taložnika nakon prvog stupnja pročišćavanja. Sadržava anorganske tvari (pijesak, glinu, karbonate, kovinske okside), organske lakorazgradive tvari (bjelančevine, masti, ugljikohidrate), teško razgradive tvari (različita vlakna, gumu i dr.), kao i žive organizme (bakterije, viruse, parazite i dr.) [1]

3.2. Biološki mulj

Biološki mulj nastaje procesima aerobne ili anaerobne razgradnje otopljenih organskih tvari te je izdvojen iz biološkog reaktora. Sadržava živu masu bakterija i njihove ostatke, a količina ovisi o vrsti uređaja, odnosno postupku pročišćavanja otpadnih voda, starosti mulja, unosu zraka i dr. [1]

3.3. Tercijarni mulj

Mulj koji nastaje u procesima obrade otpadne vode kada je tercijarna faza odvojena. Sadržava ostatke reakcije dodanih kemikalija s otpadnom vodom i s njenim sadržajem pri koagulaciji. Također može sadržavati adsorbente sa sastojcima koji su adsorbirani iz otpadnih voda, što naravno ovisi o primijenjenom postupku. [1]

3.4. Kombinacija muljeva

U ovu grupu pripadaju muljevi koji imaju različita podrijetla. [1]

4. SVOJSTVA SIROVOG MULJA

Muljevi se međusobno razlikuju po svojstvima o kojima ovisi izbor sustava za njihovu preradu. Svojstva se mogu podijeliti na fizikalna, kemijska i biološka.

4.1. Fizikalna svojstva

Mulj sadržava ukupnu vodu koja može biti slobodna, vezana (kapilarno ili adhezijski) i intermolekularna (adsorbirana). U slobodnoj vodi uklanja se taloženjem krutina, u vezanoj odvajanje je teže te se podrazumijeva cijeđenje pod tlakom, dok je uklanjanje u intermolekularnoj vodi moguće jedino termičkim postupcima. [2]

Taloživost

Taloživost mulja je postupak odvajanja mulja taloženjem krutina pod utjecajem sile teže ili mehaničkim miješanjem iz vode. Ovisi o načinu vezanja vode u mulju. Primarni mulj i dobro istrunuli ili stabilizirani mulj imaju dobru taloživost. [2]

Stišljivost ili dehidratizacija

Sposobnost cijedenja bitna je pri izboru načina uklanjanja vezane vode. Toj svrsi najčešće služe filtri (cjediljke) koji su pod tlakom ili vakuumom i centrifuge. [1]

Granulometrijski sastav

Ovisi o vrsti mulja, a krupnoća čestica iznosi od 0,001 mm do 5,0 mm. [1]

Vlaga

Ovisi o temperaturi i upravo je proporcionalna koncentraciji suhih tvari. [1]

Viskoznost mulja

Ovisi o koncentraciji suhe tvari i temperaturi. Služi pri izboru crpki i cjevovoda za mulj. [1]

Gustoća mulja

Podrazumijeva se da volumna masa sirovog mulja iznosi $1,0 \text{ t/m}^3$ s visokim sadržajem vode u njemu. Ukoliko se sadržaj vode smanji, volumna masa se povećava zbog sadržaja mineralnih sastojaka čija gustoća iznosi $2,0 \text{ t/m}^3$ do $2,2 \text{ t/m}^3$ pa tada dobivamo sljedeće vrijednosti: 90 % vode $1,03 \text{ t/m}^3$, 75 % vode $1,10 \text{ t/m}^3$, 50-55 % vode $1,20 \text{ t/m}^3$. [1]

Toplinska vrijednost

Veoma je bitna kod obrade mulja spaljivanjem i iznosi za ukupnu suhu tvar oko $16\,747 \text{ kJ/kg}$ te $21\,771 \text{ kJ/kg}$ za organsku suhu tvar. [1]

4.2. Kemijska svojstva

pH vrijednost

Za mulj kažemo da je neutralan ako njegova vrijednost iznosi 7, 0. Ako mulj prelazi u sustav raspadanja, tada njegova pH vrijednost pada i može biti manja od 6 jer nastaje kiselo vrenje. [1]

Količina suhe tvari (SM)

Predstavlja ukupnu količinu organskih i anorganskih tvari koje nakon sušenja mulja ostaju pri temperaturi od 105 °C. Obično se izražava u postotku mase [%], a može i u g/l. [1]

Količina anorganskih (mineralnih tvari)

Dobiva se pri temperaturi od 550-600 °C, žarenjem. Nakon žarenja ostatak se izražava u postotku ukupne suhe tvari, a zapravo je ostatak anorganske (mineralne) tvari. Razlika između ostatka nakon žarenja i mase suhe tvari čini masu organske tvari. [1]

4.3. Mikrobiološka svojstva

Sirovi mulj sadržava patogene mikroorganizme, a to su jaja crva i drugi paraziti te saprofitni organizmi. [1]

5. KVANTITATIVNE I KVALITATIVNE KARAKTERISTIKE MULJA

Osobine mulja i njegove količine izdvojenog mulja ovise o karakteru influenta i tipu postrojenja za njegovo pročišćavanje. Aerobni mulj formira se nakon primarnog taloženja te sadrži ulazne organske materije koje su podložne aktivnoj razgradnji bakterija. Mulj je vrlo bitno obraditi da bi se spriječilo širenje neugodnih mirisa.

Primarni mulj se znatno lakše zgušnjava nego aktivni mulj iz biološkog pročišćavanja i to ponajviše zbog krupnije vlaknaste strukture. [3]

Količina mulja koja ostaje izdvojena nakon taloženja može se izračunati prema formuli:

$$M_s = fSSQ$$

Prema formuli, M_s označava sirovi mulj (g mase po suhoj materiji na dan), f je dio suspendiranih tvari koje su odstranjene primarnom sedimentacijom (za fekalne vode $f = 0,5$), SS označava sadržaj suspendiranih tvari u neistaloženom influentu (mg/l), a Q označava količinu influenta izraženog u (m^3/d). [3]

Nakon aeracije mulj predstavlja upahuljičene kolonije bakterija sa nerastvorenim koloidnim primjesama. Višak aktivnog mulja koji se dobiva u procesu aeracije te količina biološke skrame koja se dobiva pri biofiltraciji može se izračunati prema formuli:

$$M_b = K \text{ BPK } Q$$

M_b se navodi kao biološki mulj (g mase po suhoj tvari na dan), dok K predstavlja frakciju BPK, koja se razgrađuje za formiranje viška aktivnog (biološkog) mulja odnosno koeficijenta koji je zavisen od odnosa organske tvari/mikroorganizma, a BPK je koncentracija po BPK u influentu. [3]

Eksploatacija i projektiranje sustava za obradu mulja temelji se na volumenu sirovog mulja i količini mulja po suhoj tvari. Kad se odredi masa suhe tvari prema gore navedenim formulama, tada se može izračunati volumen sirovog mulja (V), samo ako je poznat procentualni sadržaj čvrste ili tekuće faze i to prema formuli:

$$V = \frac{M}{\frac{Sr}{100}} = \frac{M}{\frac{100 - Sr}{100}}$$

Masa suhe tvari (kg) u formuli je označena oznakom M, St je sadržaj čvrste faze (%), dok je sadržaj vode (%) označen kao Sv. [3]

Tekuća faza dominira tako da je prosječna vlažnost primarnog mulja oko 95 %, a aktivnog mulja oko 99, 2 %. [3]

6. PROCESI OBRADE MULJA



Slika 1. Prihvat mulja za obradu na uređaju za pročišćavanje u Zagrebu
(Izvor: Tušar B. (2009), Pročišćavanje otpadnih voda, Zagreb, Kigen d.o.o)

Obrada mulja podrazumijeva smanjenje volumena mulja u svakoj fazi obrade zbog smanjenih troškova naknadne obrade, prijevoza obrađenog mulja do mjesta konačnog zbrinjavanja te nadziranje razgradnje otpadne tvari kojima bi se spriječili neželjeni utjecaji na okoliš. Mulj prije obrade treba dati analizirati, a tek kasnije odrediti tehnološki postupak njegove obrade. Postupke obrade mulja najlakše je odrediti nakon što se utvrde svojstva mulja, pa je u tom slučaju najbolje sagraditi tehnološku liniju za pročišćavanje otpadnih voda. Postupci obrade mulja znatno se razlikuju. Zbog različitih karakteristika, mulj se često podvrgava ispitivanjima tehnološkim testovima. [1]

Konačna obrada mulja ovisi o njegovoj ponovnoj upotrebi te mjestu i načinu odlaganja. Mulj nakon obrade otpadnih voda čini heterogenu masu koja se sastoji od tekuće disperzne smjese u kojoj se nalaze krute čestice različitih veličina. [1]

Tablica 1. Procesi i načini ustanovljivanja karakteristika mulja

Postupak	Ispitivanja, pokusi i testovi za ustanovljivanje svojstava mulja
Obrada mulja	Test koagulacije, test flokulacije, test smrzavanja, test termičke obrade bez tlaka i test termičke obrade pod tlakom
Sedimentacija, Zgušnjavanje I flotacija mulja	Ustanovljivanje svojstava suspenzije, test sedimentovalentnosti, tlačno - flokulacijski test
Uklanjanje vode iz mulja	Ustanovljivanje specifičnog otpora filtracije, ustanovljivanje koeficijenta stlačivanja, test vakuumske filtracije, ustanovljivanje vremena kapilarne inhibicije, filtracijski pokus
Sušenje mulja	Test nije izrađen
Stabilizacija mulja	Test aerobne stabilizacije, test anaerobne stabilizacije
Upotreba mulja u gospodarstvu	Termički pokus, pokus kompostiranja, Neubauerov test, vegetacijski pokusi u posudama, vegetacijski pokusi na polju
Odlaganje mulja	Propusnost, zasićenja vodom
Spaljivanje mulja	Ustanovljivanje obujma pepela, ustanovljivanje ogtjevne topline i kalorične vrijednosti, ustanovljivanje topline

(Izvor: Tušar B. (2009), Pročišćavanje otpadnih voda, Zagreb, Kigen d.o.o)

6.1. Kondicioniranje mulja

Ono je pripremni postupak (predtretman) koji je važan za daljnji proces zgušnjavanja mulja i odvajanje vode iz njega. Kondicioniranjem se smanjuje broj mikroorganizama, povećava učinak odvodnje i smanjuju se neugodni mirisi. Mulj se može kondicionirati na više načina koji ovise o procesima njegove obrade. [1]

6.1.1. Mehaničke operacije kondicioniranja mulja

Jedan od bitnih načina kondicioniranja je kemijsko, kod kojeg dolazi do koagulacije i flokulacije mulja prirodnim ili sintetičkim organskim polimerima. Da bi kondicioniranje mulja bilo što kvalitetnije, treba obratiti pozornost na sljedeće čimbenike: kemikaliju koja se primjenjuje u samom procesu, starost mulja, razrijeđenost i starost kemijskog sredstva.

Nakon kondicioniranja mulja kemijskim spojevima, javljaju se mehaničke operacije koje pomažu kod odvajanja vode iz njega. [1]

- ❖ Centrifugiranje na centrifugi ili trakastoj preši uz dodatak polielektrolita koji su obično kationski.
- ❖ Vakuumska filtracija uz koju se dodaje vapno i željezov klorid koja se kreće u koncentraciji od 5, 0 kg do 10 kg vapna po m³ mulja, a 2, 0 kg do 4, 0 kg klorida po m³.
- ❖ Filtarne preše koje su iste kao i navedene kemikalije gore samo u različitoj koncentraciji od 10 kg do 12 kg odnosno od 3, 0 kg do 5, 0 kg po m³ mulja.

6.1.2. Toplinske operacije kondicioniranja mulja

Kondicioniranje mulja postiže se zagrijavanjem na temperaturu od 180 ° C do 200 ° C pod tlakom od 12 do 15 bara u vremenu od 30 do 45 min. Najpoznatiji postupak takvog zagrijavanja je Porteous koji se koristi za kondicioniranje primarnog, sekundarnog i mješovitog mulja bez obzira na to da li je svjež ili istrunuli. Voda koja se

odvaja u samom postupku sadrži velike količine BPK₅ pa se samim time mora vratiti na početak linije za pročišćavanje vode. [1]

Kondicioniranje mulja zamrzavanjem je veoma skup i neisplativ proces koji ima funkciju da poboljšava odvajanje vode iz primarnog, aktivnog i istruljelog mulja. Mulj se u samom postupku najprije zamrzava, a nakon toga otapa. [1]

Kondicioniranje mulja dodavanjem inertnih tvari je postupak kojem se najčešće dodaje doza pepela koja pritom mijenja koloidnu strukturu mulja i sadrži 100 kg/m³ zgusnutog mulja. Inertne tvari svojom prisutnošću pomažu da se smanji kalorijska vrijednost mulja. [1]

6.2. Zgušnjavanje mulja

Zgušnjavanje je fizikalni proces obrade mulja čiji je cilj smanjiti količinu vode u mulju i time postići smanjenje količine obujma. Odvija se u sedimentacijskom bazenu ili laguni prije daljnjih tretmana. [1]

Postupak samog zgušnjavanja provodi se gravitacijski uključujući procese taloženja i isplivavanja.

Smanjenje obujma vode može se izraziti jednadžbom:

$$Q_i = Q_u \frac{C_u}{C_i} [m^3]$$

Q_i i Q_u predstavljaju količinu mulja nakon i prije zgušnjavanja [m³], a C_i i C_u koncentraciju suhe tvari (krutina) nakon i prije zgušnjavanja [m³].

