Mogućnosti zbrinjavanja viška aktivnog mulja iz uređaja za pročišćavanje otpadnih voda

Šeremet, Danijela

Undergraduate thesis / Završni rad

2016

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Food Technology and Biotechnology / Sveučilište u Zagrebu, Prehrambeno-biotehnološki fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:159:280662

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-29**

prehrambeno biotehnološki fakultet

Repository / Repozitorij:

Repository of the Faculty of Food Technology and Biotechnology

zir.nsk.hr

dabar
DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

Prehrambeno-biotehnološki fakultet

Preddiplomski studij Prehrambena tehnologija

Danijela Šeremet

6604/PT

MOGUĆNOSTI ZBRINJAVANJA VIŠKA AKTIVNOG MULJA IZ UREĐAJA ZA PROČIŠĆAVANJE OTPADNIH VODA

ZAVRŠNI RAD

Modul: Tehnologija vode

Mentor: prof.dr.sc. Marin Matošić

Zagreb, 2016.

DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Završni rad

Sveučilište u Zagrebu
Prehrambeno - biotehnološki fakultet
Preddiplomski studij Prehrambena tehnologija
Zavod za prehrambeno - tehnološko inženjerstvo
Laboratorij za tehnologiju vode

Mogućnosti zbrinjavanja viška aktivnog mulja iz uređaja za pročišćavanje otpadnih voda

Danijela Šeremet, 6604/PT

Sažetak: Pročišćavanjem otpadnih voda nastaje otpadni mulj koji zahtjeva dodatne procese obrade prije odlaganja ili ponovnog korištenja. Otpadni mulj treba zbrinuti na način da ne predstavlja opasnost za okoliš. Od svih komponenti uklonjenih tijekom pročišćavanja otpadnih voda, mulj čini najveći dio otpada. Obično je proizveden u polutekućem ili tekućem obliku te sadrži organske i anorganske tvari sirove otpadne vode i organski sadržaj. Danas postoje razni mehanički, biološki, termički te fizikalni procesi obrade mulja. Mogućnost ponovne upotrebe mulja ovisi u velikoj mjeri o njegovom fizikalnom i kemijskom sastavu, a sastav u značajnoj mjeri ovisi o tehnološkom procesu pročišćavanja vode i obrade mulja. Procesi obrade mulja, njegovog zbrinjavanja i ponovnog korištenja predstavljaju značajan inženjerski problem u području obrade otpadnih voda.

Ključne riječi: otpadne vode, aktivni mulj

Rad sadrži: 24 strane, 3 tablice, 17 literaturna navoda

Jezik izvornika: hrvatski

Rad je u tiskanom i elektroničkom (pdf format) obliku pohranjen u: Knjižnica Prehrambeno-biotehnološkog fakulteta, Kačićeva 23, Zagreb

Mentor: prof.dr.sc. Marin Matošić

Rad predan: srpanj, 2016.

BASIC DOCUMENTATION CARD

Final work

University of Zagreb
Faculty of Food Technology and Biotechnology
Undergraduate studies Food Technology
Department of Food Engineering
Laboratory for Water Technology

The possibilities for disposing activated sludge from wastewater-treatment plants

Danijela Šeremet, 6604/PT

Abstract: Purification of wastewater results in sludge which requires additional processes before disposal or reuse. Sludge must be disposed of in a manner that poses no threat to the environment. Of the constituents removed by treatment, sludge is by far the largest in volume. It is usually produced in the form of a liquid or semisolid liquid and contains organic and inorganic substances. There are various mechanical, biological, thermal and physical processes that are used for sludge treatment. The possibility of reuse of sludge depends largely on its physical and chemical composition, and the composition is significantly dependent on the technological process of water and sludge treatment. Processing, reuse and disposal of sludge present significant problem facing the engineer in the field of wastewater treatment.

Keywords: wastewater, activated sludge
Thesis contains: 24 pages, 3 tables, 17 references
Final work is printed and electronic (pdf format) verson is deposited in: Library of the Faculty of Food Technology and Biotechnology, Kačićeva 23, Zagreb
Mentor: PhD. Marin Matošić, Full professor
Thesis delivered: July, 2016.

SADRŽAJ

1. UVOD……1
2. GLAVNI DIO……...2
   2.1. Obrada otpadnih voda…….....2
   2.2. Opcije tretiranja i zbrinjavanja mulja……..…….3
      2.2.1. Predtretmani otpadnog mulja…….…..3
      2.2.2. Stabilizacija otpadnog mulja…….……3
         2.2.2.1. Kemijska stabilizacija sa vapnom…….4
         2.2.2.2. Anaerobna digestija……...…4
         2.2.2.3. Aerobna digestija……6
         2.2.2.4. Kompostiranje……...…7
      2.2.3. Kondicioniranje…….…….8
      2.2.4. Dehidracija (uklanjanje vode)……..…….9
      2.2.5. Sušenje…….……9
      2.2.6. Spaljivanje……..……...10
      2.2.7. Ostali napredni tretmani obrade…….……...11
         2.2.7.1. Plinofikacija……...…...11
         2.2.7.2. Piroliza/Ulje iz mulja/Karbonizacija……..12
      2.2.8. Oksidacija vlažnim zrakom i oksidacija superkritičnom vodom…….....12
   2.3. Opcije za zbrinjavanje mulja……..…..12
      2.3.1. Odlaganje obrađenog mulja na odlagališta…….……..13
      2.3.2. Korištenje u poljoprivredi i šumarstvu…….……14
         2.3.2.1. Poljoprivredne opcije……...14
         2.3.2.2. Nepoljoprivredna uporaba……..18
      2.3.3. Kompostiranje s organskom frakcijom krutog komunalnog otpada ili stočnog otpada……..19
      2.3.4. Energetska oporaba……19
      2.3.5. Privremeno skladištenje i obrada……...20
   2.4. Trenutna situacija u Republici Hrvatskoj……...20
3. ZAKLJUČAK……23
4. LITERATURA……...25

1. UVOD

Razvoj ljudske populacije i industrije zahtjeva veću uporabu vode što dovodi do nastajanja velike količine otpadne vode. Ispuštanje nepročišćenih otpadnih voda u prirodne vodne sustave, na poljoprivredna zemljišta ili na šumska gospodarstva izaziva nepoželjne promjene u okolišu (npr. narušavanje međudjelovanja organizama što dovodi do uništenja određene populacije). Ako se nepročišćene otpadne vode upuštaju u vodne sustave dolazi do razgradnje organskih sastojaka iz otpadne vode što rezultira smanjenjem sadržaja otopljenog kisika i pojavu anaerobnih uvjeta. Posljedica toga može biti odumiranje različitih oblika života u vodi. Također, otpadne vode mogu sadržavati štetne mikroorganizme, kovine i druge sastojke kao toksine koji su opasni za zdravlje ljudi i vodene ekosustave. Važno je da se voda uzeta iz prirode ne ispušta u prirodu onečišćena već da je se pročisti do onog stupnja koji jamči da se njenim ponovnim vraćanjem u prirodu (ispuštanje u rijeke i oceane) neće narušiti prirodna kakvoća okoliša.

Kao posljedica biološkog pročišćavanja otpadnih voda nastaje otpadni mulj koji se do nedavno odlagao na odlagališta krutog otpada i čije zbrinjavanje općenito nije izazivao veću pažnju. Zbog europske strategije smanjenja udjela otpada koji se odlaže na komunalna odlagališta, otpadni mulj postaje problem čije zbrinjavanje zahtijeva dodatne procese obrade prije odlaganja ili ponovnog korištenja. Mogućnost ponovne upotrebe mulja ovisi u velikoj mjeri o njegovom fizikalnom i kemijskom sastavu, a sastav u značajnoj mjeri ovisi o tehnološkom procesu pročišćavanja vode i obrade mulja.

