

# Obrada i zbrinjavanje mulja s uređaja za pročišćavanje otpadnih voda

---

**Banić, Ivan**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2017**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **Polytechnic Pula - College of Applied Sciences / Politehnika Pula - Visoka tehničko-poslovna škola s pravom javnosti**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:212:908092>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-02-24**



*Repository / Repozitorij:*

[Digital repository of Istrian University of applied sciences](#)



zir.nsk.hr

ZAVRŠNI RAD

**OBRADA I ZBRINJAVANJE MULJA S  
UREĐAJA ZA PROČIŠĆAVANJE  
OTPADNIH VODA**

Ivan Banić

Pula, svibanj 2017.

*Zahvala:*

*Zahvaljujem mentoru v.pred.mr.sc. Radovanu Jokiću na stručnoj pomoći tijekom izrade završnog rada.*

*Posebna zahvala mojoj supruzi, djeci, obitelji i prijateljima na pruženoj potpori tijekom studiranja.*

*Ivan Banić*

## **IZJAVA O SAMOSTALNOSTI IZRADE ZAVRŠNOG RADA**

Izjavljujem da sam ovaj završni rad – Obrada i zbrinjavanje mulja s uređaja za pročišćavanje otpadnih voda izradio samostalno pod vodstvom mentora v.pred.mr.sc. Radovana Jokića, primjenjujući metodologiju znanstveno - istraživačkog rada i koristeći dostupnu literaturu.

Tuđe spoznaje, izraze, stavove, zaključke, teorije i zakonitosti koje sam neposredno ili citirajući naveo u završnom radu, na uobičajen, standardiziran način, povezane su korištenjem bibliografskih jedinica. Rad je pisan u duhu hrvatskog jezika.

Ivan Banić

---

**AUTOR:**

Ime i prezime: Ivan Banić

Datum i mjesto rođenja: 23.01.1986., Pula, Hrvatska

MB studenta: 0807

**ZAVRŠNI RAD:**

Kolegij: Elektrotehnika

Naslov: Obrada i zbrinjavanje mulja s uređaja za pročišćavanje otpadnih voda

Mentor: v.pred.mr.sc. Radovan Jokić

Godina: 2017.

# SAŽETAK

Otpad je posljedica ljudske aktivnosti. Osnovni problem stoji u činjenici da otpadne tvari zagađuju okoliš. Iz godine u godinu proizvodnja otpada nastalog ljudskim djelovanjem postaje sve veća. Kako u svijetu, tako i u Hrvatskoj sve je prisutnija problematika adekvatnog zbrinjavanja otpada. Najveće brige vezane su uz zbrinjavanje komunalnog otpada kojeg se u količinskom smislu najviše generira. Određene količine otpada nastaju u gotovo svim oblicima ljudskog djelovanja. Značajne količine otpada nastaju i prilikom pozitivnog djelovanja čovjeka na okoliš, u konkretnom slučaju kroz pročišćavanje otpadnih voda.

Pročišćavanjem otpadnih voda uklanjaju se neželjeni elementi iz otpadne vode, a mulj je neizbježan nusproizvod. Obrada i trajno zbrinjavanje mulja koji nastaje tijekom pročišćavanja otpadnih voda glavni je problem u djelatnostima javne odvodnje. Učinak pročišćavanja otpadnih voda ne mjeri se samo kakvoćom pročišćene otpadne vode nego i učinkovitošću obrade mulja koji se izdvoji tijekom pročišćavanja. Mulj koji se generira na uređajima za pročišćavanje otpadnih voda nastaje kao posljedica akumulacije krute tvari tijekom fizikalnih, bioloških i kemijskih procesa. Mulj je složenog sastava i predstavlja mješavinu organskih i anorganskih tvari raspršenih u vodi, a može sadržavati i patogene mikroorganizme, parazite, viruse te brojne potencijalno toksične elemente i spojeve.

Obrada i zbrinjavanje mulja je sastavni dio 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 inherentni trošak pročišćavanja otpadnih voda. Odabir odgovarajućeg rješenja i lokacije zbrinjavanja mulja ovisi o nekoliko faktora, uključujući ali ne i jedino: kvalitetu i količinu mulja nastalog u uređaju za pročišćavanje otpadnih voda, zakonsku regulativu, lokalne uvjete kao i troškove ulaganja i rada, te održavanja.

Nažalost, postojeće europsko zakonodavstvo vezano uz obradu, zbrinjavanje i recikliranje mulja usmjereno je prvenstveno na korištenje mulja u poljoprivredi. Trenutno ostali načini korištenja ili rješenja zbrinjavanja mulja općenito potpadaju pod općenitije zakone o gospodarenju otpadom i upravljanju vodama, što kod nas

nije slučaj. Mulj iz otpadnih voda nije bezvrijedan materijal, jer sadrži oko 70 % organske tvari čija se energijska vrijednost može iskoristiti, odnosno oporabiti na razne načine, a ne samo u poljoprivredi. Upravo je energetska uporaba mulja fokus ovoga rada s posebnim naglaskom na principe održivog razvoja.

## SUMMARY

Waste is an inevitable consequence of human activity. The basic problem lies in the fact that some waste materials pollute the environment. Year after year the production of waste generated by human activity becomes alarming. Both in the world and in Croatia itself, the issue of adequate waste management is more and more present. The biggest concern is related to the disposal of municipal waste, being that the most generated in quantitative terms. Certain quantities of waste are generated in almost each form of human activity. Significant amounts of waste are generated even in the case of positive human influence on the environment, for example by wastewater treatment.

By wastewater treatment, unwanted elements are removed from wastewater and the inevitable byproduct is sludge - wastewater treatment waste. Treatment and permanent disposal of sludge that is generated during wastewater treatment process is a major problem at wastewater treatment plants. The effect of wastewater treatment is not only measurable by quality of water that was treated, but also by treatment efficiency of sludge that was generated during water treatment process. The sludge generated on wastewater treatment plants is the result of accumulation of solids during physical (settling), biological (microbiological activity) and chemical processes (coagulation and flocculation). The sludge is of complex composition and represents a mixture of organic and inorganic substances dispersed in water and can also contain pathogenic microorganisms, parasites, viruses and numerous potentially toxic elements and compounds.

Sludge treatment and its disposal is an indivisible element of wastewater treatment. For this reason, a solution for the treatment and disposal of generated sludge has to be included in the development of wastewater treatment solutions, and the costs of such treatment and disposal are an inherent cost of wastewater treatment. The choice of the appropriate solution, together with the site for sludge disposal, depends on several factors, including but not limited to: the quality and quantity of sludge generated at the wastewater treatment plant, regulatory aspects, local conditions, as well as investment and labor costs and maintenance costs.



Unfortunately, the existing European legislation on treatment, disposal and recycling of sludge is primarily directed at the use of sludge in agriculture. Currently, other ways of sludge reuse or disposal fall within more generic laws on waste management and water management, which is not our case. Sludge from wastewater is not completely worthless as it contains about 70% of organic matter whose energy value could be used or recovered in a variety of ways, not only for agriculture purposes. The focus of this work is precisely the energy recovery from sludge with a special emphasis on sustainable development principles.

# SADRŽAJ

|   |    |
|---|----|
| 1. UVOD.....  | 12 |
| 1.1. Cilj i svrha.....                                      | 12 |
| 1.2. Metode istraživanja.....                               | 13 |
| 2. OTPADNE VODE.....  | 14 |
| 2.1. Sanitarne otpadne vode.....                            | 15 |
| 2.2. Tehnološke otpadne vode.....                           | 15 |
| 2.3. Oborinske otpadne vode.....                            | 15 |
| 3. SVOJSTVA OTPADNIH VODA.....                              | 16 |
| 3.1. Krupni (površinski) otpaci.....                        | 16 |
| 3.2. Krutine.....   | 16 |
| 3.3. Mikroorganizmi.....                                    | 17 |
| 3.3.1. Mikroorganizmi razlagači.....                        | 17 |
| 3.3.2. Mikroorganizmi iz probavnog trakta ljudi i životinja | 18 |
| 3.4. Hranjive soli.....                                     | 18 |
| 3.5. Postojane tvari.....                                   | 19 |
| 3.5.1. Mineralna ulja.....                                  | 19 |
| 3.5.2. Pesticidi.....                                       | 19 |
| 3.5.3. Deterdženti.....                                     | 20 |
| 3.5.4. Plastične tvari.....                                 | 20 |
| 3.6. Otrovne tvari.....                                     | 20 |
| 3.7. Radioaktivne tvari.....                                | 21 |
| 3.8. Otopljeni plinovi.....                                 | 21 |
| 3.9. Povišena temperature vode.....                         | 21 |
| 4. PROČIŠĆAVANJE OTPADNIH VODA.....                         | 23 |
| 4.1. Stupnjevi pročišćavanja otpadnih voda.....             | 23 |
| 4.1.1. Prethodno pročišćavanje.....                         | 23 |
| 4.1.2. Prvi stupanj pročišćavanja.....                      | 24 |
| 4.1.3. Drugi stupanj pročišćavanja.....                     | 25 |
| 4.1.4. Treći stupanj pročišćavanja.....                     | 25 |
| 5. NASTANAK I VRSTE MULJEVA.....                            | 27 |
| 5.1. Primarni mulj.....                                     | 27 |