6.2.1. Gravitacijsko zgušnjavanje

Procesom taloženja voda se uklanja iz tekućeg mulja pa se samim time sirovi mulj gravitacijski uvodi u taložnik - zgušnjivač. Gravitacijski zgušnjivači mogu biti statički ili dinamički. Gravitacijski taložnik sličan je prethodnom taložniku samo što je njegov promjer nešto manji s dubinom od 3, 5 m do 6, 0 m. Mulj se u gravitacijskom taložniku može zadržati od jednog dana do dan i pola. [1]

6.2.2. Zgušnjavanje isplivavanjem

Proces se koristi kad su u pitanju muljevi male gustoće. Mjehurići zraka se iskorištavaju pa na sebe vežu čestice mulja koji ih podiže na površinu, da bi se kasnije uklonili. U flotacijskom objektu vrijeme zadržavanja iznosi 30 minuta, dok površinsko opterećenje suhom tvari iznosi 2, 4 kg/m² do 24 kg/m² x h. Proces zgušnjavanja isplivavanjem primjenjuje se na aktivnom mulju. [1]

6.3. Stabilizacija

Postupkom stabilizacije postiže se bolje odvajanje vode iz mulja i sprječava se njegova daljnja razgradnja odnosno truljenje. Također dolazi do smanjenja broja patogenih mikroorganizama te nestaje širenje neugodnog mirisa. [1]

6.3.1. Biološka stabilizacija

Biološka stabilizacija može se podijeliti na dva postupka biološke razgradnje organske tvari: aerobnu (uz prisutnost kisika) i anaerobnu (bez prisutnosti kisika).

Aerobna stabilizacija

Obuhvaća postupak kojim se razgrađuje mulj organskog podrijetla koji se može odvijati istodobno ili odvojeno s biološkim pročišćavanjem vode uz zajedničku stabilizaciju. Kako bi stabilizacija bila što učinkovitija izvodi se uz pomoć aerobnih

mikroorganizama koji uz dovoljnu količinu kisika mogu oksidirati razgradivu organsku tvar. Kao nusproizvod nastaju voda, nitrati, fosfati i sulfati. Provođenje postupka može se odvijati s prekidima zbog taloženja mulja i odvodnje viška vode ili bez prekida kad postoji spremnik za odjeljivanje vode i mulja. Vrijeme zadržavanja u digestoru je 10 do 12 dana. [1]

Anaerobna stabilizacija

Ova se vrsta stabilizacije primjenjuje kod razgradnje prirodnih organskih tvari koja se izvodi u anaerobnim digestorima. Anaerobna razgradnja je jedini biološki postupak kod kojeg se može iskoristiti energijska razina mulja te se preporuča kod većih uređaja za pročišćavanje otpadnih voda. Kao nusproizvod anaerobne stabilizacije nastaje bioplin koji sadrži 2/3 metana i 1/3 ugljikovog dioksida sa donjom ogrjevnom moći od 6, 63 kWh/m³ plina. [1]

Anaerobna digestija prolazi kroz dvije faze. Prva faza je kiselinsko vrenje u kojoj se složene organske tvari razgrađuju u organske kiseline pomoću mikroorganizama. Druga faza je metanska u kojoj se pomoću bakterija metanskog vrenja nastavlja razgradnja u vodu, metan, ugljični dioksid i dr. [1]

6.3.2. Kemijska stabilizacija

Vapno je neophodno sredstvo u postupku kemijske stabilizacije koje povećava pH vrijednost. Samim time prouzrokuje ugibanje mikroorganizama i sprječava širenje neugodnih mirisa čime prestaje biološka razgradnja. Ukoliko se vrijednost pH smanji, mogući je ponovni razvoj mikroorganizama. Također klor ima važnu ulogu uklanjanja bakterija i virusa kad se postiže kemijska stabilizacija. Ipak, klor mora biti pod kontrolom jer prevelike koncentracije uz prisutnost amonijaka mogu povećati koncentraciju kloramina koji postaje štetan za ribe i čovjeka. [1]

6.4. Solidifikacija

Ovaj postupak podrazumijeva fizikalne promjene kojima mulj prelazi u kruti i inertan proizvod. U postupku solidifikacije koriste se veziva, aditivi i primjese koje pomažu da mulj iz polučvrstog i tekućeg oblika prijeđe u čvrsti oblik koji ne sadrži tekuće dijelove. Kao konačan proizvod nastaje mulj u osušenom obliku s više od 85 % suhe tvari. Mulj koji se podvrgava postupku solidifikacije mora biti stabiliziran i dehidriran. Najpoznatija tehnologija solidifikacije mulja koja se uspješno primjenjuje u Hrvatskoj je patentirana MID-MIX tehnologija na UPOV u Koprivnici. [16]

6.5. Odvodnjavanje mulja

Nakon postupka zgušnjavanja i stabilizacije mulj još uvijek sadržava veliki postotak vode, pa je potrebno primijeniti postupak odvodnjavanja mulja. Postiže se raznim postupcima prirodnog cijeđenja i ishlapljivanja na poljima za sušenje mulja, mehaničkim cijeđenjem na vakuumskim cjediljkama te centrifugama za mulj. Da bi odvodnjavanje bilo što efikasnije, primjenjuju se cjediljke različitih vrsta. [1]

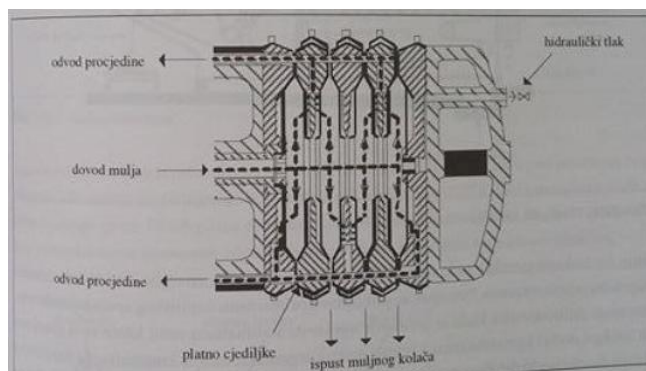
Fizikalno uklanjanje vode (Polja za sušenje mulja)

Polja za sušenje su najjednostavniji i najčešće primjenjivani objekti za odvodnjavanje mulja. To su zapravo plitki spremnici koji imaju funkciju da ispuste tekući mulj preko sloja finog i krupnog pijeska i šljunka. Proces zadržavanja mulja traje nekoliko tjedana ovisno o svojstvima mulja te klimatskim prilikama. Kroz neko vrijeme jedan dio vode se procjeđuje i prikuplja sustavom drenažnih cijevi, dok drugi samo ispari. [1]

Mehaničko uklanjanje vode

Kod ovog načina uklanjanja vode **tlačne cjediljke** rade po principu izmjeničnog pražnjenja i punjenja, a u sebi imaju uspravne ploče s propusnim platnom između kojih se nalazi mulj za cijeđenje. Rade uz tlak od 15 bara pa se količina vode smanjuje čak 50

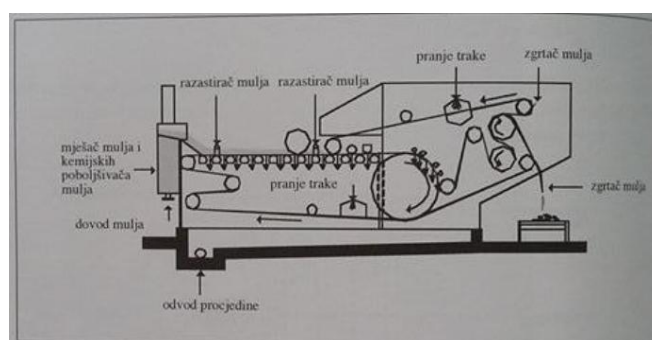
do 60 %, kad je u pitanju mulj organskog podrijetla. Ukupna površina cijedenja može doseći vrijednost od 500 m² do čak 800 m². [1]



Slika 2. Tlačna cjediljka

(Izvor: Tušar B. (2009), Pročišćavanje otpadnih voda, Zagreb, Kigen d.o.o)

Trakaste cjediljke rade neprekidno, imaju jednostavniji pogon i manju potrošnju energije. Za razliku od tlačnih cjediljki, cijedenje se postiže tlakom na mulj između dva pokretna platna. Kapacitet trakastih cjediljki iznosi do 500 kg suhe tvari po metru širine trake na sat, a potrošnja same energije iznosi 5, 0 kWh/t do 20 kWh/t suhe tvari. [1]

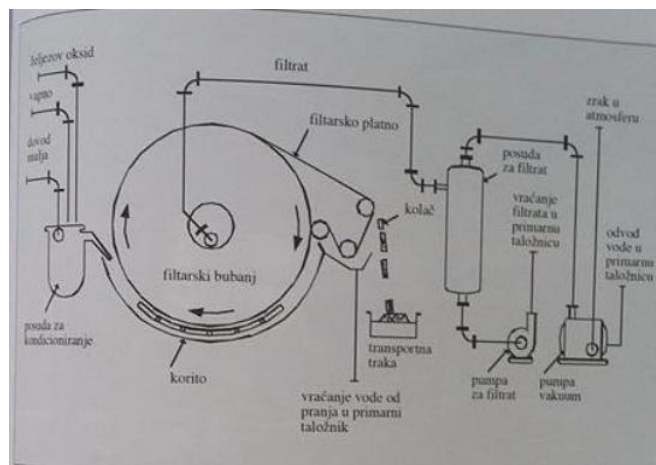


Slika 3. Trakasta cjediljka

(Izvor: Tušar B. (2009), Pročišćavanje otpadnih voda, Zagreb, Kigen d.o.o)

Odvodnjavanje mulja moguće je postići i iskorištavanjem vakuuma. Naprava koja služi za odvajanje mulja vakuumom naziva se vakuumska cijev. Sastavljena je od bubnja koji se okreće unutar spremnika u kojem se nalazi tekućina koja se cijedi. Stvara se podtlak pa se količine mulja, koja se odvoji prilikom postupka, lijepi za platno s

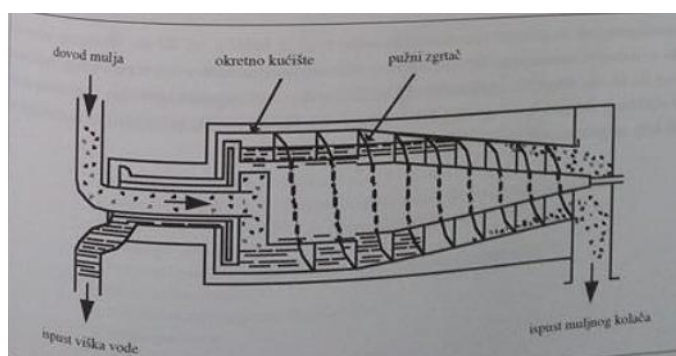
kojeg se cijedi i odvozi. Utrošak energije je od 50 kWh do 150 kWh po toni suhe tvari, dok se kapacitet cijevi kreće od 15 kg/h do 75 kg/h suhe tvari po m² površine cijevi. [1]



Slika 4. Vakuumski filter

(Izvor: Tušar B. (2009), Pročišćavanje otpadnih voda, Zagreb, Kigen d.o.o)

Uklanjanje vode iz mulja može se postići i postupkom centrifugiranja mulja gdje se uz pomoć centrifugalnih sila postiže taloženje. Ne postoji opasnost od začepjenja jer voda ne prolazi kroz platno same cjediljke. Količina vode u mulju smanjuje za 70-80 %. Potrošnja energije iznosi 30 kWh/t do 60 kWh/t suhe tvari. [1]



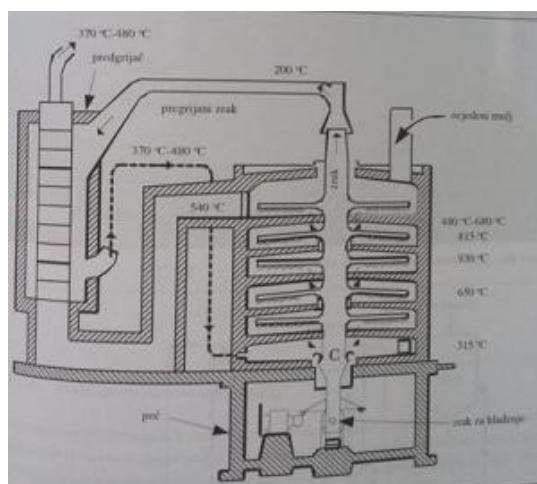
Slika 5. Centrifuga za mulj

(Izvor: Tušar B. (2009), Pročišćavanje otpadnih voda, Zagreb, Kigen d.o.o)

6.6. Toplinska obrada mulja

Prije samog ispuštanja i odlaganja mulja vrši se posljednji proces obrade mulja. U današnje vrijeme postoji mnogo različitih kombinacija toplinske obrade mulja.