2. GLAVNI DIO

2.1. Obrada otpadnih voda

Otpadne vode mogu biti podrijetlom iz kućanstva, industrije, stočnih uzgajališta te odlagališta smeća. Vode koje se uvjetno mogu nazvati otpadnim vodama su oborinske vode (padaline) te rashladne vode (Glancer-Šoljan, Dragičević, Ban, 2001).

Proces pročišćavanja otpadnih voda stvara otpad koji se uglavnom stvara u jednoj od tri različite faze pročišćavanja otpadnih voda, a to su (1) preliminarni tretman; (2) primarna sedimentacija; i (3) biološki tretman.

Preliminarnim se tretmanom iz otpadnih voda pomoću rešetaka (grube i fine rešetke) i sita uklanjaju krute čestice i sitni pijesak (koji uzrokuju trošenje i neispravan rad opreme za pročišćavanje otpadnih voda što povećava troškove održavanja) te masti i ulja.

U postupku primarne sedimentacije taložе se teži dijelovi organskih tvari koji ne ulaze u biološki postupak obrade što smanjuje potrebe za kisikom i energijom. Mulj dobiven primarnom sedimentacijom naziva se primarnim muljem. Podložan je biološkoj razgradnji i neugodnog je mirisa.

U većini slučajeva, primarna sedimentacija nastavlja se biološkim tretmanom. Biološki tretman obuhvaća biološke postupke u kojima se djelovanjem mikroorganizama razgrađuju otopljeni sastojci u otpadnoj vodi pri čemu dolazi do rasta i razmnožavanja mikroorganizama i porasta biomase. U većini javnih uređaja za pročišćavanje otpadnih voda (UPOV-a) mikroorganizmi se nalaze u suspenziji i povezani su u nakupine koje se nazivaju aktivnim muljem. Većina organske tvari ostaje vezana u biomasi (biološkom mulju), a iz procesa izlazi voda sa smanjenim udjelom organskih tvari.

Primarni i biološki mulj nastali pročišćavanjem otpadnih voda uglavnom se tretiraju zajedno i tvore jedan tok otpada.

2.2. Opcije tretiranja i zbrinjavanja mulja

Od svih komponenti uklonjenih tijekom pročišćavanja otpadnih voda (ulja i masti, pijesak i druge čestice tla, krupni otpad i sl.), mulj čini najveći dio otpada. Obično je proizveden u polutekućem ili tekućem obliku te sadrži organske i anorganske tvari sirove otpadne vode (nakon primarnog tretmana) i organski sadržaj (nakon biološkog tretmana). Procesi obrade mulja, njegovog zbrinjavanja i ponovnog korištenja predstavljaju značajan inženjerski problem u području obrade otpadnih voda. Obrada mulja je kompleksan i integriran proces čija priroda ovisi o njegovim karakteristikama te konačnoj namjeni.

2.2.1. Predtretmani otpadnog mulja

Integriran proces obrade mulja započinje različitim inicijalnim procesima, a oni mogu uključivati mljevenje mulja, prosijavanja mulja, uklanjanje šljunka iz mulja te izjednačivanje sastava mulja (zbog različitog sastava primarnog i biološkog mulja koji se izmiješaju u jednoličnu smjesu i čine jedan tok otpada).

Nakon provedenih inicijalnih operacija slijedi zgušnjavanje mulja. Zgušnjavanje mulja je proces u kojem se povećava udio krutih čestica u mulju uklanjanjem dijela tekuće frakcije (najčešće uz pomoć gravitacije, flotacije ili centrifuge) čime se smanjuje i volumen otpadnog mulja (Metcalf & Eddy, 2003). Smanjenje volumena mulja reducira potrebe za kapacitete tankova, potrošnje kemikalija, a i topline u kasnijim procesima obrade mulja. Također, smanjenjem volumena mulja mogu se koristiti manje pumpe u transportu što rezultira smanjenjem troškova transporta. Za transport mulja najčešće se koriste klipne, centrifugalne, membranske, peristaltičke te visokotlačne klipne pumpe.

2.2.2. Stabilizacija otpadnog mulja

Otpadni mulj podvrgava se različitim procesima stabilizacije kako bi se reducirala razina patogena u mulju, kao i volumen mulja, eliminirali neugodni mirisi te reducirala, inhibirala ili potpuno eliminirala mogućnost truljenja (Metcalf & Eddy, 2003).

Glavne metode koje se koriste za stabilizaciju mulja su:

1.) kemijska stabilizacija vapnom
2.) anaerobna digestija

3.) aerobna digestija
4.) kompostiranje

Nakon provedenih procesa stabilizacije, stabilizirani mulj može se odlagati na poljoprivredna i ostala zemljišta (ukoliko je dovoljno reducirana razina patogena) ili se može dalje obrađivati (npr. sušenjem i spaljivanjem te konačnim odlaganjem na predviđena odlagališta).

2.2.2.1. Kemijska stabilizacija sa vapnom

Upotrebom alkalnog materijala (najčešće vapno) otpadni se mulj može učiniti neprikladnim za preživljavanje mikroorganizama. U procesu kemijske stabilizacije sa vapnom, vapno se dodaje neobrađenom mulju u dovoljnoj količini za podizanje pH na 12 i više čime se stvara okruženje koje nije pogodno za opstanak mikroorganizama. Sve dok se pH održava na toj razini, mulj neće trunuti, stvarati neugodne mirise ili predstavljati opasnost za zdravlje.

Kao alkalni materijal najčešće se koriste hidratizirano vapno ($Ca(OH)_2$) i živo vapno (Cao). Praškasto gorivo pepela, prašina vapnenca i karbidno vapno mogu se koristiti kao zamjena za vapno (Metcalf & Eddy, 2003).

Dodatkom živog vapna u mulj, ono reagira s vodom iz mulja te nastaje hidratizirano (gašeno) vapno.

$$Cao + H_2O \rightarrow Ca(OH)_2 + 1092\ kJ\ (261\ kcal)$$

Reakcija živog vapna i vode je egzotermna (oslobađa se toplina) što posljedično povisuje temperaturu tretiranog mulja na temperaturu iznad 50 °C koja se održava više od 30 minuta što rezultira pasterizacijom mulja (Metcalf & Eddy, 2003).

2.2.2.2. Anaerobna digestija

Anaerobna digestija jedan je od najstarijih procesa koji se koriste za stabilizaciju mulja. Ona uključuje raspad organskih i neorganskih tvari (prvenstveno sulfata) u odsutnosti kisika. Kemijske i biokemijske reakcije koje se događaju tijekom anaerobne digestije su (1) hidroliza; (2) fermentacija (tijekom koje dolazi do formiranja topivih organskih tvari i kratkolančanih organskih kiselina); i (3) metanogeneza (bakterijska konverzija organskih kiselina u metan i ugljikov(IV) oksid). Anaerobna digestija se najčešće koristi u stabilizaciji

mulja dobivenog nakon pročišćavanja gradskih i industrijskih otpadnih voda (Metcalf & Eddy, 2003).

Anaerobnoj digestiji mogu prethoditi predtretmani mulja koji daju optimalne uvjete za grupe bakterija koje razgrađuju sastojke mulja u hlapljive masne kiseline koje se zatim pretvaraju u bioplin u postrojenju za anaerobnu digestiju. Ti predtretmani mogu biti (1) termalna hidroliza; (2) enzimska hidroliza; (3) pred-pasterizacija; ili (4) ultrazvučna hidroliza.