|   |    |
|---|----|
| 5.2. Sekundarni mulj.....                           | 27 |
| 5.3. Tercijarni mulj.....                           | 28 |
| 5.4. Aktivni mulj.....                              | 28 |
| 6. SOJSTVA SIROVOG MULJA.....                       | 30 |
| 6.1. Fizikalna svojstva.....                        | 30 |
| 6.1.1. Taloživost.....                              | 30 |
| 6.1.2. Stišljivost.....                             | 30 |
| 6.1.3. Granulometrijski sastav.....                 | 30 |
| 6.1.4. Vlaga.....                                   | 31 |
| 6.1.5. Viskoznost.....                              | 31 |
| 6.1.6. Gustoća.....                                 | 31 |
| 6.1.7. Toplinska vrijednost.....                    | 31 |
| 6.2. Kemijska svojstva.....                         | 32 |
| 6.2.1. pH vrijednost.....                           | 32 |
| 6.2.2. Količina anorganskih (mineralnih) tvari..... | 32 |
| 6.3. Mikrobiološka svojstva.....                    | 32 |
| 7. ZAKONSKA REGULATIVA.....                         | 33 |
| 8. OBRADA MULJA.....                                | 35 |
| 8.1. Zgušnjavanje mulja.....                        | 36 |
| 8.2. Stabilizacija mulja.....                       | 37 |
| 8.3. Dehidracija mulja.....                         | 38 |
| 8.4. Dodatni postupci obrade mulja.....             | 39 |
| 8.4.1. Kondicioniranje mulja.....                   | 39 |
| 8.4.2. Sušenje mulja.....                           | 40 |
| 8.4.2.1. Termalno sušenje.....                      | 40 |
| 8.4.2.2. Solarno sušenje.....                       | 40 |
| 8.4.2.3. Metoda mikrovalnog sušenja – piroliza....  | 41 |
| 8.4.2.4. Termalna pasterizacija.....                | 42 |
| 8.4.3. Ostakljivanje (vetrifikacija mulja).....     | 42 |
| 8.4.4. Dezinfekcija mulja.....                      | 43 |
| 8.4.5. Kompostiranje.....                           | 43 |
| 8.4.6. Solidifikacija.....                          | 44 |
| 9. OPORABA I KONAČNO ZBRINJAVANJE MULJA.....        | 45 |
| 9.1. Bioplin iz anaerobne digestije.....            | 46 |

|  |    |
|--|----|
| 9.2. Plinifikacija i piroliza.....   | 47 |
| 9.3. Spaljivanje i suspaljivanje mulja.....  | 47 |
| 9.4. Primjena u poljoprivredi i šumarstvu.....   | 51 |
| 9.4.1. Poljoprivredna uporaba.....   | 51 |
| 9.4.2. Npoljoprivredna uporaba.....  | 54 |
| 9.5. Kompostiranje s organskom frakcijom krutog komunalnog<br>otpada ili stočnog otpada.....         | 55 |
| 9.6. Primjena u građevinskoj industriji.....   | 56 |
| 10. MBR UREĐAJ ZA PROČIŠĆAVANJE OTPADNIH VODA VRSAR  | 58 |
| 10.1. Općenito o membranskoj tehnologiji pročišćavanja<br>otpadnih voda.....                         | 59 |
| 10.2. Postojeće stanje odvodnje i pročišćavanja otpadnih voda<br>na području aglomeracije Vrsar..... | 60 |
| 10.3. Količine otpadnih voda.....  | 61 |
| 10.4. Mjerodavne veličine opterećenja.....   | 62 |
| 10.5. Zahvat u prostoru.....   | 63 |
| 10.6. Tehnološki opis uređaja.....   | 64 |
| 10.6.1. Mehanička predobrada onečišćene vode.....  | 65 |
| 10.6.1.1. Ulazni kanal.....  | 65 |
| 10.6.1.2. Ulazno sito.....   | 65 |
| 10.6.1.3. Aerirani pjeskolov i mastolov.....   | 65 |
| 10.6.1.4. Mikrosito.....   | 65 |
| 10.6.1.5. Mjerno okno.....   | 66 |
| 10.6.1.6. Egalizacijski bazen.....   | 66 |
| 10.6.2. Biološka obrada otpadne vode.....  | 66 |
| 10.6.2.1. Aeracijski bazen.....  | 67 |
| 10.6.2.2. Aeracijski sustav.....   | 68 |
| 10.6.2.3. Membrane.....  | 68 |
| 10.6.3. Pročišćena voda.....   | 68 |
| 10.6.4. Obrada zraka.....  | 68 |
| 10.6.5. Obrada biološkog viška mulja.....  | 70 |
| 10.6.5.1. Zgušnjavanje mulja.....  | 70 |
| 10.6.5.2. Dehidracija mulja.....   | 70 |
| 10.6.5.3. Stabilizacija mulja.....   | 70 |

|  |    |
|--|----|
| 10.7. Zbrinjavanje obrađenog mulja i otpada..... | 70 |
| 10.8. Napajanje električnom energijom.....       | 71 |
| 10.9. Troškovi izgradnje.....                    | 71 |
| 11. ZAKLJUČAK.....                               | 72 |
| 12. LITERATURA I INTERNET IZVORI.....            | 73 |
| 13. POPIS SLIKA.....                             | 75 |
| 14. POPIS TABLICA.....                           | 76 |

# 1. UVOD

Pročišćavanje otpadnih voda je proces smanjenja onečišćenja do onih razina s kojima pročišćene otpadne vode ispuštene u prirodne prijemnike<sup>1</sup> postaju neopasne za život i ljudsko zdravlje i ne uzrokuju neželjene promjene u okolišu, te su u skladu sa važećim pravilnicima o graničnim vrijednostima emisija otpadnih voda. U postupcima pročišćavanja otpadnih voda kao nusprodukt pojavljuje se mulj. Mulj predstavlja mješavinu organskih<sup>2</sup> i anorganskih<sup>3</sup> tvari raspršenih u vodi, a može sadržavati i parazite, patogene mikroorganizme, viruse te brojne potencijalno toksične elemente i spojeve. Pročišćena otpadna voda ispušta se u prirodni prijemnik, a izdvojeni mulj potrebno je podvrgnuti daljnjoj obradi i zbrinjavanju tako da ne predstavlja opasnost za okoliš i zdravlje ljudi i to sve na ekološki, ekonomski prihvatljiv i održiv način. Održivi pristup gospodarenja muljem podrazumijeva, osim odgovarajuće tehnologije obrade mulja, njegovo ponovno korištenje kad god je to moguće. Činjenica je da do danas u Hrvatskoj nije cjelovito riješen problem konačne obrade mulja, niti je to uređeno propisima, uputama ili smjernicama. Kako gradnja uređaja za pročišćavanje u Hrvatskoj postaje sve intenzivnija, obrada mulja opterećivat će rad komunalnih društava koji se bave odvodnjom i pročišćavanjem otpadnih voda. Tako je ovim radom obrađena problematika obrade i zbrinjavanja mulja sa posebnim naglaskom na ponovnu uporabu istoga.

## 1.1. Cilj i svrha

Cilj rada je izrada analize metoda uporabe mulja iz otpadnih voda. Svrha rada je istražiti mogućnosti održivog gospodarenja muljem u Republici Hrvatskoj.

---

<sup>1</sup> Prirodni prijemnici mogu biti mora, jezera, vodotoci i podzemlje.

<sup>2</sup> Organske tvari su svi spojevi ugljika (osim karbida, ugljikovih oksida, ugljične kiseline i njenih soli).

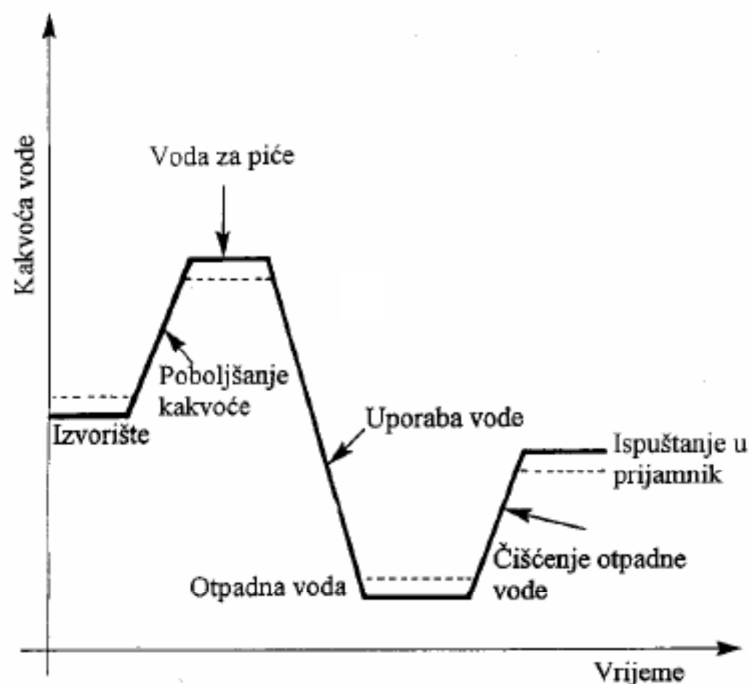
<sup>3</sup> Anorganske tvari su svi spojevi bez ugljika.