6.6.1. Vrste uređaja za toplinsku obradu



Slika 6. Peć s višestrukim ložištem

(Izvor: Tušar B. (2009), Pročišćavanje otpadnih voda, Zagreb, Kigen d.o.o)

U gornjem dijelu peći s višestrukim ložištem prikazanim na slici uvodi se ocijedeni mulj, a odozdo struji vrući zrak koji se dijeli na više etaža. Rotacijski zupci koji se kreću po njima miješaju mulj te ga pokreću prema otvorima na dnu, pa samim time propada u niže etaže. Peć je podijeljena na tri zone. U najvišoj zoni mulj se suši (200 ° C – 500° C), u srednjoj se spaljuje (800° C – 1000 ° C), dok se u donjoj zoni hladi (200 ° C – 400 ° C). Promjer peći s višestrukim ložištem je od 7,0 m do 8,0 m, visina do 20 m, a kapacitet u granicama od 1,0 t/h do 12 t/h ocijedenog mulja. [1]



Slika 7. Mulj prije sušenja i spaljivanja u laboratoriju Građevinskog fakulteta u Zagrebu te granule dobivenog pepela

(Izvor:https://www.google.hr/search?q=spaljivanje+mulja&rlz=1C1GGLS_en__HR363&espv=2&biw=1366&bih=677&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjG6I iuhZXRAhUJfhoKHSxkCQ4Q_AUIBigB#imgrc=_6kBsFuY-Ff81M%3A)

6.6.2. Sušenje mulja

Sam postupak sušenja zahtijeva isparavanje vode na višim temperaturama koje se kreću od 200°C – 400°C. Postoje tri načina prijenosa termalnog sušenja mulja. Kod kondukcijskog sušenja, mulj je u kontaktu sa grijanom površinom, a toplina se dobiva iz vrelog uljnog sustava i pare. Konvekcijsko sušenje podrazumijeva prolazak plina (zraka) kroz sušilicu koji se na izravan i neizravan način zagrijava. Kod izravnog zagrijavanja se vrući otpadni plin iz komore za izgaranje dovodi u sušilicu, dok se kod neizravnog zrak zagrijava preko izmjenjivača topline. Solarno sušenje je ekološki prihvatljiv postupak koji obuhvaća obnovljive izvore energije sunca. Obnovljeni zrak dovodi se u staklenik u doticaj s muljem koji se stavlja na hrpu i redovito okreće. Sustav za miješanje zraka osigurava izlaz vlažnog zraka u stakleniku, a ventilacijski sustav izvlači iz mulja zrak zasićen vodenom parom.

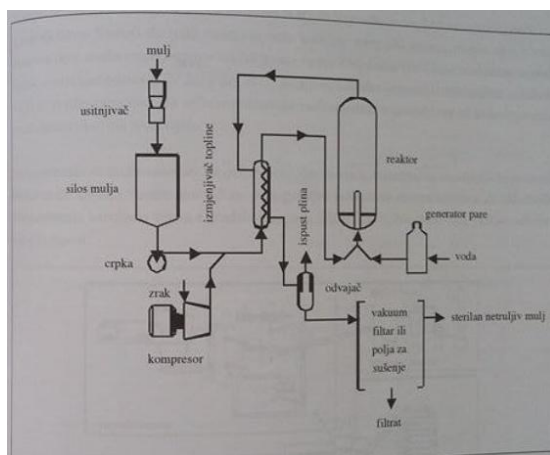
Sušenjem mulja smanjuje se vlaga, težina i volumen što olakšava pakiranje, pojeftinjuje transport, odlaganje i skladištenje. Suhi mulj se proizvodi u obliku granulata i često se upotrebljava u poljodjelstvu kao poboljšivač tla u slučaju da ne sadrži opasne tvari. Najveća mana ovog postupka jest prevelika potrošnja energije. [3]

6.6.3. Spaljivanje mulja

Ovim postupkom potpuno se uklanja voda i sve organske tvari izgaraju pri temperaturi od 800°C do 1000°C. Konačni proizvod samog postupka je pepeo koji se zbog sadržaja teških kovina mora kontrolirano odlagati. Također, predviđeno je da se peći dodatno pročiste od plinova koji su nastali tijekom procesa (dušikovi oksidi, sumporovi dioksidi, ugljikovi monoksidi). [1]

Mokro spaljivanje je postupak koji se ostvaruje na temperaturi od 225 ° C do 347 ° C uz tlak od 3, 0 Mpa do 25 Mpa.

Zimmermannov postupak je primjer mokrog spaljivanja u kojem se usitnjeni sirovi mulj oksidira u mokrom stanju. [1]



Slika 8. Shema Zimmermannova postupka

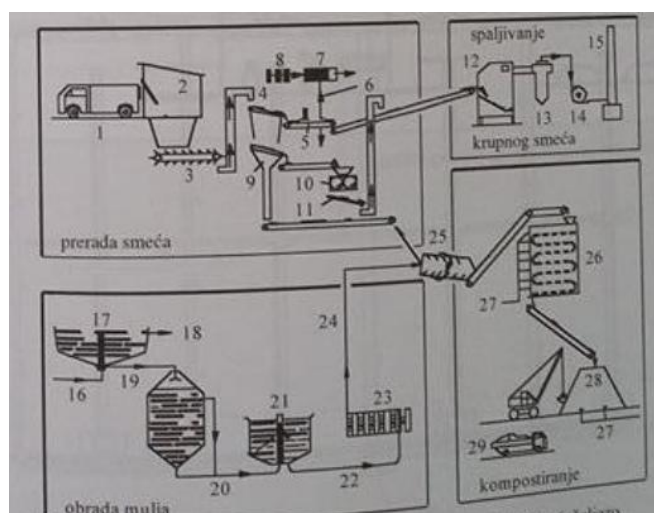
(Izvor: Tušar B. (2009), Pročišćavanje otpadnih voda, Zagreb, Kigen d.o.o)

Piroliza je postupak kojim organske tvari izgaraju na visokim temperaturama do 1600 ° C bez prisutnosti kisika ili uz ograničen dotok kisika. Procesom pirolize nastaju različiti plinovi (metan, vodik, ugljikov monoksid), ulja, katran, čađa, voda i čvrsti ostaci koji ovise o temperaturi i sastavu mulja. Piroliza je veoma problematičan postupak zbog ovisnosti o materijalu gdje kod visokih temperatura mogu nastati opasni spojevi (dioksini i halogenirani bifenili). [1]

Plinifikacija podrazumijeva postupak djelomičnog spaljivanja pri čemu gorive krutine prelaze u plinovito gorivo koje se transportira do mjesta korištenja i učinkovito se spaljuje. Postupkom plinifikacije nastaje pepeo. [16]

6.7. Kompostiranje mulja

Kompostiranje je postupak biološke razgradnje organske tvari, djelovanjem mikroorganizama, kisika i vode. Konačan proizvod koji nastaje je kompost, proizvod sličan humusu koji se može upotrebljavati u poljoprivredi kao poboljšivač tla. Mulj se može miješati s čvrstim otpadom jer sadržava veliku količinu vode (80 %). Postupak kompostiranja može se provoditi u aerobnim i anaerobnim uvjetima. U aerobnim uvjetima ubrzana je razgradnja organske tvari, čime se povećava temperatura koja je neophodna za uništavanje patogenih organizama. Kada u mulju nedostaje organske tvari, dodaje se mješavina istruljenog mulja zajedno sa čvrstim otpadom pa se tada kompostiranje radi zajedno. Materijal koji se kompostira stavlja se na hrpu širine od 3,0 m do 4,0 m i visine oko 1,5 m. Vrijeme potrebno za sazrijevanje komposta je oko 5 tjedana, a mehanički postupci traju od 5 do 7 dana. [1]



Slika 9. Shema uređaja za zajedničko kompostiranje istruljena mulja i gradskog otpada
(Izvor: Tušar B. (2009), Pročišćavanje otpadnih voda, Zagreb, Kigen d.o.o)

Slika prikazuje uređaje koji su neophodni kod postupaka kompostiranja mulja. Da bi se lakše raspoznali, u nastavku su imenovani: 1. Sirovo smeće, 2. Bunker, 3. Gruba traka, 4. Grubo sito, 5. Magnet, 6. Željezo, 7. Preša, 8. Paketi, 9. Srednje sito, 10. Mlin, 11. Fino sito, 12. Peć, 13. Ciklon, 14. Ventilator, 15. Dimnjak, 16. Otpadne vode, 17. Taložnici, 18. Očišćena otpadna voda, 19. Sirovi mulj, 20. Istruljeni mulj, 21. Zgušnjivač, 22. Istruljeli mulj, 23. Odvajanje vode, 24. Ocijedeći mulj, 25. Mješanje mulja i smeća, 26. Silos za prethodno vrenje, 27. Zrak, 28. Završeno vrenje, 29. Kompost.



Slika 10. Odloženi gotovi kompost

(Izvor: Tušar B. (2009), Pročišćavanje otpadnih voda, Zagreb, Kigen d.o.o)

Postupak kompostiranja

Mulj se iz taložnice biološkog uređaja pomoću pumpe jednom dnevno prebacuje u uređaj za kompostiranje. Višak vode procjeđuje se preko sita uređaja za kompostiranje i drvene mase, dok se u međuvremenu mulj zadržava u komposteru. Višak procijeđene vode vraća se u biološki uređaj. Jednom do dva puta godišnje iz uređaja za kompostiranje vadi se sirovi kompost koji se dalje tretira u termokomposteru, gdje se prirodnim putem postiže temperatura od cca 70°C. Sirovi kompost miješa se s drvenom masom i stavlja u kompostne vreće od specijalnog tekstila. Na taj način stvoreni kompost dobiva karakteristiku punovrijednog komposta. Cijeli postupak kompostiranja traje od 10 do 12 mjeseci te se sastoji od tri faze.

Prva faza je faza razgradnje u kojoj glavnu ulogu imaju mikroorganizmi. Oni napadaju kompostnu masu te je razgrađuju i pri tom se oslobađa velika količina topline koja uništava sjemenje korova i uzročnike bolesti. Druga faza je faza pretvorbe, u kojoj se temperatura smanjuje, broj mikroorganizama se povećava, a kompostnu masu nastanjuju i prve gljivice, plijesni, kvasci i dr. Treća faza je faza izgradnje u kojoj dolazi do pojave višestaničnih organizama (npr. glista) koje miješaju i usitnjavaju materijal. [22]

7. ZBRINJAVANJE MULJA

Velike količine mulja nastale tijekom pročišćavanja otpadnih voda potrebno je pravilno zbrinuti na prihvatljiv način kako ne bi predstavljale opasnost za okoliš i zdravlje ljudi. Mulj sadrži oko 70 % organskih tvari čija vrijednost je energetski iskoristiva i određenu količinu hranjivih tvari pa se smatra vrijednim materijalom.

Kod biranja lokacije za odlaganje mulja, važno je da javnost bude obaviještena o svakom nailazećem problemu. Primjena raznih postupaka postupanja s muljem privukla je na sebe mnoge probleme i ograničenja. Kod odlaganja mulja na odlagalište problem je vezan na velike količine organskih tvari koje uzrokuje truljenje. Najveći problem kod korištenja mulja u poljoprivredi predstavljaju patogeni organizmi (virusi, bakterije, gljive, paraziti) te neugodni mirisi koji vrlo lako mogu dospjeti na uređaje za pročišćavanje te ugroziti zdravlje ljudi i okoliš. Problem spalionica predstavljaju štetni plinovi i lebdeći pepeo koji onečišćuju zrak i negativno djeluju na okoliš. Postupanje s muljem iziskuje velike financijske troškove pa problem mulja ne privlači dovoljno veliku važnost i pažnju. Prema zakonu, troškove analize mulja snosi proizvođač mulja. Pri odabiru odgovarajuće tehnologije zbrinjavanja mulja potrebno je u obzir uzeti nekoliko važnih činjenica koje uključuju količinu i stanje mulja, veličinu i vrstu uređaja za pročišćavanje, pravne propise i investicijske troškove. Najveći problemi zbrinjavanja mulja javljaju se u urbanim sredinama, gdje u pravilu nastaju najveće količine otpadnih voda. U ruralnim sredinama mulj se često iskorištava na poljoprivrednim zemljištima pa je zbog toga veoma važno držati se uputa navedenih u Pravilniku o gospodarenju muljem iz UPOV, važno je spriječiti posljedice za tlo, biljke i životinje. Obrada mulja ovisna je o njegovom konačnom odlaganju, pa je vrlo važno kod izgradnje uređaja za

pročišćavanje predvidjeti konačnu dispoziciju mulja. Smatra se da ukoliko uređaji za pročišćavanje već u ranim fazama izgradnje nemaju predviđen način konačnog zbrinjavanja mulja, tada u cijelosti nisu potpuno isplativi. [10]



Slika 11. Zbrinjavanje mulja

(Izvor: Tedeschi S., Zbrinjavanje mulja otpadnih voda, Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet, Zavod za hidrotehniku)

7.1. Zbrinjavanje mulja na odlagalište

Odlaganje mulja na odlagalište ne ulazi u skupinu održivih rješenja prema zakonima EU unatoč jeftinim i zadovoljavajućim kriterijima. Prema Pravilniku o načinima i uvjetima odlaganja otpada, kategorijama i uvjetima rada za odlagalište otpada (NN 114/15), odlaganje mulja početkom 2017. neće biti dopušteno.