Prije provođenja termalne hidrolize mulj se dehidrira na 15% do 20% sadržaja suhe tvari i tada se zagrijava u predreaktoru. Zatim se dodaje u drugi reaktor gdje se dodaje para i povisuje tlak. Potom se hidrolizirani mulj hladi, razrjeđuje i prebacuje u anaerobni digestor za daljnju preradu.

Tijekom enzimske hidrolize mulj se zagrijava te prolazi kroz seriju od 2 do 6 radijalnih spremnika zagrijanih na 42 °C u vremenu zadržavanja između 2 i 5 dana. Ovo uzrokuje djelomičnu fermentaciju mulja i proizvodnju hlapljivih masnih kiselina. Djelomično fermentirani mulj ulazi u tradicionalni uređaj za anaerobnu digestiju.

Tijekom pasterizacije, sirovi se mulj zagrijava na 70 °C 30 minuta. Obično se sirovi mulj prethodno zagrijava korištenjem topline pasteriziranog mulja. Topli sirovi mulj se zatim zagrijava na 70 °C uz pomoć vruće vode ili pare.

Ultrazvučni tretman uključuje uvođenje valova visokog intenziteta u mulj. Osnovni princip je otpuštanje izvanstaničnog materijala koji katalizira biološke reakcije. Ovo poboljšava bakterijsku kinetiku što rezultira manjim količinama mulja, a u slučaju anaerobne digestije povećanom proizvodnjom bioplina. Ultrazvučni sustav sastoji se od napajanja koje osigurava električnu energiju, transformatora koji pretvara električni input u pulsirajući signal odgovarajuće amplitude i sonde koja pretvara pulsirajući signal u zvučne valove. Kada se primjenjuje električna energija na ultrazvučnom instrumentu, pretvara se u kavitacijske mjehuriće ili se gubi kao toplina. Tijekom obrade mulja, interakcija između kavitacijskih mjehurića i čestica mulja mijenja strukturu mulja čineći ga biorazgradivijim (Tiehm i sur., 2001).

Nakon provedenih predtretmana može se provoditi mezofilna anaerobna digestija ili termofilna anaerobna digestija ili njihova kombinacija.

Kod mezofilne anaerobne digestije zgusnuti mulj se kontinuirano pušta u zatvoren biološki reaktor, zagrijava i prolazi anaerobnu digestiju te se zadržava u određenom vremenu na

temperaturi između 35 °C i 37 °C. U tom vremenu prolazi stabilizaciju te se nakon provedene digestije dehidrira.

Termofilna anaerobna digestija odvija se na temperaturama između 50 °C i 57 °C te je mnogo brža od mezofilne anaerobne digestije zbog korištenih viših temperatura. Više temperature reduciraju patogene i termofilne bakterije rezultirajući bržim reakcijskim stopama od mezofilnih bakterija. Postoje različite varijante termofilne digestije, a to su termofilna digestija u serijama, termofilna koju slijedi mezofilna (najučestalija), mezofilna koju slijedi termofilna.

Bioplin dobiven anaerobnom digestijom sadrži između 65% i 70% metana, 25% do 30% ugljkovog(IV) oksida te u malim postocima dušik, vodik, sumporovodik, vodenu paru i druge plinove te se može koristiti kao gorivo (Metcalf & Eddy, 2003).

2.2.2.3. Aerobna digestija

Aerobna digestija slična je procesu aktivnog mulja. Mikroorganizmi počinju konzumirati vlastitu protoplazmu da osiguraju energiju za održavanje staničnih reakcija u slučaju kada je opskrba supstratima (hranom) potrošena. Stanično se tkivo oksidira u ugljikov(IV) oksid, vodu i amonijak. U stvarnosti, 75% do 80% staničnog tkiva može biti oksidirano, a ostatak od 20% do 25% je sastavljen od inertnih komponenta i organskih spojeva koji nisu biorazgradivi. Tijekom digestije nastali amonijak oksidira u nitrat. Biološki nerazgradive suspendirane krutine zaostat će u finalnom proizvodu aerobne digestije (Metcalf & Eddy, 2003).

Postoje tri varijacije procesa aerobne digestije koje se najčešće koriste, a to su (1) konvencionalna aerobna digestija; (2) autotermalna termofilna aerobna digestija; i (3) aerobna digestija s kisikom visoke čistoće.

Faktori koji se moraju uzeti u obzir kod dizajniranja digestora za konvencionalnu aerobnu digestiju su temperatura, volumen digestora, redukcija krutina, potreba za kisikom te energentska potreba za miješanjem. Budući da je većina aerobnih digestora otvoreni tankovi, temperatura tekućeg sadržaja ovisi o vremenskim prilikama i može varirati u velikoj mjeri. Kao i sa svim biološkim sistemima, niže temperature usporavaju proces dok više temperature ubrzavaju proces. Gubitak topline treba biti minimaliziran upotrebom betonskih tankova umjesto čeličnih te korištenjem potpovršinskog miješanja umjesto površinskog. (Metcalf & Eddy, 2003).

Aerobna digestija sa kisikom visoke čistoće najčešće se provodi u zatvorenim tankovima što rezultira visokim temperaturama u samom procesu. Održavanje visoke temperature u digestoru rezultira značajnim porastom stope degradacije hlapivih tvari. Nedostatak ovog procesa je povećanje troškova povezanih sa stvaranjem kisika visoke čistoće (Metcalf & Eddy, 2003).

Autotermalna termofilna aerobna digestija predstavlja varijaciju konvencionalne aerobne digestije i digestije s kisikom visoke čistoće. Temperatura u procesu kreće se između 55 °C i 70 °C i ona se može postići bez dovođenja vanjske topline koristeći toplinu oslobođenu egzotermičnim mikrobiološkim oksidacijskim procesima. Unutar reaktora, dovoljne količine kisika i miješanje omogućuju aerobnim mikroorganizmima degradaciju organskih tvari u ugljikov(IV) oksid, vodu i nusprodukte dušika. Prednosti ovog procesa su (1) kratko vrijeme zadržavanja (od 5 do 6 dana) osiguranjem stopa degradacije od 38% do 50% hlapljivih tvari (sličnost konvencionalnoj aerobnoj digestiji); (2) jednostavnost procesa; (3) veća redukcija bakterija i virusa uspoređujući sa mezofilnom anaerobnom digestijom; i (4) redukcija patogenih organizama na vrijednost niže od granica detekcije (Metcalf & Eddy, 2003).

2.2.2.4. Kompostiranje

Kompostiranje je proces u kojem se organske tvari biološki razgrađuju čime se dobije stabilan produkt. Tijekom kompostiranja mulja otprilike 20% do 30% hlapivih tvari je pretvoreno u vodu i ugljikov(IV) oksid. Razgradnjom organskih tvari u mulju, temperatura u procesu naraste do 50 °C do 70 °C što dovodi do uništenja patogenih enterobakterija. Kompostiranje se može provesti u aerobnim ili anaerobnim uvjetima, ali najčešće se provodi u aerobnim. Kompostiranje u aerobnim uvjetima ubrzava razgradnju organskih tvari i rezultira većim povećanjem temperature neophodne za uništenje patogenih mikroorganizama te smanjuje mogućnost nastanka neugodnih mirisa (Metcalf & Eddy, 2003).

Za kompostiranje mulja potreban je prikladniji krupniji materijal kao komadići drveta, listovi drveća, kora ili piljevina čime se stvara prostor za cirkulaciju zraka unutar kompostirane hrpe te povećava omjer ugljika i dušika na razine pogodne za kompostiranje.