## **1.2. Metode istraživanja**

Kako bi se što bolje razradila tema korištene su deskriptivne, analitičke, sintetičke, komparativne, indukcijske, dedukcijske, istraživačke i računalne metode, analize slučaja, statističke metode, grafičke metode i deskripcija.

## 2. OTPADNE VODE

Otpadne vode su sve vode koje su upotrebom na bilo koji način promijenile svoj prvobitni sastav, odnosno svoje fizikalne, kemijske i biološke karakteristike. Otpadne vode su sve onečišćene tehnološke, kućanske, oborinske i druge vode. Otpadne vode također sudjeluju u hidrološkom ciklusu, odnosno, voda se nakon upotrebe kanalizacijskim sustavom odvodi na pročišćavanje i vraća u prirodni okoliš. Proces promjene kakvoće vode uporabom prikazan je na slici 1.



**Slika 1.** Promjena kakvoće vode uporabom

Izvor: Tušar, B.: *Pročišćavanje otpadnih voda*, Kigen d.o.o. i Geotehnički fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 2009. g.

S obzirom na mjesto nastanka komunalne otpadne vode mogu se podijeliti na:

- sanitarne,
- tehnološke i
- oborinske.



## **2.1. Sanitarne otpadne vode**

Sanitarne otpadne vode nastaju uporabom sanitarnih trošila vode u kućanstvu, ugostiteljstvu, objektima javne namjene, objektima industrijskih i drugih proizvodnih pogona koji također imaju izgrađene sanitarne čvorove za osoblje.

## **2.2. Tehnološke otpadne vode**

Tehnološke otpadne vode međusobno se razlikuju ovisno o vrsti industrije, odnosno tehnološkog procesa kojim su nastale. U osnovi se ove vode mogu podijeliti u dvije skupine: biološki razgradive (kompatibilne) i biološki nerazgradive (nekompatibilne) vode. Biološki razgradive vode se mogu miješati sa sanitarnim otpadnim vodama i kanalizirati u istim sustavom. U ovu skupinu najčešće spadaju vode prehrambene industrije jer sadrže otpadni materijal prehrambenih artikala. Biološki nerazgradive vode potrebno je prije miješanja s gradskim otpadnim vodama prethodno pročistiti na mjestu njihovog nastanka. Pročišćavanje se obavlja zbog uklanjanja eksplozivnih, korozivnih i zapaljivih tvari, uklanjanja inhibitora koji sprječavaju rad uređaja za pročišćavanje otpadnih voda i radi kontrole toksičnih tvari koje sprečavaju biološku razgradnju.

## **2.3. Oborinske otpadne vode**

Oborinske vode nastaju od oborina koje se više ili manje onečišćuju u doticaju s niskim slojevima atmosfere, površinama tla, krovovima i sl. te ih je potrebno prihvatiti u sustav kanalizacije.

## 3. SVOJSTVA OTPADNIH VODA

Svojstva otpadnih voda bitno ovise o njihovom porijeklu, a kao glavni pokazatelji svojstava otpadnih voda ističu se:

- krupni (površinski) otpaci,
- krutine,
- mikroorganizmi,
- hranjive soli,
- postojane tvari,
- otrovne tvari,
- radioaktivne tvari,
- otopljeni plinovi,
- povišena temperatura vode.

### 3.1. Krupni (površinski) otpaci

U krupne (površinske) otpatke ubrajamo krpe, papir, ostatke hrane i ostale krupnije organske ili sintetičke otpatke. Za njihovu razgradnju troši se kisik, a posljedično tome, smanjuje se i količina otopljenog kisika u vodi. U odnosu na krutine, ovi otpaci nemaju većeg ekološkog značaja.

### 3.2. Krutine

Krutine su tvari organskog i anorganskog (mineralnog) porijekla koje se u otpadnim vodama nalaze u:

- otopljenom stanju, dimenzija čestica do 1 nm,
- koloidnom stanju, dimenzije čestica od 1 nm do 1  $\mu\text{m}$ ,
- lebdećem stanju, dimenzije čestica preko 1  $\mu\text{m}$  (za dimenzije čestica do 10  $\mu\text{m}$  krutine su netaložive, a preko 10  $\mu\text{m}$  su taložive).

Mutnoća vode ukazuje na prisutnost koloida<sup>4</sup> i lebdećih tvari, a promjena boje vode na prisutnost otopljenih tvari. Naime, povećana mutnoća vode sprječava prodiranje svjetlosti čime se usporava proces fotosinteze<sup>5</sup>, dolazi do smanjenja količine kisika u većim dubinama, a samim time i povećanja zone razgradnje organske tvari što za posljedicu ima stvaranje plinova neugodnih mirisa. Osim navedenog, miris u vodi može potjecati i od unošenja nekih kemijskih spojeva, osobito prilikom ispuštanja industrijskih otpadnih voda.

### 3.3. Mikroorganizmi

Mikroorganizmi (virusi, rekreacije, bakterije, plijesni, kvasci, alge, praživotinje) su jednostanični i višestanični organizmi koji se nalaze u svim otpadnim vodama. Za procese pročišćavanja otpadnih voda od naročitog su značaja slijedeće dvije skupine mikroorganizama:

- mikroorganizmi razlagači (saprofagni mikroorganizmi),
- mikroorganizmi iz probavnog trakta ljudi i životinja (fekalni mikroorganizmi).

#### 3.3.1. Mikroorganizmi razlagači

Biološki razgrađuju organsku tvar do anorganske pri čemu troše otopljeni kisik, a kao posljedica toga, može se pojaviti neželjeni manjak kisika, odnosno anaerobno stanje. Prema optimalnoj temperaturi,  $T$ , za razvoj, saprofagni mikroorganizmi dijele se na:

- kriofilne, s optimalnom temperaturom,  $T = 0$  do  $5$  oC,
- mezofilne, s optimalnom temperaturom,  $T = 20$  do  $40$  oC,
- termofilne, s optimalnom temperaturom,  $T = 55$  do  $60$  oC.

---

<sup>4</sup> Koloidi su smjese kod kojih disperzne čestice imaju veličinu  $1 - 200$  nm.

<sup>5</sup> Fotosinteza je proces u kojem se energija sunčeva zračenja pretvara u kemijsku pohranjenu u organskim molekulama. Osim u biljkama, fotosinteza se obavlja i u nekim bakterijama i algama, dakle organizmima koji u svojim stanicama imaju klorofil i obično su zelene boje.

### 3.3.2. Mikroorganizmi iz probavnog trakta ljudi i životinja

Mikroorganizmi iz probavnog trakta ljudi i životinja su temeljni pokazatelj kućanskih otpadnih voda, ali ih ima i u industrijskim otpadnim vodama. Među ovom skupinom mikroorganizama su posebno značajni patogeni mikroorganizmi koji mogu biti uzročnici raznih oboljenja. Bolesti se mogu prenijeti kupanjem u nečistoj vodi, a posebno konzumiranjem proizvoda iz vode kao što su termički neobrađeni školjkaši i sl. Pokazatelji zagađenja ovim mikroorganizmima obično su bakterije normalne crijevne flore ljudi i životinja – koliformne bakterije, određene kao najvjerojatniji broj bakterija (NBB). Kada fekalni mikroorganizmi dopiju u prijemnik s drugačijim uvjetima za život (primjerice temperatura, koncentracija vodikovih iona te ultraljubičasto zračenje), oni postepeno izumiru. Vrijeme izumiranja nije jednako za sve mikroorganizme, a prvenstveno ovisi o sadržaju otopljenih (hranjivih) soli u vodi.

### 3.4. Hranjive soli

Prilikom ispuštanja otpadnih voda u prirodne ili umjetne prijemnike dolazi do procesa razgradnje organske tvari, a kao produkt toga nastaju hranjive soli. Kao najvažnije ističu se soli dušika i fosfora koje sudjeluju u sintezi bjelančevina, a samim time potiču i razvoj planktona (lebdećih mikroorganizama čije je kretanje ovisno o strujanju vode) te zelenih biljaka.

Slijedom navedenog, ispuštanje većih količina otpadnih voda bogatih organskim tvarima u vodne sustave sa slabijom izmjenom vode (jezera, akumulacije, morski zaljevi) dovodi do povećanja količine hranjivih soli u ekosustavu što u konačnici može dovesti do prekomjernog rasta planktona i cvjetanja otrovnih algi, odnosno do pojave eutrofikacije<sup>6</sup> sustava. Iako je povećana proizvodnja biomase općenito korisna za razvoj ribarstva, ona je ujedno neprikladna za vode namijenjene ljudskom korištenju u bilo kojem obliku.

---

<sup>6</sup> Eutrofikacija je proces obogaćivanja vode hranjivim tvarima, osobito spojevima dušika i fosfora, koje ubrzavaju rast algi i viših oblika biljaka.

## **3.5. Postojane tvari**

Postojane tvari su organske i sintetičke biološki nerazgradive ili teško razgradive tvari. U razdoblju dok traje njihova razgradnja, nepovoljno djeluju na vodeni život, a mogu se i gomilati u organizmu. Od ovih tvari u otpadnim vodama od primarnog interesa su:

- mineralna ulja i njihovi derivati (naročito nafta i naftni derivati),
- pesticidi,
- detergentski,
- plastične tvari.