Mulj i otpadne tvari koje nije moguće iskoristiti za bilo kakvu uporabu i recikliranje treba pravilno rasporediti na odgovarajuća odlagališta. Odlaganje mulja na odlagališta privlači mnoge probleme te se preporuča samo ako mulj u sebi sadrže visoke koncentracije teških metala i nepostojanje spalionice na prihvatljivoj udaljenosti. Sanitarna odlagališta najpogodnija su za odlaganje otpadnih muljeva i krutog otpada. Moraju se kontrolirano nadzirati uz određene kriterije. Mulj koji se odlaže sadrži organske tvari pa nastupa proces truljenja koji producira štetne plinove i neugodne mirise koji se šire u atmosferu. Taj proces utječe na ljude koji su nastanjeni u blizini odlagališta te na sam okoliš. Da bi se spriječilo širenje neugodnih mirisa na odlagalište koje se održava, obično se nanosi ocijeđeni mulj koji se pokriva s 30 cm tla. Često se koristi i kompostirani mulj ili mulj obrađen s kemikalijama kao pokrovna zemlja. Odlagališta moraju biti vodonepropusna uz kontinuiranu kontrolu nasipanja i odlaganja

mulja te posebnu zaštitu površinskih i podzemnih voda. Ako je podloga na koju se mulj odlaže propusna zbog nepravilnog dimenzioniranja odlagališta, dolazi do prodiranja onečišćenih oborinskih i procjernih voda koje mogu ugroziti površinske i podzemne vode. [6]



Slika 12. Odlaganje mulja na odlagalište

(Izvor: Vouk D., Recikliranje komunalnog mulja u betonskoj industriji – od mikrostrukture do inovativnih građevnih proizvoda, Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet, Zavod za hidrotehniku)



Slika 13. Odlagalište mulja na pročistaču u Karlovcu

(Izvor: https://www.google.hr/search?q=zbrinjavanje+mulja+s+ure%C4%91aja+pro%C4%8Di%C5%A1%C4%87avanja+otpadnih+voda+vouk&rlz=1C1GGLS_en_HR363&espv=2&biw=1366&bih=677&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjkrDmw5XRAhXCMVAKHSvwBFsQ_AUIBigB&dpr=1#tbn=isch&q=zbrinjavanje+mulja+%&imgsrc=c6RnbFTFzjSPOM%3A)

7.2. Korištenje mulja u poljoprivredne svrhe



Slika 14. Korištenje mulja u poljoprivredne svrhe

(Izvor: <http://www.agroklub.com/>)



Slika 15. Korištenje mulja u poljoprivredne svrhe kao gnojivo

(Izvor: Tedeschi S., Zbrinjavanje mulja otpadnih voda, Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet, Zavod za hidrotehniku)

Korištenje mulja u poljoprivredi smatra se jednim od najbolje okolišno prihvatljivih rješenja održivog načina zbrinjavanja. Prilikom korištenja mulja na poljoprivrednim površinama ne nastaje nova otpadna tvar, već se vraća na mjesto svog postanka. Mulj sadrži određenu količinu hranjivih tvari kao što su dušik, fosfor i kalij koji su potrebni za prihranjivanje biljaka. Između ostalog, mulj sadrži mikrohranjiva i makrohranjiva te je dobar poboljšivač tla. Pravilnicima (NN 38/08, NN 9/14) je potrebno strogo kontrolirati unos tvari u tlo, njihovu količinu i koncentraciju fizikalno-kemijskih elemenata da ne bi došlo do degradacije tla te onečišćenja voda i tla. Način korištenja mulja treba biti pravilno raspoređen s količinama tvari koje se unose u tlo i izdvajaju iz

njega. Najveći problem predstavljaju organski zagađivači, patogeni mikroorganizmi, teški metali te širenje neugodnih mirisa. Stoga je potrebno pridržavati se normi i pravila zbrinjavanja mulja u poljoprivredne svrhe. Zbog neodgovarajućeg postupanja s muljem i njegove nepotpune obrade, virusi i paraziti koji su u mulju prenose se preko životinja na čovjeka. Proizvodnja mulja na uređaju za pročišćavanje otpadnih voda traje cijelu godinu, a u poljoprivredi se koristi samo u jednom dijelu godine. Zbog toga se povećavaju troškovi skladištenja i prijevoza. Dezinfekcija mulja osigurava se dodavanjem živog vapna u ocijeđeni mulj s naknadnim skladištenjem sa pH vrijednošću iznad 12 najmanje tri mjeseca. Takvim činom poboljšavaju se karakteristike mulja i omogućava se dugoročno skladištenje bez nastanka neugodnih mirisa. [4]

Kod odlaganja mulja na poljoprivredno tlo treba voditi računa o debljini, propusnosti i nagibu tla, udaljenost od površinskih i podzemnih voda, udaljenost od zdenca vodoopskrbe što je definitivno u sklopu principa održivog razvoja. Nažalost, tako povoljne lokacije teško je pronaći. [4]

Mulj, koji nastaje aerobnim i/ili anaerobnim procesom daljnje razgradnje organske tvari u poljoprivredi, može se upotrijebiti u obliku komposta odnosno humusa. Kod kompostiranja dodaju se drveni otpaci i piljevina ili suho lišće, a uobzir dolazi i kruti gradski otpad. Korištenje mulja u poljoprivredi obuhvaća niz prednosti koje uključuju smanjenje korištenja umjetnih gnojiva, smanjenje erozije, poboljšanu strukturu tla i plodnost, obogaćivanje tla organskim tvarima, održavanje optimalne vlažnosti, poboljšanje propusnosti. [4]

Tablica 2. Sadržaj hranjivih tvari u mulju

Element	U % od suhe tvari
Dušik	3-7
Fosfor	2-7
Kalij	< 1, 5

(Izvor: Tedeschi S., Zbrinjavanje mulja otpadnih voda, Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet, Zavod za hidrotehniku)

Odlaganje mulja na tlo na nepoljoprivredne površine

Odlaganje mulja na nepoljoprivredne površine ima veliki utjecaj na ljudski hranidbeni lanac u odnosu na poljoprivredne površine. Važni čimbenici koji određuju korištenje mulja na nepoljoprivrednim površinama su nagib, pokrov, tip tla i hidrogeološke karakteristike. [16]

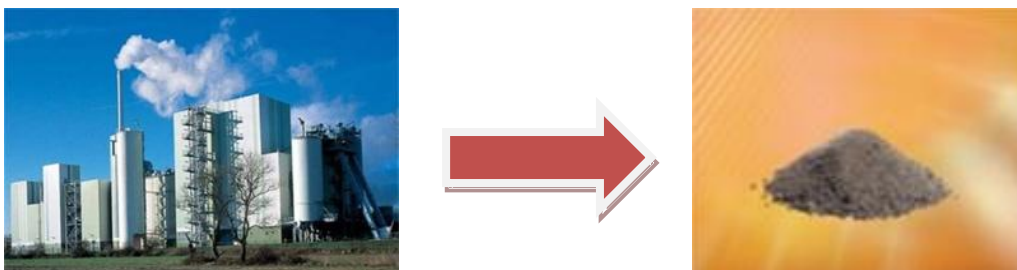
Šumska područja smatraju se prikladnim za odlaganje mulja zbog hranjivih tvari. Unos hranjivih tvari mora biti u ravnoteži s agronomskom stopom ciljanih prinosa šumskih kultura da se izbjegne onečišćenje podzemnih i površinskih voda štetnim tvarima iz mulja. Kod korištenja mulja u šumarstvu, najveći problem je vezan uz kontrolu stanovništva koje ima naviku odlaziti u šumu, a pravilno bi bilo da se u šumu ne odlazi 12 mjeseci nakon korištenja mulja. Pritom, posebno valja pripaziti na lokalne uvjete i ograničenja. Toksične se tvari mogu vrlo lako akumulirati u tlo i pritom ugroziti podzemne vode i područja spremišta pitke vode. Odlaganje mulja na šumskom tlu može ugroziti šumske putove i prouzročiti zbijenost tla ukoliko tehnika primjenjivanja mulja nije ispravna i odgovarajuća. Praćenje i analiziranje šumskog tla je vrlo složeno pa zahtijeva veliku financijsku podršku. Razastiranje mulja na pašnjake smatra se prikladnijim rješenjem zbog jednostavnosti i lakšeg pristupa. U cvjećarstvu se mulj koristi kao poboljšivač tla, što pridonosi većem prinosu i kakvoći cvijeća. Pod korištenjem mulja u sanaciji zemljišta podrazumijeva se sanacija oštećenih dijelova zemljišta, stabilizacija tla, sprječavanje erozije, poboljšavanje estetike krajolika, obnova odlagališta i dr. Mulj se nikako ne primjenjuje samostalno, već se miješa s drugim zemljanim materijalom. [16]

7.3. Spaljivanje mulja

Ukoliko mulj sadrži opasne tvari, ne može se odlagati na poljoprivredna zemljišta i odgovarajuće deponije te u obzir dolazi isključivo postupak termičke oksidacije (spaljivanje).

Spaljivanje podrazumijeva oksidaciju odnosno izgaranje svih organskih tvari te potpuno isparavanje vode. Mulj se može spaljivati samostalno ili u kombinaciji s čvrstim otpacima. Kao nusprodukti spaljivanja nastaju pepeo i zgura koje je potrebno zbrinuti na ekonomski i ekološki prihvatljiv način. Spaljivanje je zahtjevan proces uz višestruke nedostatke, kao što su visoki investicijski i pogonski troškovi, educirani kadrovi, opsežno i složeno održavanje te mogući negativni utjecaji na okoliš vezani uz onečišćenje zraka. Spaljivanje se odvija u zatvorenim pećima pri visokoj temperaturi. Najveći problem spalionica predstavljaju štetni plinovi (dušikovi oksidi, sumporovi dioksidi, ugljikovi monoksidi) te lebdeći pepeo koji, ako se dovoljno ne pročisti, postaju teret za zrak, okoliš i zdravlje ljudi. Ukoliko pepeo i zgura nisu iskoristivi u građevinarstvu kao građevinski materijal, tada se moraju odlagati na odlagališta opasnog otpada što nikako nije u skladu s održivim razvojem. Spalionice ne stvaraju energiju već je troše i to 4 puta više od recikliranja i ponovne upotrebe. [10]

Mulj sadži u sebi organsku tvar koja ima odgovarajući energijski potencijal pa se koristi u energetske svrhe. U anaerobnoj stabilizaciji se razgradnjom organske tvari dobiva bioplina koji ima sposobnost daljnje pretvorbe u toplinsku ili električnu energiju. Stupanj iskorištavanja električne energije iznosi 30%, dok stupanj iskorištavanja toplinske energije iznosi 45%. Ostatak mulja, koji ostaje nakon anaerobne stabilizacije, se spaljuje. [10]



Slika 16. Spaljivanjem mulja u spalionicama nastaje pepeo koji se kasnije ponovno može upotrijebiti

(Izvor: Tedeschi S., Zbrinjavanje mulja otpadnih voda, Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet, Zavod za hidrotehniku)

Spaljivanje mulja određeno je Pravilnikom o termičkoj obradi otpada NN 75/16 u kojem se propisuju načini i uvjeti rada, uvjeti za početak i prekid rada postrojenja za spaljivanje i suspaljivanje, način ulazne kontrole otpada, način zaštite zraka, tla i voda te način gospodarenja ostatnim otpadom u postrojenju za spaljivanje i suspaljivanje otpada i posebni uvjeti za ostale postupke termičke obrade. [23]

7.4. Korištenje mulja u građevinarstvu

Velike količine pepela koje nastaju prilikom spaljivanja mulja potrebno je na održiv način zbrinuti. Pepeo se, zbog svojih karakteristika i kemijskih svojstava, može višestruko primijeniti u građevinskoj industriji za proizvodnju betona i cementa, ugradnjom u asfaltne mješavine u cestogradnji te kao poboljšivač tla. Jedini problem predstavljaju tržišta koja nije lako pronaći. [7]

Primjena mulja i pepela u betonskoj industriji obuhvaća njihovu ugradnju u cementni mort, beton i betonske proizvode na način da se dodatkom mulja u solidificiranom obliku i pepela nastalog spaljivanjem mulja zamjenjuje dio cementa ili agregata. Kod izgradnje prometnica pepeo može poslužiti kao zamjena za vapnenac s ulogom mineralnog filtera ili kao dio finog agregata u asfaltnim mješavinama. Prakticiran je u pojedinim zemljama EU i svijeta (Japan). Brojnim istraživanjima ukazana je mogućnost korištenja pepela u funkciji poboljšanja tla. Dodavanjem pepela poboljšavaju se osnovna svojstva mekog temeljnog tla, a potencijal bubrenja značajno se smanjuje. Velike količine pepela mogu pospješiti značajni pad vrijednosti indeksa plastičnosti čime je moguća promjena kategorija od slabo nosivog do srednje nosivog temeljnog tla.



Slika 17. Primjena mulja u građevnoj industriji

(Izvor: Vouk D., Malus D., Nakić D. Zbrinjavanje mulja s uređaja za pročišćavanje otpadnih voda, Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet, Zavod za hidrotehniku, skripta)



Slika 18. Primjena mulja u opekarskoj industriji

(Izvor: Vouk D., Malus D., Nakić D. Zbrinjavanje mulja s uređaja za pročišćavanje otpadnih voda, Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet, Zavod za hidrotehniku, skripta)



Slika 19. Primjena mulja kod izgradnje prometnica

(Izvor: Vouk D., Malus D., Nakić D. Zbrinjavanje mulja s uređaja za pročišćavanje otpadnih voda, Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet, Zavod za hidrotehniku, skripta)



Slika 20. Mulj kao poboljšivač tla

(Izvor: Vouk D., Malus D., Nakić D. Zbrinjavanje mulja s uređaja za pročišćavanje otpadnih voda, Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet, Zavod za hidrotehniku, skripta)

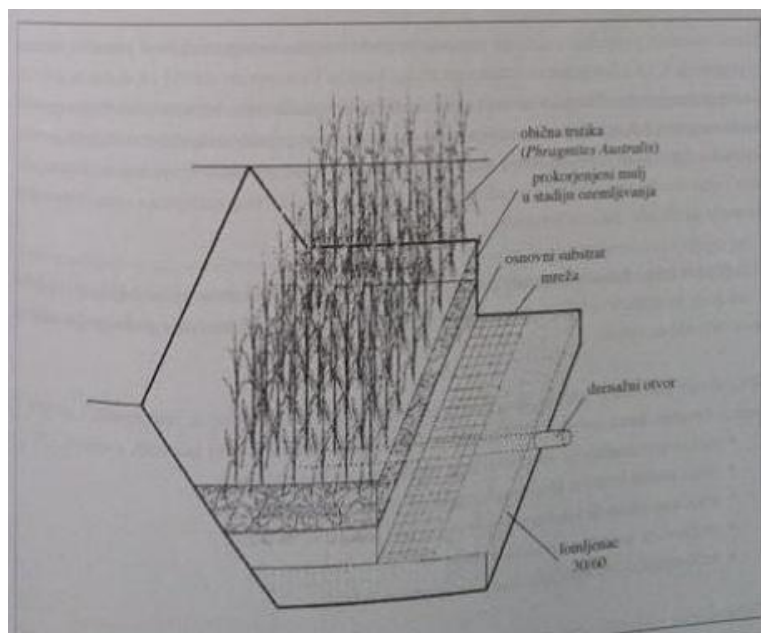
7.5. Privremeno skladištenje i obrada

Kad zbrinjavanje mulja nije moguće realizirati prethodno opisanim postupcima, poseže se za novom tehnologijom koja koristi polja s trstikom. Takav postupak omogućava zbrinjavanje mulja u trajanju od pet i više godina ovisno o projektiranom kapacitetu. [1]

Ozemljivanje mulja

Ozemljivanje mulja je postupak trajnog ili konačnog zbrinjavanja na biljnim poljima uz proizvodnju humusa. Sam postupak obuhvaća parcelu s trskom koja se sastoji se od zemljanog bazena s izolacijom od PE – folije. Na dnu bazena izveden je drenažni sustav, dok gornji sloj čini podloga i procijeđeni mulj u koji se ukorjenjuje bilje. Trajanje samog takvog postupka predviđeno je od 6 – 10 godina, a mulj je spreman da se koristi kao zamjenski materijal.