Tehnologije kompostiranja bazirane su na jednoj od sljedećih metoda: (1) otvoreni sustavi (lagune); (2) aerirane statične hrpe; (3) zatvoreni sustavi; (4)Vermi kompostiranje.

Metoda sa aeriranim statičnim hrpama započinje stvaranjem gomila (hrpa). U prvih nekoliko dana temperatura naglo poraste na 70 °C do 80 °C pod uvjetom da su uvjeti povoljni. Mezofilni se organizmi, čija je optimalna temperatura rasta između 20 °C i 45 °C, brzo umnažaju na dostupnim šećerima i aminokiselinama. Vlastitim metabolizmom generiraju toplinu i podižu temperaturu do točke na kojoj njihove vlastite aktivnosti prestaju. Zatim nekoliko vrsta termofilnih gljiva i bakterija, čija je optimalna temperatura rasta između 50 °C i 70 °C ili više, nastavljaju postupak i podižu temperaturu materijala na 65 °C ili više. Ovaj vrhunac faze zagrijavanja je važan za kvalitetu komposta jer toplina ubija patogene i sjeme korova. Aktivnu fazu kompostiranja slijedi faza sušenja, a temperatura gomile se postupno smanjuje. U ovoj fazi počinje rasti druga skupina termofilnih bakterija koje dovode do velike faze raspadanja staničnih membrana biljnih stanica. Na kraju temperatura gomile opada na sobnu temperaturu te gomila postaje ujednačena i manje biološki aktivna, iako se mezofilni organizmi ponovno koloniziraju u kompostu. Materijal postaje tamno smeđe do crne boje. Smanjuje se veličina čestica i njihova tekstura postaje slična tlu. Tijekom procesa povećava se količina humusa, razine ugljika i dušika opadaju, pH se neutralizira te se povećava kapacitet izmjene tvari.

Vermi kompostiranje koristi kolutičavce kako bi razložili organske tvari i proizveli sitnozrnate nakupine izmeta koji imaju veću vrijednost kao dodatak tlu od tradicionalnog kompostiranja.

2.2.3. Kondicioniranje

Svrha kondicioniranja mulja je poboljšanje njegovih karakteristika kako bi se lakše zgusnuo i/ili dehidrirao. Uobičajene tehnike koje se koriste su kemijske ili termalne.

Kemijskim kondicioniranjem mulja može se smanjiti sadržaj vlage u mulju sa 90 do 99% na 65 do 85%, ovisno o prirodi tretiranog mulja. Ono rezultira koagulacijom krutina i otpuštanjem apsorbirane vode. U tu svrhu kao kemikalije mogu se koristiti željezni klorid, vapno te organski polimeri. (Metcalf & Eddy, 2003). Nakon provedenog procesa kemijskog kondicioniranja slijede mehanički procesi odvajanja vode najčešće uporabom centrifuga ili filter preša.

Termalno kondicioniranje mulja podrazumijeva zagrijavanje mulja u kratkom vremenskom periodu pod tlakom. Mulj se zagrijava na temperaturu 180 °C do 200 °C pod tlakom od 12

bara do 15 bara kroz 30 do 40 minuta. Dolazi do koagulacije krutina, razbijanja gelove strukture mulja i redukcije afiniteta vode krutina mulja. Kao rezultat, mulj je steriliziran i dehidriran. Prednosti termalnog kondicioniranja su: (1) sadržaj krutih tvari u procesiranom mulju iznosi od 30% do 50%; (2) procesirani mulj nije potrebno kemijski kondicionirati; (3) uništavanje većine patogena. (Metcalf & Eddy, 2003).

2.2.4. Dehidracija (uklanjanje vode)

Dehidracijom se u mulju smanjuje sadržaj vlage zbog sljedećih razloga:

1. Smanjenjem volumena mulja dehidracijom smanjuju se troškovi transporta do krajnjeg odlagališta.
2. S dehidriranim muljem lakše je rukovati nego sa tekućim ili zgušnjenim muljem.
3. Dehidracija se obično provodi prije spaljivanja mulja zbog povećanja kalorijske vrijednosti (zbog uklanjanja viška vlage).
4. Uklanjanjem viška vlage smanjuje se nastanak neugodnih mirisa i mogućnost truljenja.

Postoji nekoliko tehnika koje se koriste za dehidraciju mulja, a njihov odabir vrši se na temelju vrste mulja i njegovih karakteristika i o dostupnom prostoru. Kod manjih postrojenja gdje dostupnost zemljišta nije problem, većinom se koriste lagune, a u suprotnom se koriste mehanički uređaji (centrifuge ili filter preše).

Centrifugiranje je u industriji najčešći proces koji se koristi za odvajanje tekućina različite gustoće i za uklanjanje krutina iz tekućina te za može uspješno koristiti za odvajanja viška vode iz mulja. Jednako uspješno mogu se koristiti i filter preše. Ovim postupcima mulj se najčešće dehidrira do 30% suhe tvari, a za postizanje višeg sadržaja suhe tvari provodi se sušenje mulja kako bi došlo do isparavanja vode koja je vezana u staničnim strukturama.

2.2.5. Sušenje

Sušenje mulja podrazumijeva primjenu topline (izravno ili neizravno) čime dolazi do isparavanja vode iz mulja.

Za korištenje mulja u procesima spaljivanja sadržaj suhe tvari mora biti veći od 50%, a budući da mulj nakon mehaničke dehidracije općenito ima sadržaj suhe tvari između 23% i 25%, potrebno je dodatno sušenje koje zahtjeva opskrbu toplinskom energijom.

Termalno sušenje mulja vrši su u sušilicama čija se podjela vrši na temelju načina prijenosa topline materijalu, a ti načini prijenosa su: (1) kondukcija; (2) konvekcija; i (3) radijacija.

U slučaju konvekcijskog sušenja, plin (zrak) koji prolazi kroz sušilicu se izravno ili neizravno zagrijava. Kod izravnog grijanja, vrući otpadni plin iz komore za izgaranje dovodi se u sušilicu, a s indirektnim zagrijavanjem zrak se zagrijava preko izmjenjivača topline. Izravno ili neizravno zagrijani plin (zrak) upuhuje se kroz mulj i na taj način vrši sušenje mulja.

Kod kondukcijskog sušenja, mulj se dovede u kontakt s grijanom površinom. Toplina se dobiva od pare ili iz vrelo uljnog sustava. Kondukcijski tip sušnice obično sadrži različite kombinacije grijanih odjeljaka i šupljih diskova kroz kojih protječe sredstvo za grijanje.

U područjima sa sunčanom klimom tijekom cijele godine, sustavi solarnog sušenja održivo su rješenje za sušenje mulja. Solarno sušenje je ekološki proces koji koristi obnovljive izvore energije sunca. Svi procesi solarnog sušenja imaju isti princip rada temeljen na dovođenju obnovljenog zraka u staklenik i u kontakt s muljem koji se stavlja na hrpu i redovito okreće. Sustav za miješanje zraka osigurava izlaz vlažnog zraka u stakleniku, a ventilacijski sustav (prirodni ili mehanički) izvlači iz mulja zrak zasićen vodenom parom. Solarno sušenje uključuje: (1) sušenje zračenjem (kada se sunčevo zračenje apsorbira u mulju); i (2) konvekcijsko sušenje (kada se voda iz mulja izvlači pomoću zraka u stakleniku). Dodatni porast temperature može se uočiti ako je mulj naslagan u hrpama, a proizlazi iz aerobne fermentacije organske tvari. Ova termofilna faza nastaje kada je vlažnost mulja između 40% i 60%. Oksidacijske reakcije su egzotermne koje dezinficiraju proizvod i ubrzavaju proces sušenja. Potrebno je povremeno okretati mulj kako bi se osiguralo ispravno provjetravanje i otpuštanje topline proizvedene uglavnom u obliku vodene pare.