### **3.5.1. Mineralna ulja**

Mineralna ulja dospijevaju u vodne sustave zajedno s otpadnim vodama. Na vodnoj površini stvaraju tanku prevlaku što zbog ometanja otapanja kisika iz zraka smanjuje količinu otopljenog kisika u vodi te isključuje mogućnost korištenja vode za rekreaciju. U toplijim područjima Zemlje mineralna su ulja biološki razgradiva (uz visoku potrošnju kisika), dok je u hladnijim predjelima razgradnja iznimno spora. Mineralna ulja su vrlo otrovna za žive organizme u vodi i kod koncentracije ispod 1 mg/l.

### **3.5.2. Pesticidi**

Pesticidi dospijevaju u vodu ispiranjem poljoprivrednih površina na kojima se koriste za zaštitu bilja, ali ih nerijetko ima i u industrijskim otpadnim vodama. Po pitanju onečišćenja voda među najopasnije pesticide ubrajaju se klorirani ugljikovodici (dihlor-difenil-trihloretan (DDT), dieldrin, lindan, endrin) koji se nakupljaju u masnim tkivima. Dodatno, DDT ometa fotosintezu jednostaničnih algi. Zbog toga je danas proizvodnja i primjena ove vrste pesticida gotovo u potpunosti zabranjena.

### **3.5.3. Deterdženti**

Deterdžente nalazimo u kućanskim i industrijskim otpadnim vodama. Njima se u vodne sustave unose znatne količine fosfata, što može izazvati eutrofikaciju. Postojanost deterdženata ovisi o njihovoj molekularnoj strukturi, a pri tome razlikujemo tvrde i meke deterdžente. Tvrdi deterdženti (alkilbenzensulfonati tetramerne vrste) su praktički nerazgradivi. Na vodnoj površini ovi deterdženti stvaraju pjenu i time smanjuju otapanje kisika iz zraka. Meki deterdženti (linearni alkilsulfonati) se lakše razgrađuju, ali su dva do četiri puta otrovniji od tvrdih deterdženata.

### **3.5.4. Plastične tvari**

Plastične tvari se nalaze u kućanskim i industrijskim otpadnim vodama u obliku konca, mrežica i vrećica.

### **3.6. Otrovnne tvari**

Tvari koje prema svojim svojstvima i količinama uzrokuju bolesti živih organizama, kancerogene i genetičke promjene, nenormalno ponašanje, fiziološke smetnje, fizičke deformacije i smrt, nazivaju se otrovnim tvarima. U otpadnim (prvenstveno industrijskim) vodama opasne tvari predstavljaju:

- teški metali (živa, kadmij, olovo, nikal, cink, srebro, selen, mangan, krom, bakar, željezo),
- otrovni spojevi (cijanidi, kromati, fluoridi).

Iako su neke od ovih tvari u manjim količinama potrebne za razvoj organizma, u većim količinama postaju otrovne tvari s vrlo nepovoljnim posljedicama.

### **3.7. Radioaktivne tvari**

Radioaktivne tvari u vodi mogu biti prirodnog i umjetnog porijekla:

- prirodni izvori zračenja su radioaktivni elementi litosfere i svemirska zračenja,
- umjetni izvori zračenja su radioaktivne tvari koje se nalaze u industrijskim otpadnim vodama, prvenstveno vodama nuklearnih elektrana, a potom i vodama iz industrijskih pogona u kojima se koriste radionukleidi.

Povećano zračenje može uzrokovati genetičke promjene, sterilnost, kancerogene bolesti i smrt živih organizama. Osim toga, radioaktivne tvari ulaze u biokemijske procese, koncentrirajući se oko nižih prema višim organizmima prehrambenog lanca, te mogu biti vrlo opasne za život čovjeka.

### **3.8. Otopljeni plinovi**

Od otopljenih plinova koji su u otpadnoj vodi prisutni u različitim koncentracijama, najvažniji je kisik. Bitan je za život velikom broju organizama, a u otpadne vode dopijeva obnavljanjem iz zraka (dodirom zraka i slobodne vodne površine otpadnih voda), procesom fotosinteze te putem vodoopskrbne vode.

Uz kisik, otpadne vode često sadrže i ugljični dioksid koji u vodu dopijeva otapanjem iz zraka i razgradnjom organske tvari te sumporovodik koji nastaje razgradnjom organskih i anorganskih spojeva.

### **3.9. Povišena temperatura vode**

Posljedica povišene temperature vode je ispuštanje rashladnih voda industrije, osobito termoelektrana i nuklearnih elektrana. Povišena temperatura vode ubrzava metabolizam živih organizama što uzrokuje bržu potrošnju kisika, a samim time i veći manjak. Dolazi do promjene životnih uvjeta u staništu, organizmi koji trebaju više kisika napuštaju stanište ili izumiru te počinje anaerobna razgradnja mrtve organske tvari. U standardnim prilikama, glavninu onečišćenja otpadnih voda (prvenstveno kućanskih) predstavljaju organske tvari za čiju se razgradnju troši otopljeni kisik iz

vode. Prema tome, stupanj zagađenja otpadnih voda organskom tvari u izravnoj je vezi s količinom kisika potrebnom za oksidaciju, odnosno razgradnju te tvari.

Količina kisika potrebna da se razgradi biološki razgradiva organska tvar u vodi posredstvom aerobnih mikroorganizama naziva se biokemijska potrošnja kisika (BPK).

Ukupna biokemijska potrošnja kisika (BPK<sub>ukup</sub>) je količina kisika potrebna za potpunu razgradnju organske tvari.

Radi kvantificiranja opterećenja otpadnih voda organskom tvari za praktične je potrebe uveden pokazatelj petodnevnog biokemijske potrošnje kisika (BPK<sub>5</sub>).

BPK<sub>5</sub> određuje se tako da se relativno mala količina otpadne vode razrijedi u znatno većoj količini destilirane vode bogate otopljenim kisikom. Ta se smjesa stavi u bocu u kojoj nema zraka i drži u njoj 5 dana na temperaturi od 20 °C. Nakon toga se odredi koliko je otopljenog kisika potrošeno te se ta količina izrazi u miligramima kisika na litru otopljene vode. Orijehtacijski, za kućanske otpadne vode BPK<sub>5</sub> iznosi do 400 mg/l.

Kod ispitivanja svojstava otpadnih voda, naročito industrijskih, uobičajeno je određivanje i kemijske potrošnje kisika (KPK). To je ukupna količina kisika koja se potroši na razgradnju organske tvari, a ekvivalentna je koncentraciji oksidansa (kalijevog bikromata ili kalijevog permanganata). Ispitivanja su ukazala da je:

$BPK_{ukup} = (0 \text{ do } 0,93) \text{ KPK}$ , a  $BPK_5 = (0,0 \text{ do } 1,0) \text{ BPK}_{ukup}$ .

Organske tvari kod kojih se BPK<sub>ukup</sub> malo razlikuje od KPK, a BPK<sub>5</sub> od BPK<sub>ukup</sub>, lako oksidiraju. U suprotnome, tvari s izrazito različitim vrijednostima BPK i KPK, a naročito BPK<sub>5</sub> i BPK<sub>ukup</sub>, teško oksidiraju.

Za industrijske otpadne vode koje su onečišćene organskom tvari uobičajeno je BPK<sub>5</sub> izražavati brojem tzv. ekvivalent stanovnika (ES), tj. usporedbom BPK<sub>5</sub> industrijske otpadne vode s BPK<sub>5</sub> otpadne vode po stanovniku. On se dobije dijeljenjem ukupnog BPK<sub>5</sub> s vrijednošću od 60 [g O<sub>2</sub> / stanovnik dan] (što uz prethodno navedeni BPK<sub>5</sub> za kućanske otpadne vode od 400 [mg/l] odgovara količini otpadne vode od 150 [l/stanovnik dan]).



## **4. PROČIŠĆAVANJE OTPADNIH VODA**

Pročišćavanje otpadnih voda je proces smanjivanja onečišćenja do onih količina ili koncentracija s kojima pročišćene otpadne vode ispuštene u prijemnike postaju neopasne za život i ljudsko zdravlje i ne uzrokuju neželjne promijene u okolišu. Otpadne vode prije ispuštanja u prijemnike uvijek je neophodno pročistiti, kako bi se iz njih do određenog stupnja uklonile plivajuće, lebdeće i otopljene tvari, dakle onečišćenja koja su prisutna i koja bitno karakteriziraju svojstva otpadnih voda.