Polja s trstikom ne zahtijevaju visoke financijske troškove rada i održavanja, vrlo su pogodna za održavanje, lako se postavljaju uz sigurnosne mjere, smještene su uz uređaje za pročišćavanje otpadnih voda. [1]



Slika 21. Shematski prikaz postupka ozemljivanja

(Izvor: Tušar B. (2009), Pročišćavanje otpadnih voda, Zagreb, Kigen d.o.o)

8. PROBLEMI ZBRINJAVANJA MULJA U HRVATSKOJ

U Hrvatskoj najveći problem predstavljaju velike količine mulja koje se izdvajaju tijekom postupka obrade vode na uređajima za pročišćavanje otpadnih voda. Koliko se točno mulja proizvede tijekom dana pa i cijele godine na uređaju za pročišćavanje, nije sasvim poznato. Brojni gradovi i općine ne žele priznati ozbiljnost problema pa još uvijek izbjegavaju pronaći adekvatna rješenja kojima bi se riješio slučaj zbrinjavanja mulja. Takva situacija ugrožava okoliš i zdravlje ljude. [4]

Hrvatska iskustva pokazuju da se već kod projekata uređaja za pročišćavanje zanemaruje problem postupanja s muljem, dok s druge strane projektanti mulj predstavljaju kao sekundarni problem. Usprkos izloženosti riziku oni taj problem stavljaju u ruke investitora uređaja za pročišćavanje. Nedostatak u samom uređaju za pročišćavanje predstavlja sustav miješane odvodnje kojim se kućanske, industrijske, onečišćene vode s prometnica i oborinske vode ispuštaju zajedno te kao takve dolaze na uređaj za pročišćavanje. [18]

Da bi se zaštitio okoliš i vode, gradi se sve više uređaja za pročišćavanje otpadnih voda. Hrvatska se ulaskom u Europsku uniju obvezala da će do 2018. godine izgraditi sve uređaje za pročišćavanje otpadnih voda kapaciteta većeg od 10.000 ES. U konačnici je rezultirano da će do 2018. godine pustiti u pogon uređaje za pročišćavanje ukupnog opterećenja oko 4.000.000 ES. [7]

Ulaskom u Europsku uniju 2013. godine Hrvatska je preuzela zakonske propise vezane uz gospodarenje muljem. Tim propisima zabranjuje se odlaganje neobrađenog mulja. Međutim, u Hrvatskoj se mulj još uvijek najvećim dijelom odlaže na odlagališta krutog otpada na nedopuštene i neodgovarajuće načine. Odlaganje mulja u Hrvatskoj početkom 2017. godine neće biti dopušteno prema Pravilniku o načinima i uvjetima odlaganja otpada, kategorijama i uvjetima rada za odlagališta otpada (NN 114/15) pa će time problem mulja postajati sve veći. [7]

Razmatrajući prilike u Republici Hrvatskoj vrlo opširna analiza i studija (WYG International, 2013.) predlaže izgradnju 4 do 5 monospalionica mulja u Zagrebu, Osijeku, Rijeci i Splitu, a možda i u Varaždinu. Nije predloženo konačno zbrinjavanje šljake i lebdećeg pepela iz spalionica. [15]

Prema zakonskoj regulativi (Uredba o kategorijama, vrstama i klasifikaciji otpada s katalogom otpada i listom opasnog otpada) u Hrvatskoj se mulj svrstava u skupinu opasnog otpada koji je potrebno na odgovarajući način zbrinuti. Ukoliko se već pri izgradnji uređaja za pročišćavanje otpadnih voda ne riješi pitanje vezano za odlaganje mulja, smatra se da njegova izgradnja nije završena i ne uključuje propisne mjere potrebne za zaštitu okoliša. [4]

Na uređajima za pročišćavanje otpadnih voda koji su do sada izgrađeni u Hrvatskoj, mulj se zbrinjava na način da se odlaže na odlagališta krutog otpada, dok se mali dio koristi u poljoprivredne svrhe. [4]

Glede na to da smo na početku 2017. godine i nagli porast dinamike izgradnje uređaja za pročišćavanje, u Hrvatskoj problem konačnog odlaganja mulja dobiva na

težini zbog toga što se trebaju financirati i izgraditi tehnologije koje će na drugi način riješiti obradu mulja i njegovo konačno zbrinjavanje.

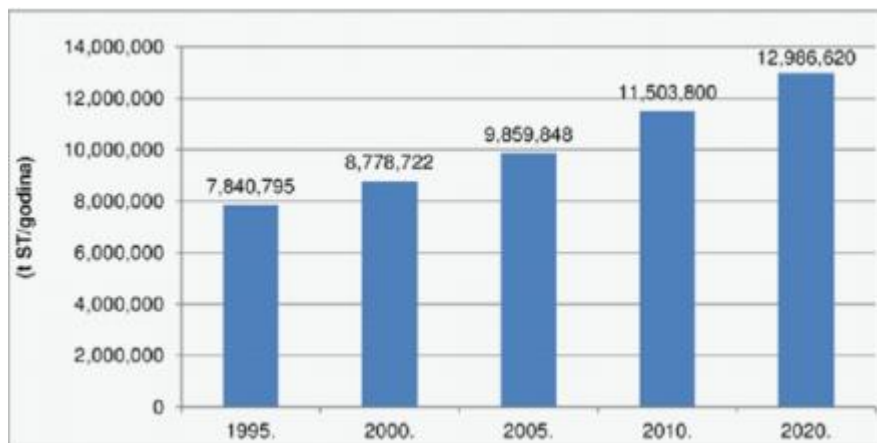


Slika 22. Životni ciklus otpadne vode i mulja u Hrvatskoj nakon 2018. godine

(Izvor: Vouk D., Malus D., Nakić D. Zbrinjavanje mulja s uređaja za pročišćavanje otpadnih voda, Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet, Zavod za hidrotehniku, skripta)

9. PROBLEMI ZBRINJAVANJA MULJA U SVIJETU

Pročišćavanje otpadnih voda i zbrinjavanje mulja aktualan je problem u svijetu posljednjih 20-30 godina. U prosjeku se na svjetskoj razini proizvede 35 do 85 g ST/ES na dan. Provode se brojna istraživanja mogućih postupaka gospodarenja muljem kao vrijednim resursom. Osim toga, istražuju se i nove tehnike pročišćavanja otpadnih voda koje generiraju ostatke kojima se može učinkovito gospodariti. Europska unija i SAD nalažu da se pri određivanju postupaka konačne dispozicije mulja uzmu u obzir rješenja održivog pristupa što uključuje primjerenu tehnologiju odlaganja mulja te ponovna upotreba mulja na mjestima gdje je to moguće.



Slika 23. Godišnja proizvodnja mulja s UPOV-a u 27 zemalja

(Izvor: Vouk D., Nakić D., Štirmer N., Serdar M. (2015), Korištenje mulja s uređaja za pročišćavanje otpadnih voda u betonskoj industriji, Zagreb, ITG d.o.o.)

10. PRAKSA ZBRINJAVANJA MULJA U HRVATSKOJ

U Hrvatskoj su, prema dokumentaciji Hrvatskih voda, evidentirana 245 sustava javne odvodnje, od kojih je 118 na vodnom području rijeke Dunav i 127 na jadranskom vodnom području. Na njih je priključeno 46% ukupnog stanovništva. Pročišćavanjem otpadnih voda obuhvaćeno je 35% stanovništva koji su priključeni na 110 aktivnih komunalnih uređaja za pročišćavanje otpadnih voda različitog stupnja pročišćavanja. Na vodovodnom području rijeke Dunav prevladavaju uređaji za pročišćavanje otpadnih voda s 2. stupnjem pročišćavanja, a na jadranskom vodnom području s prethodnim stupnjem pročišćavanja s podmorskim ispustima. Danas je u Hrvatskoj 110 UPOV-a na kojima je priključeno 35% stanovništva Hrvatske. Na UPOV-e na kojima se proizvodi mulj s 1., 2., 3. stupnjem pročišćavanja, danas je priključeno 26 % stanovništva Hrvatske. O toga je 2, 7 % priključeno na 1. stupanj, 20, 6% na 2. stupanj i 2, 9% na 3. stupanj. Ukupno opterećenje na izgrađene UPOV-e u Hrvatskoj danas iznosi oko 2.000.000 ES, s trenutnom proizvodnjom oko 40.000 tona suhe tvari mulja godišnje, a gotovo polovina tog opterećenja odnosi se na UPOV Zagreb. [16]

Za obradu mulja na postojećim UPOV-ima u Hrvatskoj koriste se tri osnovna postupka obrade mulja: zgušnjavanje, stabilizacija i dehidracija. Zgušnjavanje mulja provodi se mehanički u gravitacijskim zgušnjivačima. Stabilizacija mulja provodi se aerobno i anaerobno. Kod anaerobne stabilizacije na pojedinim UPOV-ima se iskorištava metan

za proizvodnju električne energije koja se koristi za vlastite potrebe UPOV-a (npr. Zagreb), a na pojedinim UPOV-ima se dobiveni plin ne iskorištava već se spaljuje na samom UPOV-u. Dehidracija mulja se gotovo na svim UPOV-ima provodi mehanički (centrifugama i trakastim filter prešama). Na jednom UPOV-u (Koprivnica) koristi se postupak solidifikacije mulja uz dobivanje osušenog mulja s oko 90 % suhe tvari. Sušenje mulja (strojno i solarno), spaljivanje mulja u monospalionicama, piroliza i plinifikacija do danas nisu primijenjeni u Hrvatskoj. Zanimljivo male količine mulja spaljivane su u cementarama. Male količine mulja u Hrvatskoj se kompostiraju, a do danas nije pušteno u pogon niti jedno polje za ozemljivanje mulja, iako je projektiranje i izgradnja u tijeku (npr. Čakovec).

Do danas je zbrinjavanje mulja u Hrvatskoj individualno, tj. isporučitelji vodnih usluga na svakom UPOV-u zbrinjavaju mulj prema vlastitim potrebama i mogućnostima u skladu s zakonom. [16]

Na UPOV-ima koji su do 2017. izgrađeni u Hrvatskoj mulj se odlagao na odlagalištima krutog otpada, velike količine se privremeno odlažu uz same UPOV-e. Vrlo mali dio se koristi u poljoprivredi, a za ostali dio se ne može sa sigurnošću utvrditi gdje i kako završava. Zbrinjavanje mulja na tlo na nepoljoprivredne površine do danas se ne provodi u Hrvatskoj. [16]

11. PRAKSA ZBRINJAVANJA MULJA U SVIJETU

Dosadašnja praksa pokazala je da se u 32 europske zemlje godišnje proizvede oko 13 milijuna tona suhe tvari mulja, što stvara veliki pritisak na okoliš. Svaka zemlja ima svoj pristup načinu zbrinjavanja mulja jer zapravo ne postoje jedinstvene smjernice i strategije koje bi u konačnici riješile problem mulja.