2.2.6. Spaljivanje

Spaljivanje je proces u kojem dolazi do potpune pretvorbe organskih tvari većinom u ugljikov dioksid, vodu i dušik te kao nusproizvod nastaje leteći pepeo. Mulj se spaljuje u spalionici pri temperaturi od 850 °C i pepeo koji se pritom dobije (15 do 20% volumena mulja) se skuplja i reciklira, odlaže ili se koristi u proizvodnji građevinskih materijala,

cementa i sl. Prednosti spaljivanja su: (1) veliko smanjenje volumena mulja; (2) uništenje patogenih mikroorganizama; (3) uništenje otrovnih organskih supstanci; (4) volumen dobivenog pepela je oko 10% volumena dehidriranog mulja. Glavni nedostatak spaljivanja mulja je taj da pepeo i dalje treba odlaganje i kako su mnogi anorganski sastojci koncentrirani u pepelu, mogu se procijediti u tlo rezultirajući potencijalnim zdravstvenim problemima. Spaljivanje mulja proizvodi otrovne onečišćivače (npr. živa) koji se moraju ukloniti iz emisija.

Najčešće postrojenja za spaljivanje obrađuju nedigestirani mulj zbog kalorijske vrijednosti. Kalorijska vrijednost nedigestiranog mulja je veća nego digestiranog čime nudi mogućnost za ispunjavanje zahtjeva za toplinom i dobivanje električne energije.

Postoji mogućnost spaljivanja pepela s komunalnim otpadom no peć mora biti opremljena tehnologijom koja može rukovati s oba goriva, budući da komunalni otpad ima tendenciju dominacije u projektiranju i radu uređaja.

2.2.7. Ostali napredni tretmani obrade

2.2.7.1. Plinofikacija

Kod plinofikacije mulj se zagrijava kako bi se proizveo sintetički plin koji se može koristiti kao izvor energije u plinskoj turbini ili u bojleru kako bi se stvorila para za parnu turbinu. Ogrjevna vrijednost sintetičkog plina nije tako visoka kao kod digestiranog plina. Predsušenje mulja je potrebno. Ako se koristi dehidrirani mulj, isparavanje vode troši većinu dostupne energije, osim ako je dopunsko gorivo doplinoficirano muljem kao sekundarno oporavljeno gorivo iz komunalnih postrojenja.

Proces plinofikacije odvija se u dva koraka: (1) piroliza i (2) djelomično izgaranje. Piroliza je degradacija mulja u odsutnosti zraka u plin i „char“ (crna supstanca bogata ugljikom). U drugoj reakciji „char“ je plinoficiran djelomičnim spaljivanjem u prisutnosti kisika ili zraka kako bi se proizveo sintetički plin. Zbog koncentriranog učinka sastojaka u izvornom mulju, preostali „char“ zahtjeva odlaganje na deponiju.

Komercijalna primjena za plinofikaciju mulja još uvijek je u razvoju te predstavlja dobru perspektivu za dugotrajno korištenje.

2.2.7.2. Piroliza/Ulje iz mulja/Karbonizacija

Piroliza je proces toplinske razgradnje koji se provodi u odsutnosti zraka. Mulj se zagrijava do temperature od 500 °C u atmosferi bez kisika. Proces rezultira s tri ostatka: (1) tvari koje sadrže mineralne tvari i ugljik; (2) voda; i (3) plinovi pirolize (glavni sastojak je ugljični dioksid). Plinovi se mogu sažeti za proizvodnju ulja koje se može koristiti za proizvodnju energije ili se koristi u motoru.

Piroliza nije krajnju način zbrinjavanja mulja i uglavnom se koristi kao prethodna obrada, korak do plinofikacije ili izgaranja. U objektima za pirolizu potrebne su mjere čišćenja odvoda otpadnih plinova, a nastaje i „char“ koji zahtjeva odlaganje ili dodatnu obradu.

2.2.8. Oksidacija vlažnim zrakom i oksidacija superkritičnom vodom

Oksidacija vlažnim zrakom uključuje termičke procese tekućeg mulja na temperaturi između 150 °C i 330 °C i pod tlakom između 10 i 220 bar u prisustvu kisika. Sustav je razvijen u kemijskoj i naftnoj industriji te je prenesen u komunalnu industriju obrade otpadnih voda. Oksidacija vlažnim zrakom je opcija finalnog razlaganja mulja koji je previše razrijeđen za spaljivanje ili previše koncentriran za daljnju biološku obradu. Glavni nedostatak ove metode je nepotpuno razlaganje organskih tvari koje rezultira u visokim koncentracijama hlapljivih masnih kiselina u efluentu.

Oksidacija superkritičnom vodom djeluje u subkritičnoj regiji vode. Voda ulazi u ovu regiju iznad 374 °C i 221 bar. U subkritičnoj regiji i plin i tekućina čine jedinstvenu homogenu fazu. Organske tvari i kisik u potpunosti se izmiješaju što u kombinaciji sa visokim temperaturama rezultira iznimno velikim brzinama reakcije u procesu oksidacije (što omogućuje potpuno oksidaciju u roku od 1 do 2 minute). Ugljik se pretvara u ugljični dioksid, organski i anorganski dušik u plinoviti dušik. Inertni, netopljivi anorganski ostatci se odlažu ili se koriste kao građevinski materijal.

2.3. Opcije za zbrinjavanje mulja

Obrada i zbrinjavanje mulja je neodvojiv element pročišćavanja otpadnih voda. Iz tog razloga, razvoj rješenja za pročišćavanje otpadnih voda mora uključivati rješenje za obradu i zbrinjavanje nastalog mulja, a troškovi obrade i zbrinjavanja mulja su trošak pročišćavanja

otpadnih voda. Odabir odgovarajućeg rješenja i lokacije zbrinjavanja mulja ovisi o nekoliko faktora, uključujući kvalitetu i količinu mulja nastalog u UPOV-u, regulatorne aspekte, lokalne uvjete kao i troškove ulaganja, rada i održavanja.

Opcije obrade i zbrinjavanja mulja koje su u skladu sa zakonskim okvirom Europske unije i Republike su:

- odlaganje obrađenog mulja na odlagališta (posebna područja ili odlagališta krutog otpada);
- kompostiranje s organskom frakcijom krutog komunalnog otpada ili stočnog otpada;
- korištenje u poljoprivredi i šumarstvu;
- energetska oporaba;
- obrada u centrima za gospodarenje otpadom;
- privremeno skladištenje i obrada (polja s trstikom);
- ostala rješenja usklađena sa zakonom (npr. korištenje u građevinskom materijalu, izolacijskom materiju itd.).

2.3.1. Odlaganje obrađenog mulja na odlagališta

U većini se država odlaganje mulja na odlagališta smanjuje u skladu sa zahtjevima Direktive o odlagalištu otpada (1999/31/EEZ) koja zahtjeva smanjenje količine biorazgradivog otpada koji dospijeva na odlagališta te zabranjuje odlaganje tekućeg i neobrađenog otpada na odlagališta.

Pravilnik o načinima i uvjetima odlaganja otpada, kategorijama i uvjetima rada za odlagališta otpada zabranjuje odlaganje mulja na odlagališta otpada budući da je na odlagališta otpada zabranjen prihvat otpada ukoliko mu masa biorazgradive komponente prolazi 35% ukupne mase, a biološki stabiliziran mulj uvijek sadrži više od 35% biorazgradive tvari. Također, za odlaganje otpada na odlagališta za neopasni otpad granična vrijednost za organski ugljik iznosi najviše 5% mase suhe tvari što je uvijek slučaj sa stabiliziranim muljem.