### **4.1. Stupnjevi pročišćavanja otpadnih voda**

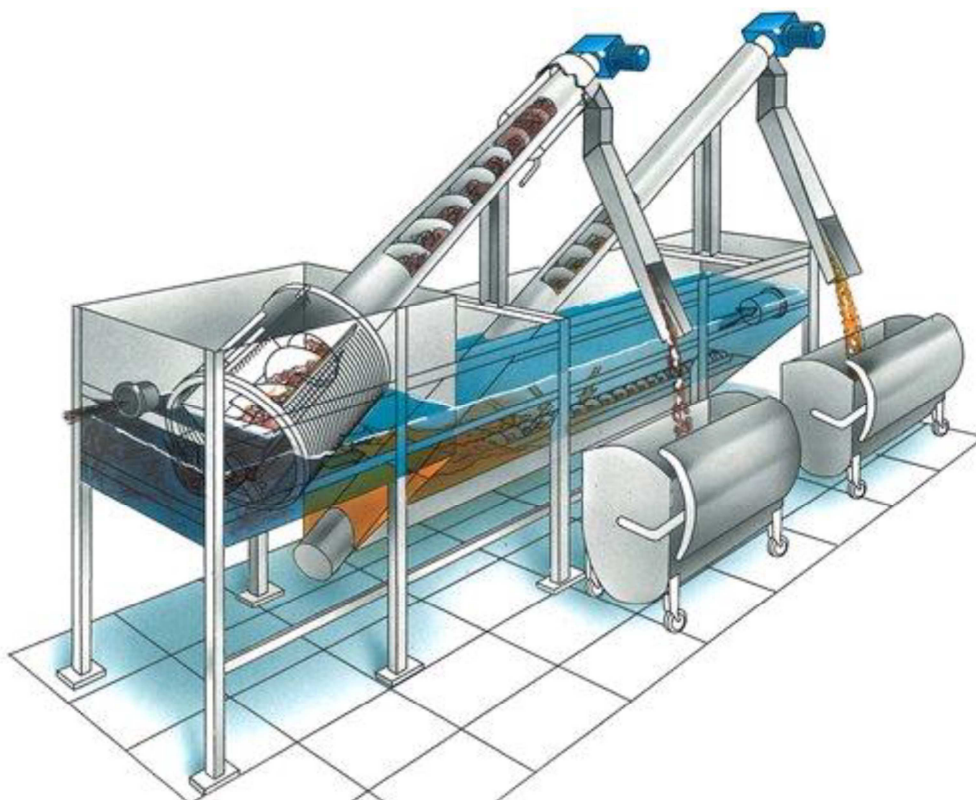
Uređaji za pročišćavanje otpadnih voda (UPOV) su vodne građevine s postrojenjima pomoću kojih se otpadne vode iz sustava javne odvodnje pročišćavaju prije njihovog upuštanja u prirodni prijemnik.

Prema stupnju pročišćavanja uređaji se dijele na:

1. uređaje prethodnog stupnja pročišćavanja;
2. uređaje prvog stupnja pročišćavanja;
3. uređaje drugog stupnja pročišćavanja;
4. uređaje trećeg stupnja pročišćavanja.

#### **4.1.1. Prethodno pročišćavanje**

Svako pročišćavanje započinje prethodnim pročišćavanjem koje se u praksi još naziva i mehaničko pročišćavanje. Cilj prethodnog pročišćavanja je prije svega ostvariti dobre estetske značajke vode prijemnika. Iz otpadnih voda izdvajaju se krupni otpaci, masti i ulja, pijesak i sl. Ovakvi se uređaji sastoje od rešetki, pjeskolova i mastolova. Izdvojeni otpad se najčešće odvodnjava, preša i sprema u odgovarajuće kontejnere te zbrinjava na odlagališta komunalnog otpada. Kod prethodnog pročišćavanja pojavljuju se neugodni mirisi. Slika 2. prikazuje kombiniranu jedinicu za uklanjanje finog otpada te pijeska i masti u sklopu prethodnog pročišćavanja otpadnih voda.



**Slika 2.** Kombinirana jedinica za uklanjanje finog otpada te pijeska i masti u sklopu prethodnog pročišćavanja otpadnih voda

Izvor: [http://mzoip.hr/doc/elaborat\\_zastite\\_okolisa\\_160.pdf](http://mzoip.hr/doc/elaborat_zastite_okolisa_160.pdf)

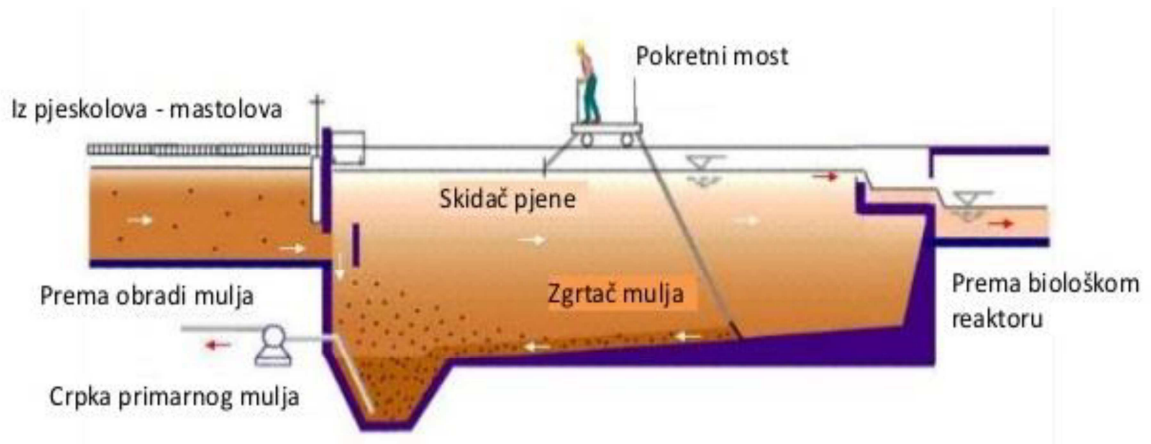
#### 4.1.2. Prvi stupanj pročišćavanja

Prvi stupanj pročišćavanja dodatno poboljšava estetske i ekološke karakteristika vode koja završava u prijemnik, smanjujući mutež vode te unos organskih i anorganskih lako taloživih suspendiranih tvari<sup>7</sup>. Glavni postupak koji se koristi za izdvajanje suspendiranih tvari je taloženje. Postupak je vrlo jednostavan: otpadna se voda zadržava u taložniku dovoljno dugo da se izdvoje željene količine suspendiranih tvari. Izdvojene suspenzije odvede se zajedno sa muljem na daljnju obradu. Učinkovitost taloženja može se znatno povećati upotrebom kamikalija kao što su aluminiji, željeza, vapna i dr. Upotrebom kemikalija znatno se povećava količina mulja, čime se povećavaju i troškovi samog pročišćavanja. U novije vrijeme

---

<sup>7</sup> Suspendirane tvari su krutine koje se pod određenim uvjetima uklanjaju filtriranjem, centrifugiranjem, taloženjem i sl.

taložnike sve češće mijenjaju sita s malim otvorima (0,1 – 1 mm). Što su manji otvori izdvajanje suspenzija je veće. Na slici 3. prikazan je model primarnog taložnika.



**Slika 3.** Primarni taložnik

Izvor: [www.grad.hr/nastava/hidrotehnika/gf/zastitavoda/predavanja/ZV%207.ppsx](http://www.grad.hr/nastava/hidrotehnika/gf/zastitavoda/predavanja/ZV%207.ppsx)

### 4.1.3. Drugi stupanj pročišćavanja

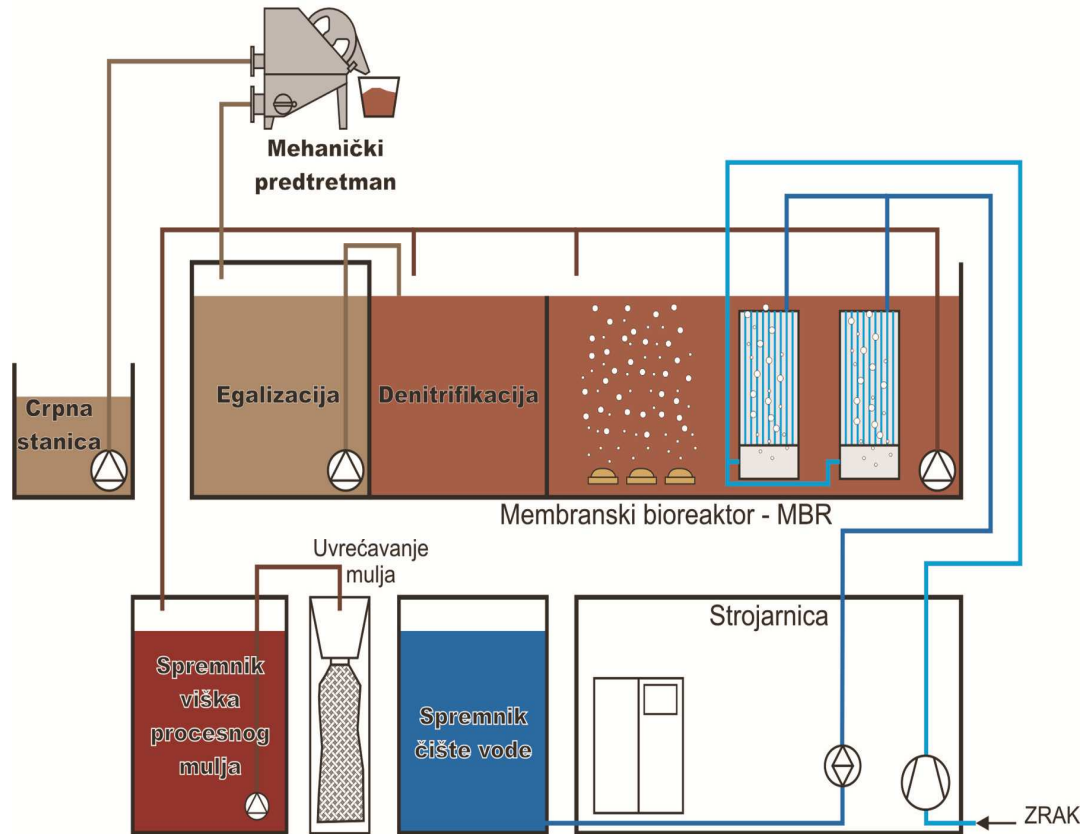
Drugi stupanj pročišćavanja se često naziva i biološko pročišćavanje. Komunalne otpadne vode su po definiciji biološki razgradive vode zbog čega se i najčešće pročišćavaju na biološkim uređajima. Drugim se stupnjem pročišćavanja smanjuju organske i preostale suspendirane tvari. Osnovni proces u tom postupku je biološka oksidacija organske tvari u vodi. Otopljene organske tvari iz otpadne vode transformiraju se u bakterije koje se u naknadnom taložniku mogu izdvojiti iz vode. Na taj način otopljena organska tvar postaje kruta organska tvar koja je taloživa.