Korištenje mulja u poljoprivredi izrazito je izraženo u Portugalu, Irskoj, Velikoj Britaniji, Luksemburgu, Danskoj i Bugarskoj. S druge strane, zbrinjavanje mulja na tlo na nepoljoprivredne površine, rašireno je u Estoniji, Slovačkoj, Češkoj, Finskoj, Mađarskoj i Litvi. Zakonske regulative kod zbrinjavanja mulja u poljoprivredi različite su u pojedinim zemljama. U Švedskoj se mulj u poljoprivredi može upotrebljavati samo 4 mjeseca tijekom cijele godine (3 mjeseca u jesen i 1 mjesec u proljeće), dok u drugim

zemljama upotreba mulja nije vremenski ograničena. Švicarska je 2008. godine zabranila direktno korištenje mulja u poljoprivredi. [16]

U Nizozemskoj, Švicarskoj, Belgiji, Njemačkoj, Austriji i Sloveniji spaljivanje mulja prvobitan je način njegova zbrinjavanja. [16]

Odlaganje mulja u Malti predstavlja jedini način zbrinjavanja unatoč negativnim čimbenicima, te je još uvijek zastupljeno u Grčkoj, Rumunjskoj i Italiji. [16]

Godišnje se u Kaliforniji proizvede oko 680.000 tona suhe tvari mulja. U poljoprivredi se koristi 70 %, za dnevni pokrov odlagališta otpada 12%, 6% se odlaže na odlagalište za mulj, 5 % se spaljuje, dok se ostatak privremeno skladišti na UPOV-e i odlaže na teren. [16]

U Kini se 2015. godine proizvodnja mulja udvostručila u odnosu na 2007. te se povećao broj uređaja za pročišćavanje otpadnih voda za 60 %. [16]

Posljednjih godina poraslo je zanimanje za korištenje fosfora. Velik dio fosfora nalazi se u aktivnom mulju iz UPOV-a, posebno kod postupaka smanjivanja soli, odnosno primjene III. stupnja pročišćavanja. Procjeđeni mulj sadrži oko 10 g/kg fosfora i 64 g/kg mulja. Fosfor je jedan od bitnih elemenata za rast biljaka. Europska komisija je 2014. godine fosfor svrstala među 20 kritičnih sirovina. Izvori fosfora su nezamjenjivi i neobnovljivi pa se procjenjuje da bi se zalihe fosfora tijekom sljedećih 50-115 godina mogle iskoristiti. [16]

12. USPOREDBA ZBRINJAVANJA MULJA U HRVATSKOJ I NJEMAČKOJ

Prema podacima iz tablice broj 3 može se zaključiti kako u Njemačkoj prevladava moderan i napredan sustav zbrinjavanja mulja koji odgovara suvremenim znanstvenim spoznajama, dok je u Hrvatskoj sustav zastario i opterećen raznim problemima.

U Njemačkoj mulj se više zbrinjava na način da se koristi u poljoprivredi (42%) te za toplinsku obradu (55%), što je daleko naprednije od Hrvatske gdje se mulj najvećim dijelom odlaže na odlagališta (10%), skladišti (90 %), a malim dijelom upotrebljava u poljoprivredi (1%), što svakako nije u skladu s održivim razvojem. [18]

Tablica 3. Usporedba gospodarenja muljem u Hrvatskoj i Njemačkoj (2011)

	Hrvatska (2011)	Njemačka (2011)
Korištenje u poljoprivredi	1, 1 %	42 %
Ostalo materijalno korištenje	-	3 %
Toplinska/termička obrada	-	55 %
Odlaganje	Oko 10 %	-
Odvoz do drugih uređaja za pročišćavanje otpadnih voda	? (nema službenih podataka)	-
Skladištenje	Oko 90 %	-

(Izvor: <http://www.zastitaokolisa.dashofer.hr/>)

Tablica 4. Gospodarenje muljem u Njemačkoj

	1998.	2011.
1. Korištenje u poljoprivredi	31,9 %	29 %
2. Strukturalne poljoprivredne mjere	25,6	13 %
3. Ostalo materijalno iskorištavanje	3, 2 %	3 %
4. Toplinsko/termičko zbrinjavanje	16,1 %	55 %
5. Zbrinjavanje na odlagalištu	8, 3 %	0 %
6. Odvoz na druge uređaje	10, 3 %	0 %

za pročišćavanje otpadnih voda		
7. Skladištenje	4, 6 %	0 %
UKUPNO	100 %	100 %
A - materijalno iskorištavanje (1+2+3)	60, 7 %	45 %
B - toplinsko zbrinjavanje/korištenje (4)	16, 1 %	55 %
C – odlaganje i ostalo (5+6+7)	23, 2 %	0 %

(Izvor: <http://www.zastitaokolisa.dashofer.hr/>)

Prema podacima iz tablice jasno se vidi razlika iskorištavanja mulja u Njemačkoj između 1998 – 2011. godine. Smanjilo se iskorištavanje mulja u poljoprivredne svrhe. Odlaganje i skladištenje mulja, kao i odvozna druge uređaje za pročišćavanje više se ne prakticira.

13. POLITIKA ZBRINJAVANJA MULJA

Radi očuvanja okoliša i njezinih sastavnica doneseni su zakoni od strane nadležnih osoba kojih se potrebno držati prije nego što se donese odluka o odgovarajućem načinu obrade i zbrinjavanja mulja. Potrebno je uzeti u obzir svu dokumentaciju kako bi postupak zbrinjavanja i obrade bio što efikasniji u ekološkom i ekonomskom smislu sukladno s održivim razvojem. [5]

13.1. Sustav nadležnosti

Pravni i regulatorni prostor koji je određen sustavom za postupanje muljem iz uređaja za pročišćavanje komunalnih otpadnih voda dijeli se na tri sektora:

-sektor nadležan za zaštitu okoliša odnosno sektor nadležan za gospodarenje otpadom

-sektor nadležan za gospodarenje odnosno upravljanje vodama
-sektor nadležan za poljoprivredu, odnosno sektor nadležan za upravljanje poljoprivrednim zemljištem. [5]

Mulj, koji nastaje kao produkt pročišćavanja komunalnih otpadnih voda, potrebno je zbrinuti na način da kvaliteta rješenja, efikasnost i održivost samog sustava zbrinjavanja direktno ovise o usklađenosti, ekonomskoj provedivosti i ekološkoj prihvatljivosti propisa koje donose navedeni sektori. [5]

Važno je napomenuti da se pri obavljanju djelatnosti javne odvodnje uključuju i procesi obrade mulja pa je samim time odgovornost pravilnog zbrinjavanja mulja delegirana na jedinice lokalne samouprave i njihova komunalna društva. Samim time primjenjuje se načelo da je onečišćivač dužan otkloniti onečišćenja koja je sam prouzrokovao.

13.2. Propisi

Zbrinjavanje mulja određeno je s 3 zakona, a detaljnije razrađeni aspekti gospodarenja muljem sadržani su u 7 podzakonskih akata. Vezano uz probleme zbrinjavanja mulja s komunalnih uređaja za pročišćavanje otpadnih voda, prisutni su i propisi Zakona o poljoprivredi, posebno u dijelu koji govori o upravljanju i zaštiti poljoprivrednog tla. [5]

Tablica 5. Pregled popisa koji određuju politiku gospodarenja muljem

ZAKONI	PODZAKONSKI AKTI	STRATEGIJE	PLANOVI
Zakon o zaštiti okoliša (NN 80/13, 78/15)	Pravilnik o gospodarenju muljem iz uređaja za pročišćavanje otpadnih voda kada se mulj koristi u poljoprivredi (NN 38/08)	Strategija gospodarenja otpadom Republike Hrvatske (NN 130/05)	Plan gospodarenja otpadom u Republici Hrvatskoj za razdoblje 2007. - 2015. godina (NN 85/07, 126/10, 31/11)
Zakon o održivom gospodarenju otpadom (NN 94/13)	Pravilnik o gospodarenju otpadom (NN 23/14, 51/14, 121/15)		Planovi gospodarenja otpadom koje trebaju donijeti općine, gradovi, županije
	Pravilnik o katalogu otpada (NN 90/15)		
	Pravilnik o termičkoj obradi otpada (NN 75/16)		
Zakon o vodama (NN 153/09, 63/11, 130/11, 56/13, 14/14)	Pravilnik o posebnim uvjetima za obavljanje djelatnosti javne odvodnje (NN 28/11, 16/14)	Strategija upravljanja vodama (NN 91/08)	Plan provedbe vodno-komunalnih direktiva (2010. - 2023.)
	Pravilnik o graničnim vrijednostima emisija		

	otpadnih voda (NN 80/13, 3/16)		
Zakon o poljoprivredi (NN 30/15)	Pravilnik o zaštiti poljoprivrednog zemljišta od onečišćenja (NN 9/14)		Akcijski program zaštite voda od onečišćenja uzrokovanog nitratima poljoprivrednog podrijetla (NN 15/13, 22/15)
	Pravilnik o sadržaju akcijskog programa zaštite vode od onečišćenja uzrokovanog nitratima poljoprivrednog podrijetla (NN 7/13)		
Zakon o zaštiti zraka (NN 130/11, 47/14)	Uredba o razinama onečišćujućih tvari u zraku (NN 117/12)		

(Izvor: Tušar B. (2009), Pročišćavanje otpadnih voda, Zagreb, Kigen d.o.o)

Politika gospodarenja muljem nije razmatrana kao zasebna tema, nego kao ukupna politika zbrinjavanja otpada. Podijeljenost u nadležnostima rezultiralo je nedorečenost propisa i dokumenata koji su doneseni od strane različitih država i lokalnih upravnih tijela. Time je došlo do problema u provedbi propisa u praksi i mogućnosti usporavanja i zaustavljanja realizacije projekata, te kašnjenja realizacije provedbenih planova.

14. USKLADIVANJE HRVATSKE SA EUROPSKOM ZAKONSKOM REGULATIVOM

Politika zaštite okoliša Europske unije temelji se na odredbama i načelima osiguranima u Ugovoru o EZ-u, odnosno propisima donesenim u skladu s tim na području okoliša koji uključuju uredbe, direktive i odluke.

Kada se govori o propisima koji se odnose na otpadni mulj iz uređaja za pročišćavanje otpadnih voda, tada mislimo na Direktivu Vijeća 86/278/EEZ od 12. lipnja 1986. godine o zaštiti okoliša, posebno tla, kada se kanalizacijski mulj koristi u poljoprivredi. Nacionalnim propisom Republika Hrvatska je preuzela zahtjeve akata EU.

Direktiva 86/278/EEZ daje mogućnost svim državama koje su članice EU da unesu i strože odredbe od onih navedenih u Direktivi, uz napomenu da se za svaku poduzetu odluku obavijesti EU. [4]

Direktiva o obradi komunalnih otpadnih voda (91/271/EEZ, 98/15/EEZ), u odnosu na mulj, zahtijeva kontrolu ispuštanja i ponovno korištenje kanalizacijskog mulja.

Pravilnik o graničnim vrijednostima emisija otpadnih voda (NN 80/13, 43/14, 27/15, 3/16), donesen temeljem Zakona o vodama (NN 153/09, 63/11, 130/11, 56/13, 14/14), s danom stupanja na snagu 1. siječnja 2011. godine, člankom 9. kaže: "*Otpadni mulj nastao u procesu pročišćavanja otpadnih voda odlaže se i/ili koristi sukladno posebnim propisima o zaštiti okoliša*".

U Zakonu o vodama (NN 153/09, 63/11, 130/11, 56/13, 14/14) navodi se: "Mulj nastao u postupku pročišćavanja otpadnih voda može se koristiti u skladu s posebnim propisima". "Odlaganje mulja iz stavka 1 ovog članka u vode je zabranjeno".

Strategijom o upravljanju vodama (NN 91/08) navedeno je: "*Posebna pažnja će se posvetiti zbrinjavanju mulja u multidisciplinarnom planiranju odlagališta mulja s uređaja za pročišćavanje otpadnih voda*".

Prema Pravilniku o načinima i uvjetima odlaganja otpada, kategorijama i uvjetima rada za odlagališta otpada (NN 114/15) odlaganje mulja početkom 2017. neće biti dopušteno. U Pravilniku se također navodi da je zabranjeno odlaganje komunalnog otpada ukoliko mu je masa biorazgradive komponente veća od 35% ukupne mase. Biološki stabilizirani mulj sadrži uvijek više od 3 % biorazgradive tvari. Također se navodi da je kao kriterij za odlaganje otpada na odlagalište neopasnog otpada kao granična vrijednost za ukupni organski ugljik 5% od mase suhe tvari. Stabilizirani mulj ima više od 5% organskog ugljika.

Strategijom gospodarenja otpadom Republike Hrvatske (NN 130/05) navedeno je kako se muljem upravlja prema EU praksi. U načelu, moguće je korištenje u poljoprivredi kao i termička obrada.

U Planu gospodarenja otpadom u Republici Hrvatskoj za razdoblje 2007. – 2015. (NN 85/07), u točki 5.4., Posebne kategorije otpada, navodi se: „Mulj nastao pročišćavanjem komunalnih otpadnih voda mogao bi se tretirati sastavnicom komunalnog otpada, no gospodarenje muljem je u nadležnosti pravnih osoba koje upravljaju uređajima za obradu otpadnih voda, a ne tijelima za gospodarenje otpadom“.

Za slučaj termičke oksidacije mulja nema posebnih propisa. Primjenjuju se propisi koji se koriste kod spaljivanja krutog otpada, odnosno propisa donesenih temeljom Uredbe o razinama onečišćujućih tvari u zraku (NN 117/12) i Zakona o zaštiti zraka (NN 130/11, 47/14) [7]

14.1. Nacionalni propisi RH kojim se preuzimaju zahtjevi akta EU

Zakon o održivom gospodarenju otpadom (NN 94/13)

Pravilnik o gospodarenju muljem iz uređaja za pročišćavanje otpadnih voda kada se mulj koristi u poljoprivredi (NN 38/08)

Godine 2008. Ministarstvo zaštite okoliša, prostornog uređenja i graditeljstva u skladu sa Zakonom o otpadu donijelo je Pravilnik o gospodarenju muljem iz uređaja za pročišćavanje otpadnih voda kada se mulj koristi u poljoprivredi (NN 38/08) koji u potpunosti prenosi odredbe Direktive 86/278/EEZ koja se primjenjuje u svim zemljama Europske unije. Cilj ovog Pravilnika je određivanje mjera zaštite okoliša kojima bi se spriječile štetne posljedice za tlo, biljke, životinja i čovjeka.