2.3.2. Korištenje u poljoprivredi i šumarstvu

2.3.2.1. Poljoprivredne opcije

Uporaba mulja u poljoprivredi ima za cilj ponovnu uporabu hranjivih tvari sadržanih u mulju i kao dodatak organske tvari u tlu te ima sljedeće prednosti:

- pruža upraviteljima uređaja za obradu otpadnih voda fleksibilno i najjeftinije rješenje za zbrinjavanje mulja;
- hranjive tvari (dušik i fosfor) i elementi u tragovima potrebni za rast biljaka vraćaju se u tlo;
- organske tvari dodane u tlo poboljšavaju fizikalna svojstva tla što pokazuje poboljšanje sastava, povećanje aeracije tla, niže nasipne gustoće, manje površine pucanja te povećane infiltracije vode, sadržaja vode i zadržavanja vode.

Glavna regulativa koja se odnosi na korištenje mulja u poljoprivredi je Direktiva o otpadnom mulju 86/278/EEC koja je prenesena u *Pravilnik o gospodarenju muljem iz uređaja za pročišćavanje otpadnih voda kada se mulj koristi u poljoprivredi (NN 38/08)*. Tim pravilnikom određene su mjere zaštite okoliša radi uspostave sustava gospodarenja muljem kako bi se spriječile štetne posljedice za tlo, biljke, životinje i čovjeka, potičući time ispravno korištenje mulja. 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 (Pravilnik, 2008).

Pravilnikom je otpadni mulj definiran kao:

- otpadni mulj iz uređaja za pročišćavanje otpadnih voda iz kućanstva i gradova te iz drugih uređaja za pročišćavanje otpadnih voda koje su sadržajem slične otpadnim vodama iz kućanstva i gradova;
- otpadni mulj iz septičkih jama i drugih sličnih uređaja za pročišćavanje otpadnih voda;
- otpadni mulj iz ostalih uređaja za pročišćavanje otpadnih voda (Pravilnik, 2008).

Istim Pravilnikom obrađeni je mulj definiran kao otpadni mulj koji je podvrgnut biološkoj, kemijskoj ili toplinskoj obradi, dugotrajnom skladištenju ili bilo kojem drugom postupku kojim se znatno smanjuju fermentabilnost i opasnosti po zdravlje koje bi proizišle iz njegovog korištenja.

U poljoprivredi je dozvoljeno koristiti samo obrađeni mulj koji:

- sadrži teške metale u količinama koje nisu veće od dopuštenih vrijednosti;

Tablica 1. Dopušteni sadržaj teških metala u obrađenom mulju koji se koristi u poljoprivredi

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

- sadrži organske tvari u količinama koje nisu veće od dopuštenih vrijednosti;

Tablica 2. Dopušteni sadržaj organskih tvari u obrađenom mulju koji se koristi u poljoprivredi

Organske tvari u mulju (poliklorirani bifenili)	**Dopušteni sadržaj organskih tvari u mulju u mg/kg suhe tvari mulja**
2,4,4’- triklorobifenil	0,2
2,2’,5,5’- tetraklorobifenil	0,2
2,2’,4,5,5’ - pentraklorobifenil	0,2
2,2’,3,4,5,5’- heksaklorobifenil	0,2
2,2’,3,4,4’,5,5’- heptaklorobifenil	0,2

- je stabiliziran na način da su u njemu uništeni patogeni organizmi, potencijalni uzročnici oboljenja (Pravilnik,2008).

Zabranjeno je korištenje obrađenog mulja na:

- travnjacima i pašnjacima koji se koriste za ispašu stoke;
- površinama na kojima se uzgaja krmno bilje namanje dva mjeseca prije žetve;
- tlu na kojem rastu nasadi voća i povrća, uz iznimku voćaka;
- tlu namijenjenom uzgoju voća i povrća koje može biti u izravnom dodiru sa zemljom i koje se može jesti sirovo, u razdoblju od barem 10 mjeseci prije datuma početka berbe ili žetve;
- tlu na kojem postoji opasnost od ispiranja mulja u površinske vode;
- tlu čija je pH vrijednost niža od 5;
- tlu krških polja, plitkom ili skeletnom tlu krša;
- tlu zasićenom vodom, pokrivenom snijegom i na smrznutom poljoprivrednom tlu;
- u priobalnom i vodozaštitnom području (Pravilnik, 2008).

Zabranjeno je korištenje mulja koje bi moglo prouzrokovati prekoračenje dopuštenih vrijednosti teških metala u tlu (Pravilnik, 2008).

Tablica 3. Dopušteni sadržaj teških metala u tlu na kojem se koristi obrađeni mulj u poljoprivredi

Teški metali	**Dopušteni sadržaj teških metala u tlu izraženi u mg/kg suhe tvari reprezentativnog uzorka tla**		
pH tla u 1M otopini KCl-a	5,0<pH<5,5	5,5<pH<6,5	pH>6,5
kadmij	0,5	1	1,5
bakar	40	50	100
nikal	30	50	70
olovo	50	70	100
cink	100	150	200
živa	0,2	0,5	1
krom	50	75	100

Godišnje je dopušteno koristiti najviše 1,66 tona suhe tvari mulja po hektaru poljoprivrednog tla (Pravilnik, 2008).

Korištenje mulja na zemljištu također je regulirano Nitratnom Direktivom (91/676/EEC) vezanom za područja određena kao područja osjetljiva na nitrate (NVZs) i djelomično prenesenim odredbama u nizu pravilnika u vezi poljoprivredne prakse i uporabe gnojiva. Nitratna direktiva je propis Europske unije donesen 1991. godine radi smanjenja postojećeg onečišćenja voda nitratima iz poljoprivrednih izvora, kao i sprečavanja budućeg onečišćenja njima. Nitratna direktiva definira „gnojivo“ kao bilo koju supstancu koja sadrži dušikov spoj ili dušikove spojeve koji se koriste na zemlji kako bi se ojačao rast vegetacije te može uključivati stočno gnojivo, ostatke s ribljih farmi i otpadni mulj. Vlasnici posjeda u zonama osjetljivim na nitrate koji su voljni prihvatiti mulj na svojoj zemlji, moraju to provoditi u skladu s Uredbom o akcijskom programu za zone osjetljive na nitrate, održavanju plana gnojidbe, praćenju razdoblja zabrane primjene gnojiva i restrikcija upotrebe gnojiva. U tim zonama postoje ograničenja primjene organskog dušika do 250t/ha na pojedinačnom polju i cijelom posjedu ili prosjek za poljoprivredni posjed od 170t/ha.

2.3.2.2. Nepoljoprivredna uporaba

Primjena mulja na zemljištu za nepoljoprivredno korištenje uključuje primjenu na:

- šumskim područjima;
- zemljištu pod prirodnom vegetacijom;
- za obnovu zemljišta i razvoj;
- na poljoprivrednom zemljištu koje se ne koristi u proizvodnji hrane (npr. za proizvodnju krmnog bilja, pokrovnih i energetskih usjeva).

Glavna prednost primjene mulja na nepoljoprivrednim zemljištima je da ona ima neznatan utjecaj na ljudski hranidbeni lanac, za razliku od poljoprivrednog zemljišta. Čimbenici koji određuju korištenje na nepoljoprivrednom zemljištu su: (1) tip tla i karakteristike; (2) kretanje i otjecanje vode; (3) kretanje hranjivih tvari i metala; (4) topografija; (5) planirani usjevi.