### 4.1.4. Treći stupanj pročišćavanja

Trećim stupnjem pročišćavanja se iz vode izdvajaju neželjene količine hranjivih soli, dušika i fosfora kako bi se smanjio rizik eutrofikacije vode. Hranjive soli koje ostaju u vodi nakon biološkog pročišćavanja potrebno je izdvojiti ako se pročišćene otpadne vode upuštaju u prijemnike koji su osjetljivi na eutrofikaciju kao što su vode sa slabom cirkulacijom, jezera, zaljevi i zatvoreni dijelovi mora. U svrhu izdvajanja dušika i fosfora koriste se biološko kemijske ili fizikalno kemijske metode. Na slici 4.

prikazana je shema membranskog bio reaktora<sup>8</sup>, odnosno MBR tehnologije obrade otpadnih voda.

### Prerada otpadnih voda - MBR tehnologija



**Slika 4.** Shematski prikaz MBR tehnologije obrade otpadnih voda

Izvor: <http://www.almes-eko.hr/mb-reaktor/procesni-podaci>

<sup>8</sup> Membranski bio reaktor (MBR) je tehnologija koja pripada grupi separacijskih procesa s biološkom obradom s aktivnim muljem.

## 5. NASTANAK I VRSTE MULJEVA

Količina mulja koji nastaje pročišćavanjem komunalnih otpadnih voda ovisi o značajkama otpadne vode koja se pročišćava, ali i o samom procesu pročišćavanja. Što je stupanj pročišćavanja otpadnih voda veći, to su i količine proizvedenog mulja veće. Ukoliko se za obradu otpadne vode koristi više složenijih postupaka, količine mulja su mnogo veće i kreću se u rasponu od 40 do 60 grama suhe tvari (ST)<sup>9</sup> / ekvivalent stanovnika (ES)<sup>10</sup> / dan. Volumen svježeg mulja uvijek je manji od volumena vode koja se pročišćava. Najvažnije je smanjiti volumen mulja, odnosno izdvojiti što veću količinu vode iz mulja kako bi se smanjila ukupna masa mulja, a samim time i troškovi transporta, odnosno zbrinjavanja. Različitim stupnjevima pročišćavanja nastaju i različiti muljevi pa tako razlikujemo primarni, sekundarni ili biološki, tercijarni mulj i aktivni mulj.

### 5.1. Primarni mulj

Primarni mulj je mulj koji se izdvaja nakon prvog stupnja pročišćavanja iz primarnog ili prethodnog taložnika. Primarni mulj sadrži anorganske tvari (pijesak, glinu, karbonate i kovinske okside), organske lako razgradive tvari (bjelančevine, masti, ugljikohidrate), organske teško razgradive tvari (različita vlakna i guma), te mikroorganizme poput bakterija, virusa i gljivica.

### 5.2. Sekundarni ili biološki mulj

Sekundarni ili biološki mulj se izdvaja iz biološkog reaktora procesima aerobne ili anaerobne razgradnje otopljenih organskih tvari. Takav mulj sadrži uglavnom živu masu bakterija i njihove ostatke, a količina ovisi o vrsti uređaja i postupku pročišćavanja otpadne vode, starosti mulja, unosu zraka i dr.

---

<sup>9</sup> Suha tvar (ST) označava postotak dehidracije mulja.

<sup>10</sup> Ekvivalent stanovnika (ES) označava jedinicu opterećenja koja se primjenjuje u izražavanju kapaciteta uređaja za pročišćavanje otpadnih voda.

### 5.3. Tercijarni mulj

Mulj koji nastaje u odvojenom trećem stupnju pročišćavanja otpadnih voda. On sadržava ostatke reakcija dodatnih kemikalija s otpadnom vodom i njenim sadržajem, koji su dodani pri koagulaciji, također sadrži adsorbente sa sastojcima adsorbiranim iz otpadnih voda što ovisi o primjenjenom postupku.

### 5.4. Aktivni mulj

Aktivni mulj nastaje međusobnim povezivanjem bakterija, kvasaca i algi koje imaju različiti naboj sa suspendiranim česticama u veće ili manje nakupine zvane pahuljice ili flokule. U biološkim procesima obrade otpadne vode, ovisno o koncentraciji otopljenog kisika, u otpadnoj vodi obitavaju mikrobne zajednice u formi aerobnog ili anaerobnog aktivnog mulja. Postupak s aktivnim muljem je aerobni postupak uklanjanja organskih sastojaka iz otpadne vode. Provode ga aerobna mješovita mikrobna zajednica - aktivni mulj. Od mikroorganizama najzastupljenije su bakterije. Da bi mikroorganizmi imali dovoljno kisika provodi se prozračivanje atmosferskim zrakom. Također je bitno osigurati minimalnu koncentraciju sastojaka s ugljikom, dušikom i fosforom neophodnu za rast i razmnožavanje mikroorganizama, a koja je obično najpovoljnija za rast u omjeru C: N : P = 100 : 5 : 1. Odstranjivanje organske tvari biološkom oksidacijom je središnja tehnologija u procesu obrade otpadnih voda. Postupak uklanjanja organskih sastojaka primjenom biološke razgradnje prate tri uzastopne reakcije: oksidacija, sinteza mikrobne biomase i endogena respiracija. Nove stanice, ugljikov dioksid, toplivi produkti mikrobnog metabolizma i voda su konačni produkti ovog procesa. Glavna svrha ovog procesa je odstranjivanje organske tvari uz što manji prirast mulja. Aktivni se mulj prilikom biološke obrade stalno proizvodi te je potrebno stalno ili povremeno odstranjivanje priraslog mulja. Višak mulja se odvodi iz povratnog toka mulja istaloženog u sekundarnom taložniku, ili direktno iz bioreaktora. Količinom odvedenog viška mulja određuje se starost mulja (SRT-sludge retention time). SRT se definira kao količnik mase mulja u reaktoru i mase mulja izvedenog iz sustava u danu. Ako je starost mulja veća, manji je prirast mulja zbog endogene respiracije, odnosno odumiranja

mikroorganizama, što je poželjno jer je potrebno zbrinuti manje mulja. U isto vrijeme, za razgradnju odumrlih stanica potreban je kisik, pa su veći troškovi za aeraciju.

## **6. SVOJSTVA SIROVOG MULJA**

Svojstva mulja prema kojima se muljevi razlikuju, odnosno o kojima će ovisiti izbor sustava za njihovu preradu dijele se na fizikalna, kemijska i biološka. Prije samog projektiranja linije mulja na nekom uređaju za pročišćavanje otpadnih voda potrebno je znati svojstva mulja radi izbora tehnologije obrade. Dakle, preporuka je da se kod uređaja za pročišćavanje otpadnih voda fazno izgradi najprije vodena linija, a nakon izvjesnog vremena linija mulja.

### **6.1. Fizikalna svojstva**

Ukupna voda koju sadržava mulj može biti slobodna, vezana ili intermolekularna. Slobodna voda iz mulja se uklanja taloženjem krutina, vezana voda (kapilarno ili adhezijski) odvaja se cijeđenjem pod tlakom, a intermolekularna voda se može odvojiti jedino termičkim procesima.

#### **6.1.1. Taloživost**

Taloživost ovisi o načinu vezanja vode u mulju. Taloživost mulja upućuje na mogućnost da se mulj odvoji taloženjem krutina pod utjecajem sile teže ili mehaničkim miješanjem. Primarni mulj, dobro istrunuli i stabilizirani mulj imaju dobru taloživost.

#### **6.1.2. Stišljivost**

Stišljivost je sposobnost cijeđenja koja služi za izbor uklanjanja vezane vode. U tu svrhu najčešće se koriste cijediljke pod tlakom ili vakumom i centrifuge.

#### **6.1.3. Granulometrijski sastav**

Granulometrijski sastav mulja se mjeri u milimetrima i ovisi o vrsti mulja. Krupnoća čestica mulja iznosi od 0,001 mm do 5,0 mm.



#### **6.1.4. Vlaga**

Vižnost mulja ovisi o temperature i proporcionalna je koncentraciji suhih tvari u mulju.

#### **6.1.5. Viskoznost**

Viskoznost mulja također ovisi o temperature i koncentraciji suhih tvari. Viskoznost se uzima u obzir pri odabiru tipa crpki i cijevovoda za prepumpavanje mulja.