Dopušteni sadržaj teških metala u suhoj tvari mulja koji je propisan hrvatskim pravilnikom znatno je niži od graničnih vrijednosti dopuštenih Direktivom. [21]

U skladu sa Zakonom o poljoprivrednom zemljištu donesen je Pravilnik o zaštiti poljoprivrednog zemljišta od onečišćenja (NN 9/14):

Članak 1.

Pravilnikom se utvrđuju tvari koje se smatraju onečišćivačima poljoprivrednog zemljišta, njihove najviše dopuštene količine u tlu, mjere za sprječavanje onečišćenja zemljišta i kontrola onečišćenja zemljišta, s ciljem da se zemljište zaštiti od onečišćenja i degradacije i održi u stanju koje ga čini povoljnim staništem za proizvodnju zdravstveno ispravne hrane, radi zaštite zdravlja ljudi, životinjskog i biljnog svijeta, nesmetanog korištenja, zaštite prirode i okoliša. [20]

Članak 2.

Zaštita zemljišta od onečišćenja provodi se zabranom, sprječavanjem i ograničavanjem unošenja onečišćujućih tvari u zemljište kao i poduzimanjem drugih mjera za njegovo očuvanje. [20]

Onečišćujuće tvari su teški metali (Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb i Zn) i potencijalno toksični esencijalni elementi (Zn i Cu), organske onečišćujuće tvari (pesticidi, industrijske kemikalije, nusproizvodi izgaranja i industrijskih procesa), radionuklidi i patogeni organizmi. Onečišćujućim tvarima smatraju se i tvari koje se uobičajeno unose u zemljište, ali neadekvatnom primjenom (količine, vrijeme primjene, uvjeti u zemljištu i drugo) mogu prouzročiti štete po okoliš i/ili zdravlje ljudi. [20]

Izvori onečišćenja su: industrijska proizvodnja i usluge, industrijski otpad, gradski otpad, naftna industrija, rudarstvo, elektrane, skladišta, vojna aktivnost, promet, transportni izljevi, poljoprivredna djelatnost, incidentne situacije i ostalo. [20]

15. MATERIJALI I METODE

Provedena su ispitivanja različitih uzoraka mulja u Laboratoriju za ekologiju tvrtke Bioinstitut d.o.o Čakovec u skladu s važećim zakonskim propisima i zahtjevima naručitelja. Ispitivanja su bazirana na analizama svježeg, dehidriranog mulja i mulja iz

pročistača iz kojeg je kasnije proizveden kompost. Naručitelji analiza su Varkom d.d. i tvornica Ytres d.o.o.

15.1. Analize ispitivanja

Analiza mulja iz Motičnjaka

Prva analiza obuhvaća mulj iz Motičnjaka-uređaj za biološko pročišćavanje otpadnih voda, čije uzorci su ispitani u laboratoriju Bioinstituta d.o.o. Čakovec. Količina koja je uzeta za potrebe ispitivanja iznosila je 1 kg. Analiza obuhvaća ispitivanje fizikalno-kemijskih parametra prema zahtjevima norma i zakonskih propisa. Naručitelj analize je Varkom d.d. Analiza je započela datuma 04. 04. 2016, a završena je 29. 04. 2016.

Tablica 6. Rezultati analize ispitanog mulja iz Motičnjaka

1	Fizikalno-kemijski parametri	Jedinica	Oznaka metode	O/695/16	MDK***
1.1	pH vrijednost	pH	SOP – KO – 38a/24	7,77	
1.2	Suha tvar	% suhe tvari	HRN EN 14346:2007*, KO – 38/90a	14,61	
1.3	Ukupni organski ugljik (TOC)	% suhe tvari	HRN ISO 13137:2005*, HRN ISO ISO 10694:2004*	45,40	
1.4	Ukupni fosfor	% suhe tvari	SOP-KO-38c/6c**	0,06	
1.5	Ukupni dušik	mg/kg suhe tvari	HRN ISO 11261:2004*	4,68	
1.6	2,4,4' – triklorbifenil (PCB 28)	mg/kg suhe tvari	HRN EN 15308:2008*	<0, 01	0, 2
1.7	2,2', 5,5' – tetraklorbifenil (PCB 52)	mg/kg suhe tvari	HRN EN 15308:2008*	<0, 01	0, 2
1.8	2,2',4,5,5' pentaklorbifenil (PCB 101)	mg/kg suhe tvari	HRN EN 15308:2008*	<0, 01	0, 2

1.9	2,2',3,4,5,5' – heksaklorbifenil (PCB 141)	mg/kg suhe tvari	HRN EN 15308:2008*	<0, 01	0, 2
1.10	2,2',3,4,4',5,5' – heptaklorbifenil (PCB 180)	mg/kg suhe tvari	HRN EN 15308:2008*	<0, 01	0, 2
2	Metali	Jedinica	Oznaka metode	O/695/16	MDK****
2.1	Bakar	mg/kg suhe tvari	SOP-KO-38a,b/6c	117, 39	600
2.2	Cink	mg/kg suhe tvari	SOP-KO-38a,b/6c	642, 03	2000
2.3	Kadmij	mg/kg suhe tvari	SOP-KO-38a,b/6c	<0, 05	5
2.4	Ukupni brom	mg/kg suhe tvari	SOP-KO-38a,b/6c	<0, 06	500
2.5	Nikal	mg/kg suhe tvari	SOP-KO-38a,b/6c	<0, 15	80
2.6	Olovo	mg/kg suhe tvari	SOP-KO-38a,b/6c	356, 61	500
2.7	Živa	mg/kg suhe tvari	SOP-KO-38a,b/6c**	2,74	5

Gledajući cjelokupne parametre u tablici može se zaključiti da ispitani mulj iz pročistača odgovara propisima Pravilnika o gospodarenju muljem iz uređaja za pročišćavanje otpadnih voda kada se mulj koristi u poljoprivredi prema 5. i 6. članku.

Ispitivanje je izvršeno prema zahtjevima norme HRN EN ISO/IEC 17025:2007. Maksimalno dozvoljene koncentracije mulja ne prelaze dopuštene granice prema zakonu.

Kategorizacija otpada je provedena u skladu sa Zakonom o održivom gospodarenju otpadom (NN 94/13) te Pravilnikom o katalogu otpada (NN 90/15).

Analiza komposta

Druga analiza odnosi se na ispitivanje komposta klase III koji je proizveden iz prethodno ispitanog mulja na pročistaču u Varaždinu. Ispitivanje je izvršeno u laboratoriju Bioinstituta d.o.o u Čakovcu. Količina uzorka potrebna za ispitivanje

iznosila je 1 kg. Ispitivanje uključuje fizikalno-kemijske i mikrobiološke parametre, utjecaj metala i sadržaj kljajabilnih sjemenki biljaka plastike, metala, stakla i mineralnih čestica. Naručitelj analize je Varkom d.d. Analiza je započela 20.06.2016 i završila je 22.07. 2016

Tablica 7. Rezultati analize ispitanog komposta klase III

1.	Fizikalno - kemijski parametri	Jedinica	Oznaka metode	O/1368/16	MDK***
1.1	pH trenutna vrijednost (H ₂ O)	pH	SOP – KO – 38a/24	6, 93	
1.2	pH izmjenjiva vrijednost (KCl)	pH	SOP – KO – 38a/24	7,42	
1.3	Određivanje humusa	%	KO- 39/09b	36,160	
1.4	Gubitak žarenjem	%	HRN EN 15169:2008*, HRN EN 15935:2013*	44,40	
1.5	Suha tvar	mg/kg suhe tvari	HRN EN 14346:2007*, KO – 38/90a	12,47	
1.6	SUMA PAH – ova (policikličkih aromatskih ugljikovodika)	mg/kg suhe tvari	HRN EN 15527:2008*	4,226	6
1.7	Naftalen	mg/kg suhe tvari	HRN EN 15527:2008*	0,192	
1.8	Acenaftalen	mg/kg suhe tvari	HRN EN 15527:2008*	0,008	
1.9	Fluoren	mg/kg suhe tvari	HRN EN 15527:2008*	0,016	
1.10	Fenantren	mg/kg suhe tvari	HRN EN 15527:2008*	0,152	
1.11	Antracen	mg/kg suhe tvari	HRN EN 15527:2008*	0,160	
1.12	Fluoranten	mg/kg suhe tvari	HRN EN 15527:2008*	0,249	
1.13	Benzo (a) antracen	mg/kg	HRN EN	0,096	

		suhe tvari	15527:2008*		
1.14	Benzo (a) piren	mg/kg suhe tvari	HRN EN 15527:2008*	0,265	
1.15	Benzo (b) fluoranten	mg/kg suhe tvari	HRN EN 15527:2008*	0,176	
1.16	Benzo (k) fluoranten	mg/kg suhe tvari	HRN EN 15527:2008*	0,249	
1.17	Benzo (g, h,i) perilen	mg/kg suhe tvari	HRN EN 15527:2008*	0,756	
1.18	Krizen	mg/kg suhe tvari	HRN EN 15527:2008*	0,168	
1.19	Dibenzo (a, h) antracen	mg/kg suhe tvari	HRN EN 15527:2008*	< 0,006	
1.20	Indeno (1, 2, 3 – c, d) piren	mg/kg suhe tvari	HRN EN 15527:2008*	0,513	
1.21	Piren	mg/kg suhe tvari	HRN EN 15527:2008*	0,233	
1.22	Ukupni PCB – polikloriranibifenilii	mg/kg suhe tvari	HRN EN 15308:2008*	0,60	1

2	Metali	Jedinica	Oznaka metode	O/1368/16	MDK****
2.1	Bakar	mg/kg suhe tvari	HRN EN 13657:2008**	59,17	Klasa I (70) Klasa II (150) Klasa III (500)
2.2	Cink	mg/kg suhe tvari	HRN EN 13657:2008**	338,71	Klasa I (200) Klasa II (500) Klasa III (1800)
2.3	Kadmij	mg/kg suhe tvari	HRN EN 13657:2008**	2,00	Klasa I (0,7) Klasa II (1) Klasa III (3)
2.4	Ukupni brom	mg/kg suhe tvari	HRN EN 13657:2008**	43,92	Klasa I (70) Klasa II (150) Klasa III

					(200)
2.5	Nikal	mg/kg suhe tvari	HRN EN 13657:2008**	10,98	Klasa I (25) Klasa II (60) Klasa III (100)
2.6	Olovo	mg/kg suhe tvari	HRN EN 13657:2008**	21,39	Klasa I (45) Klasa II (120) Klasa III (200)
2.7	Živa	mg/kg suhe tvari	HRN EN 13657:2008**	0,17	Klasa I (0,4) Klasa II (0,7) Klasa III (3)
3	Mikrobiološki parametri	Jedinica	Oznaka metode	O/1368/16	MDK****
3.1	Salmonella vrste	25 g suhe tvari	HRN EN ISO 6785:2008	Nisu izolirane 0/25 g	0/25 g suhe tvari
3.2	Escherichiacoli	broj kolonija/25 g suhe tvari	HRN EN ISO 16649- 2:2001	300	1000/25 g suhe tvari
4	Sadržaj kljabilnih sjemenki biljaka plastike, metala, stakla i mineralnih čestica			O/1368/16	MDK****
4.1	Kljabilne sjemenke	broj/L komposta	****	0, 00	2
4.2	Makroskopske primjese plastike, metala i stakla	% suhe tvari	****	0, 1143	0,5
4.3	Mineralne čestice	% suhe tvari	****	0, 00	0,5

Prema ispitanim parametrima prikazanim u tablici uzorak komposta III odgovara dodatku 5 točka 1. Posebni kriteriji za ukidanje statusa otpada za kompost Pravilnika o nusproizvodima i ukidanju statusa otpada (NN 117/14) za kompost klase III.

Maksimalna dozvoljena koncentracija odgovara zakonskim propisima i ne prelazi dopuštene granice. Ispitivanje je izvršeno prema zahtjevima norma HRN EN ISO/IEC 17025:2007.

Analiza dehidriranog mulja

Treća analiza se odnosi na ispitivanje dehidriranog mulja koji je preuzet iz vreće u tvornici Ytres d.o.o Donji Kneginec. Ispitivanje je izvršeno u laboratoriju Bioinstituta d.o.o. Čakovec. Količina uzorka potrebna za ispitivanje iznosila je 1 kg. Analiza obuhvaća ispitivanje utjecaja metala i fizikalno-kemijske parametre. Početak analize je 25. 04. 2016, a završena je 13.05. 2016

Tablica 8. Rezultati analize nastali ispitivanjem dehidriranog mulja

1.	Metali	Jedinica	Oznaka metode	O/1006/16
1.1	Kadmij	mg/kg	HRN EN 13657:2008**	< 0, 05
1.2	Ukupni krom	mg/kg	HRN EN 13657:2008**	2168, 10
1.3	Nikal	mg/kg	HRN EN 13657:2008**	7, 41
1.4	Olovo	mg/kg	HRN EN 13657:2008**	< 0, 7
1.5	Vanadij	mg/kg	HRN EN 13657:2008**	1, 87
1.6	Živa	mg/kg	HRN EN 13657:2008**	< 0, 001
2	Fizikalno-kemijski parametri	Jedinica	Oznaka metode	O/1006/16
2.1	Udio vode	%	HRN EN 14346:2007*	2, 68
2.2	Pepeo	%	HRN EN 15169:2008*, HRN EN 15935:2013*	29, 16
2.3	Točka paljenja	° C	HRN EN ISO 2719:2003	> 300
2.4	Toplinska vrijednost	MJ/kg	DIN 51 900-1,2,3:2000	16, 081
2.5	Sumpor	%	HRN ISO 10304-1:2009*	1, 53
2.6	Udio halogenida	%	HRN ISO 10304-1:2009*	0, 38
2.7	UKUPNI PCB-i (polikloriranibifenili)	mg/kg	HRN EN 15308:2008*	< 0, 01

Prema ispitanim podacima u tablici, dehidrirani mulj namjenjen je termičkoj obradi. Fizikalno-kemijska ispitivanja izvršena su prema Pravilniku o termičkoj obradi otpada (NN 75/16).