Šumska tla prikladna su za korištenje mulja jer imaju visoke stope infiltracije, velike količine organskih materijala i imaju višegodišnji korijenski sustav za unos hranjivih elemenata. Hranjive tvari (dušik i fosfor) često su ograničene u šumskim tlima te primjena mulja u šumarstvu može uvelike povećati produktivnost šuma. Unos hranjivih tvari mora biti u ravnoteži s agronomskom stopom ciljanih prinosa šumskih kultura kako bi se izbjeglo onečišćenje podzemnih i površinskih voda.

Otpadni mulj s UPOV-a može se koristiti kao sanacijski materijal u industrijskim postrojenjima ili kao dodatak za obnovu zatvorenih odlagališta. U sanaciji zemljišta ili industrijskih postrojenja, mulj je pomiješan s nekvalitetnim tlom ili drugim materijalima prije sijanja trave, drveća ili drugog pokrova. Mulj daje strukturu, organske tvari i produženo otpuštanje hranjivih tvari koje su idealne za korištenje u obnovi zemljišta. Mulj se može koristiti i za stabilizaciju tla i drugih otpadnih materijala sklonih eroziji i za ponovnu uspostavu kontura narušenog zemljišta (bivši ugljenokopi i rudnici) kako bi se uklopili u okolni krajolik.

Otpadni mulj s UPOV-a može se uspješno koristiti i na poljoprivrednom zemljištu koje se ne koristi u proizvodnji hrane, npr. energetskih usjeva. Energetski usjevi obuhvaćaju: (1) biomasu (usjevi kao što su šikare koje se spaljuju u mješavini s drugim gorivima u elektranama ili pale sami kao gorivo za toplane i energane); (2) bioetanol (usjevi bazirani na pšenici ili škrobu koji su fermentirani za proizvodnju etanola); (3) biodizel (repica ili ostali usjevi čija ulja mogu biti pomiješana s dizelom ili se koriste kao zamjena za dizel). Mulj se

može koristiti kao zamjena za gnojiva u proizvodnji energetskih usjeva te ova primjena može pomoći recikliranju mulja ne zemlji jer usjevi ove prirode nisu namijenjeni prehrambenog lancu. Korištenja mulja na energetskim usjevima mora biti u skladu s Direktivom o otpadnom mulju i Propisima o osjetljivim područjima na nitrate kao i nacionalnim propisima.

Uporaba otpadnog mulja u nepoljoprivrednim opcijama nije u sklopu Direktive o otpadnom mulju i nije posebno obrađena u sklopu Hrvatske zakonske regulative. Ukoliko bi se primijenila ograničenja vezana za prihvatljive količine teških metala, organskih spojeva i patogena koja postoje za poljoprivredne površine, značajno bi se ograničila mogućnost korištenja mulja.

2.3.3. Kompostiranje s organskom frakcijom krutog komunalnog otpada ili stočnog otpada

Kompostiranje je dokazan sustav obrade radi stabilizacije i smanjivanja razine patogena i za njega je potrebno sredstvo za povećavanje volumena (slama, drveni proizvodi, organska frakcija komunalnog otpada itd.). Potencijalne opcije konačnog zbrinjavanja komposta su: (1) korištenje na poljoprivrednom zemljištu; (2) rekultivacija; (3) sanacija (rudarsko-industrijski zaštitni nasipi, onečišćene/zagađene lokacije i odlagalište otpada); (4) hidrosjetva.

2.3.4. Energetska oporaba

Organski spojevi u mulju predstavljaju znatan energetski potencijal. Energija iz mulja može se djelomično koristiti za pokriće potreba UPOV-a za energijom.

Proizvodnja bioplina je dokazana tehnologija, ali je opterećena visokim troškovima ulaganja, rada i održavanja te se stoga koristi samo u velikim UPOV-ima. Ako se mulj obrađuje izvan lokacije UPOV-a, troškovi transporta bi povećali trošak obrade.

Toplinska obrada za oporabu energije moguća je u termoelektrana i cementnim pećima što često zahtjeva prethodno sušenje mulja.

2.3.5. Privremeno skladištenje i obrada

Tehnologija koja koristi polja s trstikom omogućuje skladištenje mulja u razdoblju od 5 godina ili više ovisno o projektiranom kapacitetu. Prednosti polja s trstikom su: (1) lako postavljanje; (2) niski kapitalni troškovi, troškovi rada i održavanja; (3) sigurno odlaganje mulja tijekom nekoliko godina rada; (4) mogu biti smještena uz UPOV.

2.4. Trenutna situacija u Republici Hrvatskoj (Hrvatske vode, rujan 2013.)

Izvješće o stanju vezano za tretman otpadnih voda evidentira ukupno 140 uređaja za pročišćavanje otpadnih voda u Hrvatskoj potkraj 2012. godine, od kojih je 117 u operativnom stanju. Procjenjuje se da postojeći UPOV-i proizvode približno 35 000 – 40 000 tona suhe tvari mulja. Najveći je UPOV Zagreb gdje se i proizvodi 50% ukupnog mulja. Približno 2000 t/god se ponovno koristi u poljoprivredi, a 1000 t/god se kompostira. Preostali mulj uglavnom se odlaže na odlagališta.

Potencijal za ponovnu uporabu mulja u poljoprivredi u Republici Hrvatskoj ograničen je zahtjevima hrvatskih propisa prema kojima se ne može više od 1,66 tona suhe tvari mulja primijeniti na poljoprivredno zemljište. Poljoprivredno recikliranje obrađenog mulja ostaje ključni pravac u ukupnoj strategiji zbrinjavanja u cijeloj Europi, ali postupno postaje sve teži kao opcija zbog poslovne ekonomije i javne percepcije. Uvođenje uporabe mulja u poljoprivredu zahtjeva znatan trud i troškove razvoja, administracije i regulacije. Zbrinjavanje mulja na tlu nije trenutno ustanovljeno u Hrvatskoj i nema iskustva u praksi. Postoji dovoljno poljoprivrednog zemljišta da prihvati većinu lokalnog mulja, ali nije bilo procjene njegovog potencijala za ponovnu uporabu, u smislu zemlje koja je dostupna i korisna. Uključivanje mulja za korištenje u poljoprivredi zahtijevat će organiziranje programa potpore, edukacije i intenzivnog informiranja. Isplativost ove opcije treba tek ocijeniti u smislu prihvaćanja od strane poljoprivrednika, zemljoposjednika i reprezentativnih poljoprivrednih udruga. Veliko je pitanje da li su poljoprivrednici spremni prihvatiti mulj i da li imaju potrebno znanje za integraciju mulja u praksi gnojidbe.

Potencijal za uporabu mulja u šumama je velik. Republika Hrvatska ima neke od najprostranijih šuma u Europi koje pokrivaju gotovo polovicu kopnenog teritorija. Problem koji bi se mogao pojaviti primjenom mulja u šumarstvu jest povećanje razine nutrijenata u šumskim područjima što bi moglo imati posljedice na staništa i biljne vrste. Nakon uporabe

mulja, pristup šumskim površinama trebao bi biti spriječen u određenom periodu što bi moglo izazvati otpor stanovništva.

Proizvodnja energije temeljene na biomasi u Republici Hrvatskoj odvija se sporo. U većem dijelu Hrvatske drvo se koristi za ogrjev u kućama i zgradama. Ostali oblici grijanja na biomasu u kućanstvima i industriji zaostaju i većinom se koriste primarna goriva. Postoji proizvodnja malih razmjera biodizela iz proizvodnje sjemena uljane repice, ali kratkotrajna izmjena usjeva u Hrvatskoj se treba uspostaviti jer je u ranoj fazi razvoja. Većina energije proizvedene iz biomase dolazi iz spaljivanja drvnih ostataka od proizvodnje u drvnoj industriji. Hrvatski podaci za proizvodnju biodizela pokazuju da je 6 333,2 tona goriva proizvedeno u 2009. u tri postrojenja: (1) Biotron d.o.o. u Ozlju; (2) Vitrex Virovitica; (3) Biodizel Vukovar d.o.o.