#### **6.1.6. Gustoća**

Gustoća ili volumna masa sirovog neobrađenog mulja s obzirom na visoki sadržaj vode procijenjuje sa na 1 t/m<sup>3</sup>. Ako se smanji sadržaj vode volumna masa se povećava zbog sadržaja mineralnih sastojaka čija je volumna masa znatno veća. Tako se smanjenjem sadržaja vode dobivaju slijedeće volumne mase:

- za mulj sa 90% vode 1,03 t/m<sup>3</sup>,
- za mulj sa 75% vode 1,10 t/m<sup>3</sup>,
- za mulja sa 50% – 55% vode 1,20 t/m<sup>3</sup>.

#### **6.1.7. Toplinska vrijednost**

Toplinska vrijednost mulja je bitna za obradu mulja spaljivanjem ili suspaljivanjem i iznosi:

- za ukupnu suhu tvar oko 16 747 kJ/kg,
- za organsku suhu tvar oko 21771 kJ/kg.

## 6.2. Kemijska svojstva

### 6.2.1. pH vrijednost

Vrijednost pH svježeg mulja iznosi oko 7,0, što znači da je mulj neutralan. Ako mulj prelazi u stanje raspadanja tada je pH vrijednost 6 ili manja jer nastaje kiselo vrenje.

### 6.2.2. Količina anorganskih (mineralnih) tvari

Žarenjem pri temperature od 550 oC dobiva se podatak o količini anorganskih tvari. Ostatak nakon žarenja izražava se u postotku ukupne suhe tvari i on predstavlja količinu anorganskih tvari.

## 6.3. Mikrobiološka svojstva

Sirovi mulj sadržava patogene mikroorganizme, parazite i saprofitne organizme. U tablici 1. prikazane su srednje vrijednosti i svojstva mulja različita podrijetla.

| SVOJSTVA                   | MJERNA JEDINICA | PRIMARNI MULJ    | BIOLOŠKI MULJ | AEROBNO STABILIZIRANI MULJ |
|----------------------------|-----------------|------------------|---------------|----------------------------|
| KONCENTRACIJA SUHE TVARI   | % mase          | 3,0-5,0          | 0,5-1,5       | 2-5 nakon zgušnjavanja     |
| pH                         |                 | 5,5-7,0          | 6,0-7,0       | 6,5-7,0                    |
| ORGANSKI UDIO              | % mase          | 65-75            | 65-75         | 50-60                      |
| UKUPNI UGLJIK              | C % mase        | 50-60            | 50-70         | 15-20                      |
| UKUPNI DUŠIK               | N % mase        | 2,0-5,0          | 6,0-8,0       | 2,0-2,5                    |
| UKUPNI FOSFOR              | P % mase        | 0,6-1,2          | 1,0-1,4       | 1,0-3,5                    |
| SPECIFIČNI OTPOR CIJEĐENJU | s2/g            | 10 <sup>11</sup> | 10 na10       | oko 10 na10                |
| KALORIJSKA VRIJEDNOST      | kJ/kg mase      | 14564-16747      | 14564-16747   | 7536-9630                  |

**Tablica 1.** Srednje vrijednosti i svojstva mulja različita podrijetla

Izvor: Tušar, B.: *Pročišćavanje otpadnih voda, Kigen d.o.o. i Geotehnički fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 2009. g.*

## 7. ZAKONSKA REGULATIVA

Pravni i regulatorni prostor koji određuje sustav postupanja s muljem iz uređaja za pročišćavanje otpadnih voda dijele tri upravna sektora:

- sektor za zaštitu okoliša,
- sektor za gospodarenje vodama,
- sektor za gospodarenje poljoprivrednim zemljištem.

Kvaliteta rješenja, učinkovitost i održivot sustava zbrinjavanja mulja koji nastaje kao nusprodukt pročišćavanj otpadnih voda izravno ovisi o usklađenosti, ekonomskoj mogućnosti i ekološkom kapacitetu sustava propisa koje donose nabrojeni sektori. Važnu ulogu imaju djelatnosti javne odvodnje jer uključuju i obavljanje procesa obrade mulja čime je odgovornost za odgovarajuće zbrinjavanje mulja delegirana na jedinice lokalne samouprave i njihovog komunalnog društva koja su nadležna za zbrinjavanje otpadnih voda, samim time i mulja. Tako se potpuno primjenjuje načelo “onečišćivač plaća”, čime je onečišćivač dužan otkloniti onečišćenje koje unosi u okoliš.

U Republici Hrvatskoj potrebno je potaknuti unaprijeđenje zakonske regulative i projekte izgradnje uređaja za pročišćavanje otpadnih voda koji uključuju ne samo obradu voda, već i obradu i zbrinjavanje mulja. Otpadne vode (sanitarne, industrijske, oborinske) sadrže različite vrste i količine otpadne tvari. Radi očuvanja okoliša u ekološkom, zdravstvenom i estetskom pogledu, otpadne tvari prije ispuštanja u okoliš moraju se obraditi, a ostatak koji se pojavljuje kao nusprodukt obrade odložiti na neškodljiv način. Pri donošenju odluke o načinu obrade i konačne dispozicije (odlaganja) mulja izdvojenog u postupcima pročišćavanja voda potrebno je voditi računa o relevantnoj zakonskoj regulativi, odnosno o odredbama i propisima koji su na snazi. Na žalost Hrvatsko zakonodavstvo ne nudi puno opcija po pitanju uporabe i zbrinjavanja mulja. Nadalje, sam posao uporabe i zbrinjavanja mulja nije atraktivan sa financijskog aspekta. Prije svega na iskorištavanje mulja treba gledati kao na rješavanje ekološkog problema. Oporabom mulja prije samog zbrinjavanja mogu se umanjiti materijalni izdaci cjelokupnog procesa rješavanja problematike mulja.

Okvir politike zbrinjavanja mulja definiran je s tri zakona, detaljnije razrađeni aspekti gospodarenja muljem su sadržani u sedam podzakonskih akata. Konačno zbrinjavanje mulja i sve aktivnosti vezane za zbrinjavanje sadržane su u dvije strategije i više planova. Uz probleme zbrinjavanja mulja, posredno su vezani i propisi Zakona o poljoprivredi, osobito u dijelu koji se odnosi na pitanje upravljanja pa time i zaštite poljoprivrednog zemljišta.

Politika gospodarenja muljem nije bila posebno razmtrana kao zasebna tema, nego je uzeto kao dio ukupne politike zbrinjavanja otpada, što je rezultiralo nedorečenošću propisa i dokumenata koje su donosila različita državna i lokalna upravna tijela. Sve to dovelo je do problema provedbi propisa u praksi i do usporavanja, čak i zaustavljanja realizacije projekata, a time i do kašnjenja realizacije planova.

Korištenje mulja u poljoprivredi bez prethodne obrade je, u skladu s EU Direktivom za mulj [86/278/EEC], EU direktivom za otpadne vode [91/271/EEC] i hrvatskim nacionalnim zakonima kao što je Pravilnik o gospodarenju muljem iz uređaja za pročišćavanje otpadnih voda kada se mulj koristi u poljoprivredene svrhe [NN 38/2008] i Pravilnik o zaštiti poljoprivrednog zemljišta od onečišćenja [NN 32/2010], neprimjenjiv i zabranjen. U poljoprivredi se smije koristiti samo stabilizirani mulj u kojem su uništeni patogeni organizmi, potencijalni uzročnici oboljenja. Prema Pravilniku "obrađeni mulj" označava mulj koji je podvrgnut biološkoj, kemijskoj ili toplinskoj obradi, dugotrajnom skladištenju (najmanje šest mjeseci) ili nekom drugom postupku kojim je znatno smanjena razgradnja i opasnost po zdravlje.

U Hrvatskoj odlaganje mulja na odlagalištima nije dopušteno, kao rezultat Pravilnika o uvjetima i načinima odlaganja otpada, kategorijama i uvjetima rada za odlagališta otpada i daljnjim navodima da prihvaćanje "otpada ako njegova masa biorazgradivih komponenti prelazi 35% ukupne težine" je također zabranjeno. Biološki stabilizirani mulj uvijek sadrži više od 35% biorazgradive tvari.

Za slučaj termičke oksidacije mulja nema posebnih propisa. Primjenjuju se propisi koji se koriste kod spaljivanja krutog otpada, odnosno propisa donesenih temeljem Pravilnika o termičkoj obradi otpada (NN 75/2016), Uredbe o razinama onečišćujućih tvari u zraku (NN 117/12) i Zakona o zaštiti zraka (NN 130/11, 47/14).

## 8. OBRADA MULJA

Prije konačnog odlaganja i/ili uporabe mulja sirovi je mulj potrebno obraditi. Obrada mulja ovisi i o načinu njegove uporabe. Mulj iz otpadnih voda nije bezvrijedan materijal, jer sadrži oko 70 % organske tvari čija se energijska vrijednost može iskoristiti. Ogrjevna moć suhe organske tvari ovisna je o vrsti mulja te je procijenjena kao srednja vrijednost od 25.000 KJ/kg kod neobrađenog mulja, a do 12.000 KJ/kg kod anaerobno stabiliziranog mulja. Energijska vrijednost mulja može se iskoristiti tijekom obrade, kao na primjer pri proizvodnji bioplina kod anaerobne stabilizacije ili iskorištavanjem energijskog potencijala pri termičkoj stabilizaciji. Mulj sadrži i određenu količinu hranjivih tvari koje se mogu iskoristiti (dušik, fosfor, kalij). Sadržaj hranjivih tvari u mulju opisan je u tablici 2.