Ispitivanje je izvršeno prema zahtjevima norme HRN EN ISO/IEC 17025:2007.

Kategorizacija otpada je provedena u skladu sa Zakonom o održivom gospodarenju otpadom (NN 94/13) te Pravilnikom o katalogu otpada (NN 90/15).

Analiza svježeg mulja

Četvrta analiza odnosi se na ispitivanje svježeg mulja iz kontejnera tvornice Ytres d.o.o. Ispitivanje je izvršeno u laboratoriju Bioinstituta d.o.o. Čakovec. Količina potrebna za ispitivanje uzorka iznosila je 1 kg. Analiza se temelji na ispitivanju fizikalno – kemijskih parametara i prisutnosti metala prema zakonskim normama. Ispitivanje je započeto 17.01.2016, a završeno 06.02.2016 pri čemu su nastali sljedeći rezultati prikazani u tablici.

Tablica 9. Rezultati analize ispitanog svježeg mulja

1	Metali (eluat)	Jedinica	Oznaka metode	O/83/14	MDK***
1.1	Arsen	mg/kg suhe tvari	HRN EN ISO 11885:2010**	< 0, 1	2
1.2	Antimon	mg/kg suhe tvari	HRN EN ISO 11885:2010**	< 0, 08	0.7
1.3	Barij	mg/kg suhe tvari	HRN EN ISO 11885:2010**	4, 500	100
1.4	Kadmij	mg/kg suhe tvari	HRN EN ISO 11885:2010**	< 0, 01	1
1.5	Ukupni brom	mg/kg suhe tvari	HRN EN ISO 11885:2010**	< 0, 01	10
1.6	Bakar	mg/kg suhe tvari	HRN EN ISO 11885:2010**	< 0, 05	50
1.7	Živa	mg/kg suhe tvari	HRN EN 1483:2008*	< 0, 0008	0.2
1.8	Molibden	mg/kg suhe tvari	HRN EN ISO 11885:2010**	<0, 04	10
1.9	Nikal	mg/kg suhe tvari	HRN EN ISO 11885:2010**	< 0, 05	10
1.10	Olovo	mg/kg suhe tvari	HRN EN ISO 11885:2010**	< 0, 05	10
1.11	Selen	mg/kg suhe tvari	HRN EN ISO 11885:2010**	0, 500	0.5
1.12	Cink	mg/kg suhe tvari	HRN EN ISO 11885:2010**	1, 900	50
2	Fizikalno-kemijski parametri	Jedinica	Oznaka metode	O/83/14	MDK***
2.1	Fluoridi	mg/kg suhe tvari	HRN EN ISO 10304-1:2009*	1, 40	150
2.2	Kloridi	mg/kg suhe tvari	HRN EN ISO 10304-1:2009*	391, 90	15000
2.3	Sulfati	mg/kg suhe tvari	HRN EN ISO 10304-1:2009*	97, 00	20000
2.4	Otopljeni organski ugljik (DOC)	mg/kg suhe tvari	HRN EN 1484:2002*	218, 30	800
2.5	Ukupne rastopljene tvari (TDS)	mg/kg suhe tvari	HRN EN 15216:2008	3140	60000
3	Fizikalno-kemijski	Jedinica	Oznaka metode	O/83/14	MDK***

	parametri				
3.1	Suha tvar	%	HRN EN 14346:2007*, KO- 38/90a	12, 32	

Prema ispitanim parametrima prikazanim u tablici zaključujemo da uzorak svježeg mulja tvrtke Ytress d.d zadovoljava uvjete za odlagalište neopasnog otpada prema Pravilniku o načinima i uvjetima odlaganja otpada, kategorijama i uvjetima rada za odlagalište otpada (NN 114/15). Maksimalno dozvoljene koncentracije sukladne su zakonskim propisima i ne prelaze dozvoljene koncentracije. Ispitivanje je izvršeno prema zahtjevima norme HRN EN ISO/IEC 17025:2007.

16. ZAKLJUČAK

Dosadašnja iskustva u Hrvatskoj i svijetu pokazala su da problem zbrinjavanja mulja nije u potpunosti riješen zbog nedostatka konkretnih smjernica i nedorečene zakonske regulative, zbog različitog tehničko – tehnološkog pristupa obrade i zbrinjavanja mulja te utjecaja prirodnih i društvenih čimbenika pojedinih država.

U radu su prikazani načini obrade i postupanja s muljem nastalog na UPOV-a koji nude različita rješenja njegovog konačnog zbrinjavanja. Najbolja rješenja uključuju ponovno korištenje mulja na mjestima gdje je to moguće. Iskorištavanje mulja u poljoprivredne svrhe smatra se ekonomski najjeftinijim i ekološki najprihvatljivijim načinom održivog zbrinjavanja. U slučaju da se mulj ne može koristiti u poljoprivredi zbog prisutnosti opasnih tvari, primjenjuje se metoda spaljivanja prema kojoj se obrađeni mulj u obliku pepela može primjenjivati kao materijal u građevinskoj proizvodnji. Odlaganje na deponije sve je manje zastupljeno, a u mnogim zemljama i zabranjeno, uključujući i R Hrvatsku od početka ove godine.

Svaki postupak zbrinjavanja mulja mora odgovarati zahtjevima EU sukladno sa načelima održivosti. Potrebna su velika financijska ulaganja kako bi se u konačnici realizirala očekivanja konačnog zbrinjavanja mulja.

Koristeći normu HRN EN ISO/IEC 17025:2007 koja utvrđuje opće zahtjeve za osposobljenost ispitnih i umjernih laboratorija analizirali smo mulj na području Varaždina. Na zahtjev naručitelja uzorci su preuzeti iz različitih područja. Vrijednosti ispitanih parametara zadovoljavaju uvjete propisane Pravilnicima (NN 38/08, NN 75/16) iz kojih se mulj može iskoristiti primjenom u poljoprivredi i termičkom obradom.

Osobno smatram da je korištenje mulja na poljoprivrednom tlu najučinkovitije rješenje zbrinjavanja mulja iz UPOV-a. Time ne nastaje nova tvar već se mulj vraća na početak svog nastanka čime se zatvara ciklus kruženja tvari u prirodi.

17. LITERATURA

- [1.] Tušar B. (2009), Pročišćavanje otpadnih voda, Zagreb, Kigen d.o.o
- [2.] Tušar B. (2004), Ispuštanje i pročišćavanje otpadne vode, Zagreb, CROATIANKNJIGA
- [3.] Frleta R. (2009), Solarno sušenje biološkog mulja iz naprava za pročišćavanje, Zagreb, Zbornik radova: Aktualna problematika u vodoopskrbi i odvodnji, Ekoproduct
- [4.] Čosić-Flajsig G., Mostovac M. (2010), Održivo gospodarenje muljem sa komunalnih uređaja za pročišćavanje otpadnih voda, Zbornik radova: Aktualna problematika u vodoopskrbi i odvodnji, Pula
- [5.] Tušar B. (2012), Ispuštanje otpadnih voda i zbrinjavanje muljeva s komunalnih uređaja za pročišćavanje, zbornik radova, Zagreb, DRUŠTVO GRAĐEVINSKIH INŽENJERA
- [6.] Europska agencija za okoliš (1999), "Opće preporuke za planiranje projekata zaštite voda", Zagreb, Vodoprivredno projektne biro d.d
- [7.] Vouk D., Nakić D., Štirmer N., Serdar M. (2015), Korištenje mulja s uređaja za pročišćavanje otpadnih voda u betonskoj industriji, Zagreb, ITG d.o.o.
- [8.] Vouk D., Malus D., Nakić D. Zbrinjavanje mulja s uređaja za pročišćavanje otpadnih voda, Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet, Zavod za hidrotehniku, skripta
- [9.] Vouk D., Serdar M., Nakić D., Anić-Vučinić A., "Korištenje mulja s UPOV-a u proizvodnji cementnog morta i betona", Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet, Građevinar
- [10.] Vouk D., Malus D., Tedeschi S., Muljevi s komunalnih uređaja za pročišćavanje otpadnih voda, Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet, Zagreb
- [11.] Vouk D., Malus D., Tedeschi S., Konačna obrada mulja otpadnih voda grada Zagreba, Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet, Zagreb
- [12.] Vouk D., Recikliranje komunalnog mulja u betonskoj industriji – od mikrostrukture do inovativnih građevnih proizvoda, Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet, Zavod za hidrotehniku
- [13.] Nekić-Dvorski D. (2011), "Ekološko zbrinjavanje aktivnog mulja prehrambene industrije", Zagreb, Agronomski glasnik

- [14.] Privremena rješenja za gospodarenje muljem
Zagreba, Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet, Zagreb
- [15.] Tedeschi S., Zbrinjavanje mulja otpadnih voda, Sveučilište u Zagrebu,
Građevinski fakultet, Zavod za hidrotehniku
- [16.] Vouk D., Malus D., Nakić D.(2016), Zbrinjavanje mulja s UPOV-a: Pregled
svjetske prakse i smjernice za učinkovitija rješenja u Hrvatskoj
- [17.] www.mzop.hr (8.12.2016)
- [18.] <http://www.zastitaokolisa.dashofer.hr/> (9.12.2016)
- [19.] http://www.voda.hr/sites/default/files/pdf_clanka/hv_94_2015_277-286_vouk-et-al.pdf (10.12.2016)
- [20.] http://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2014_01_9_167.html (11.1.2017)
- [21.] http://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2008_04_38_1307.html (11.1.2017)
- [22.] www.bor-plastika.hr/wp-content/uploads/2016/10/bp-info-5016.pdf(11.1.2017)
- [23.] http://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2016_08_75_1755.html (16.1.2017)

POPIS SLIKA

SLIKA 1. PRIHVAT MULJA ZA OBRADU NA UREĐAJU ZA PROČIŠĆAVANJE U ZAGREBU.....	13
SLIKA 2. TLAČNA CJEDILJKA	20
SLIKA 3. TRAKASTA CJEDILJKA	20
SLIKA 4. VAKUUMSKI FILTAR	21
SLIKA 5. CENTRIFUGA ZA MULJ	21
SLIKA 6. PEĆ S VIŠESTRUKIM LOŽIŠTEM	22
SLIKA 7. MULJ PRIJE SUŠENJA I SPALJIVANJA U LABORATORIJU GRAĐEVINSKOG FAKULTETA U ZAGREBU TE GRANULE DOBIVENOG PEPELA.....	23
SLIKA 8. SHEMA ZIMMERMANOVA POSTUPKA	24
SLIKA 9. SHEMA UREĐAJA ZA ZAJEDNIČKO KOMPOSTIRANJE ISTRULJENA MULJA I GRADSKOG OTPADA	25
SLIKA 10. ODLOŽENI GOTOVI KOMPOST	26
SLIKA 11. ZBRINJAVANJE MULJA	28
SLIKA 12. ODLAGANJE MULJA NA ODLAGALIŠTE	29
SLIKA 13. ODLAGALIŠTE MULJA NA PROČISTAČU U KARLOVCU	29
SLIKA 14. KORIŠTENJE MULJA U POLJOPRIVREDNE SVRHE.....	30
SLIKA 15. KORIŠTENJE MULJA U POLJOPRIVREDNE SVRHE KAO GNOJIVO.....	30
SLIKA 16. SPALJIVANJEM MULJA U SPALIONICAMA NASTAJE PEPEO KOJI SE KASNIJE PONOVRNO MOŽE UPOTRIJEBITI	33
SLIKA 17. PRIMJENA MULJA U GRAĐEVNOJ INDUSTRIJI.....	35
SLIKA 18. PRIMJENA MULJA U OPEKARSKOJ INDUSTRIJI.....	35
SLIKA 19. PRIMJENA MULJA KOD IZGRADNJE PROMETNICA	35
SLIKA 20. MULJ KAO POBOLJŠIVAČ TLA	36
SLIKA 21. SHEMATSKI PRIKAZ POSTUPKA OZEMLJIVANJA.....	37
SLIKA 22. ŽIVOTNI CIKLUS OTPADNE VODE I MULJA U HRVATSKOJ NAKON 2018. GODINE	39
SLIKA 23. GODIŠNJA PROIZVODNJA MULJA S UPOV-A U 27 ZEMALJA.....	40

POPIS TABLICA

TABLICA 1. PROCESI I NAČINI USTANOVLJIVANJA KARAKTERISTIKA MULJA.....	14
TABLICA 2. SADRŽAJ HRANJIVIH TVARI U MULJU	31
TABLICA 3. USPOREDBA GOSPODARENJA MULJEM U HRVATSKOJ I NJEMAČKOJ (2011) ..	43
TABLICA 4. GOSPODARENJE MULJEM U NJEMAČKOJ.....	43
TABLICA 5. PREGLED POPISA KOJI ODREĐUJU POLITIKU GOSPODARENJA MULJEM.....	46
TABLICA 6. REZULTATI ANALIZE ISPITANOG MULJA U MOTIČNJAKU	51
TABLICA 7. REZULTATI ANALIZE ISPITANOG KOMPOSTA KLASE III	53
TABLICA 8. REZULTATI ANALIZE NASTALI ISPITIVANJEM DEHIDRIRANOG MULJA	56
TABLICA 9. REZULTATI ANALIZE ISPITANOG SVJEŽEG MULJA	57