Suspaljivanje mulja s komunalnim otpadom učestala je praksa u brojnim europskim zemljama, a u Hrvatskoj se o toj opciji razgovaralo samo u gradu Zagrebu te konačna odluka o tome nije donesena. Prema Nacrtu plana gospodarenja otpadom u gradu Zagrebu, spalionica komunalnog otpada treba se graditi na Žitnjaku u istočnom dijelu (Resnik) s odvojenim spalionicama za otpad i za mulj lociranim na mjestu postrojenja za obradu. Nedostatak su troškovi izgradnje dva objekta u kojem je samo jedan potreban plus udvostručenje poteškoća povezanim s utjecajem na okoliš i javnom percepcijom.

Za suspaljivanje u elektranama mulj se može dodati u gorivo kao „muljni kolač“ (23% suhe tvari), ali se povećava kalorična vrijednost ako se mulj suši na 50% suhe tvari ili više. Spaljivanjem u cementnim pećima zahtjeva sadržaj suhe tvari minimalno 85%. Ako postoje mogućnosti prethodnog sušenja mulja pomoću otpadne topline tada je isplativija opcija da se poveća sadržaj suhe tvari i stoga kalorična vrijednost. Suspaljivanje mulja u proizvodnji cementa u Hrvatskoj bilo bi moguće u tvornicama u Istri (Holcim u Koromačnom), Splitu (Cemex u Kaštelima) i Slavoniji (Nexe u Našicama). Postrojenja Holcima u Koromačnom omogućuju suspaljivanje mulja sa više od 90% suhe tvari. Trebalo bi napraviti prilagodbe u postrojenju u prostorima za isporuku, unutarnji transport i unos goriva, ali investicije su ograničene. Suspaljivanje mulja u cementnoj peći u Splitu nije realna opcija. Cemex je izrazio zabrinutost da bi suspaljivanje mulja moglo uzrokovati probleme s javnim mnijenjem. Suspaljivanje u Našicama je vrlo neizvjesno zbog tržišnog položaja tvrtke.

Obvezujući ciljevi postavljeni za europske zemlje zahtijevaju da se 20% od buduće potrošnje energije generira iz obnovljivih izvora poput biomase, vode i vjetra i solarne energije do

2020. S tim na umu, suspaljivanje mulja u termoelektranama na ugljen predstavlja potencijalno obećavajući pristup. Suspaljivanje mulja bilo bi moguće u elektrani na ugljen u Plominu (Istra), ali tu mogućnost treba ocijeniti na regionalnoj ili državnoj razini i u suradnji s relevantnim vlasnicima i upraviteljima.

3. ZAKLJUČAK

Pročišćavanjem otpadnih voda nastaje otpadni mulj koji zahtjeva dodatne procese obrade prije konačnog zbrinjavanja s ciljem sprječavanja štetnog utjecaja na okoliš. Obrada mulja je kompleksan i integriran proces čija priroda ovisi o njegovim karakteristikama te konačnoj namjeni.

Proces obrade otpadnog mulja najčešće započinje inicijalnim operacijama (mljevenje, prosijavanje, uklanjanje šljunka, izjednačivanje sastava) nakon čega slijedi zgušnjavanje mulja s ciljem redukcije njegovog volumena što olakšava daljnje procese njegove obrade. Ovisno o konačnoj namjeni otpadnog mulja, mogu se provoditi različiti procesi stabilizacije (aerobna i anaerobna digestija, stabilizacija vapnom, kompostiranje). Ukoliko su oni dobro provedeni i mulj zadovoljava kriterije određene *Pravilnikom o gospodarenju muljem iz uređaja za pročišćavanje otpadnih voda kada se mulj koristi u poljoprivredi*, može se primijeniti direktno na poljoprivrednom zemljištu. Nakon provedenih procesa stabilizacije, mulj se može podvrgnuti sušenju te termalnoj redukciji nakon čega se najčešće koristi kao dodatak cementu ili ciglama ili se odlaže na odlagališta.

Upotreba mulja u poljoprivredi je ekološki i ekonomski najprihvatljivije rješenje jer ne nastaje nova otpadna tvar, već se on vraća na početak svog nastanka čime je zadovoljen ciklus kruženja tvari. Mulj ima više korisnih, nego štetnih svojstava ukoliko se kontrolira njegov sastav prije odlaganja na tlo. 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.

Ukoliko je mulj nepovoljan za poljoprivredne opcije zbog sadržaja opasnih tvari, on se najčešće u većini zemalja EU spaljuje ili se odlaže na odlagališta. U većini se država odlaganje mulja na odlagališta smanjuje u skladu sa zahtjevima Direktive o odlagalištu otpada (koja zahtjeva smanjenje količine biorazgradivog otpada koji dospijeva na odlagališta te zabranjuje odlaganje tekućeg i neobrađenog otpada na odlagališta) te se kao alternativa koristi spaljivanje mulja. Veliki problem kod spaljivanja mulja jest nastajanje nusprodukta izgaranja (opasni plinovi, pepeo, lebdeći pepeo) koji su štetni i za zdravlje ljudi i za okoliš te se kao opasan otpad moraju odložiti na ekološki prihvatljiv način.

Obrada otpadnog mulja je tehnologija koja se još uvijek razvija te u Republici Hrvatskoj, a i drugim zemljama Europske unije, nije cjelovito riješen problem njegovog zbrinjavanja. Problem obrade i zbrinjavanja mulja ne može se rješavati na razini lokacije jednog UPOV-a, već na razini velikih prostornih cjelina (županija i države). Zbog različitih tehnoloških mogućnosti obrade i zbrinjavanja mulja i mogućih negativnih utjecaja na okoliš, znanstvena i stručna javnost trebala bi postići konsenzus na razini države o tome koja su rješenja prihvatljiva za Hrvatsku, i na temelju tog konsenzusa izraditi plan gospodarenja muljem. Od rješenja koja se čine prihvatljivim je svakako ponovno korištenje mulja i njegovih nusproizvoda za različite namjene, odnosno sva ona rješenja u kojima se više kriterijski postižu optimalni rezultati.

4. LITERATURA

Glancer-Šoljan, M., Landeka Dragičević, T., Šoljan, V., Ban, S. (2001) Biološka obrada otpadnih voda – Interna skripta, Kugler d.o.o., Zagreb.

Hrvatske vode (2014) Priprema tehničko-ekonomske studije „Obrada i zbrinjavanje otpada i mulja generiranog pročišćavanjem otpadnih voda na javnim sustavima odvodnje otpadnih voda gradova i općina u hrvatskim županijama“.

Metcalf & Eddy (2003) Wastewater Engineering: Treatment and Reuse. 4.izd., McGraw-Hill Inc., New York, USA.

Pravilnik o gospodarenju muljem iz uređaja za pročišćavanje otpadnih voda kada se mulj koristi u poljoprivredi (2008) *Narodne novine* **38**, Zagreb (NN 38/08).

Pravilnik o načinima i uvjetima odlaganja otpada, kategorijama i uvjetima rada za odlagališta otpada (2007) *Narodne novine* **117**, Zagreb (NN/117/07).

Tiehm, A., Nickel, K., Zellhorn, M.M., Neis, U. (2001) Ultrasound waste activated sludge disintegration for improving anaerobic stabilization, *Water Res.* **35**, 2003–2009.