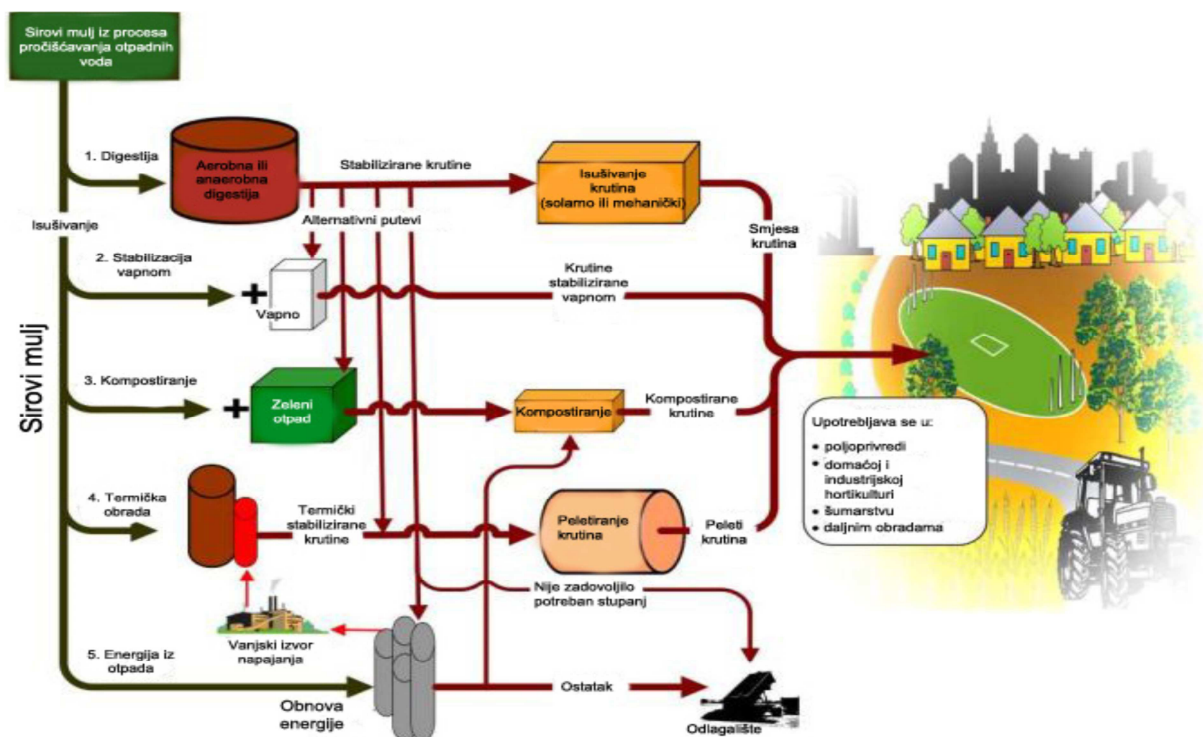
| Sadržaj hranjivih tvari u mulju                              |                 |        |       |
|--|-----------------|--------|-------|
| Element  | % od suhe tvari |        |       |
| Dušik  | 3-7             |        |       |
| Fosfor   | 2-7             |        |       |
| Kalij  | <1,5            |        |       |
| Usporedba hranjivih tvari (%) u mineralnim gnojivima i mulju |                 |        |       |
| Proizvod   | Dušik           | Fosfor | Kalij |
| Mineralno gnojivo  | 5               | 10     | 10    |
| Suhe tvari stabiliziranog mulja                              | 3,3             | 2,3    | 0,3   |

**Tablica 2.** Sadržaj hranjivih tvari u mulju

Izvor: Prof. emer. dr. sc. Stanislav Tedeschi: *Zbrinjavanje mulja otpadnih voda, Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet, Zavod za hidrotehniku – interna prezentacija*

Troškovi obrade i zbrinjavanja mulja kod uređaja manjih kapaciteta iznose gotovo 50% ukupnih troškova poslovanja. Procesi obrade mulja su različiti i mogu se kombinirati na razne načine, što ovisi o veličini uređaja i načinu iskorištavanja mulja.

Najbitnije je smanjiti volumen mulja odnosno iz njega ukloniti što više vode. Obrada mulja bazirana je na tri osnovne faze: zgušnjavanje, stabilizaciju i odvodnjavanje ili dehidraciju. Postotak vlažnosti, odnosno postotak suhe tvari u mulju je jedan od osnovnih pokazatelja bitnih za odabir tretmana mulja, iz čega proizlazi da mulj može biti: tekući sa 1 – 10 % ST, vlažni sa 10 – 30 % ST, kruti sa 30 – 90 % ST i osušeni sa > 90 % ST. Slika 5. prikazuje pojednostavljeni grafički prikaz procesa obrade mulja.



**Slika 5.** Procesi obrade mulja

Izvor: [http://www.grad.hr/rescue/materijali/Izvjestaji\\_1/Izvjestaj\\_br\\_6\\_Analiza\\_trzista.pdf](http://www.grad.hr/rescue/materijali/Izvjestaji_1/Izvjestaj_br_6_Analiza_trzista.pdf)

## 8.1. Zgušnjavanje mulja

Zgušnjavanje mulja je proces u kojem se dolazi do smanjenja volumena mulja, kako bi se smanjili troškovi njegove kasnije obrade, kao i troškovi izgradnje objekata koji slijede na liniji mulja. Ovisno o svojstvima mulja i primijenjenom tehnološkom rješenju, zgušnjavanjem se postiže koncentracija suhe tvari u mulju 2 – 12% ST. Razlikuju se tri osnovna postupka: gravitacijsko zgušnjavanje, zgušnjavanje

isplivavanjem i mehaničko zgušnjavanje (centrifuga, gravitacijska traka i rotacijski bubanj).

## 8.2. Stabilizacija mulja

Stabilizacijom mulja postiže se inhibicija, smanjenje ili eliminacija mogućnosti daljnjeg truljenja mulja (razgradnje organske tvari uz pomoć mikroorganizama). Trenutno najbolji postupci stabilizacije mulja su: biološka stabilizacija i kemijska stabilizacija. Posebno treba izdvojiti biološku stabilizaciju mulja. Biološka stabilizacija mulja podrazumijeva primjenu jednog od dva postupka biološke razgradnje organske tvari – aerobna (uz prisutnost kisika) ili anaerobna (bez prisutnosti kisika). Kod srednjih i većih uređaja obično se primjenjuje anaerobna stabilizacija. Anaerobna stabilizacija je jedini biološki postupak kojim se može iskoristiti energijska razina mulja i to proizvodnjom bioplina. Bioplin koji je proizvod anaerobne stabilizacije sadrži oko 2/3 metana i 1/3 ugljikovog dioksida i ima donju ogrjevnu moć od 6,63 kWh/m<sup>3</sup> plina. Na slici 6. prikazani su tornjevi anaerobne obrade mulja na uređaju za pročišćavanje u Zagrebu.



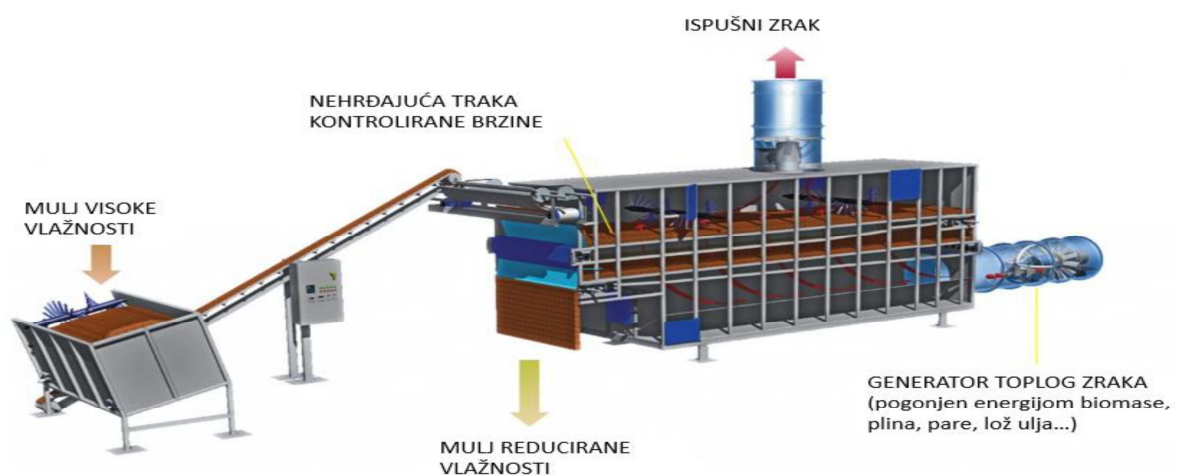
**Slika 6.** Tornjevi anaerobne obrade mulja na uređaju za pročišćavanje u Zagrebu

Izvor: <http://www.energetika-net.com/specijali/projekt-prica/recikliranjem-od-komunaln-og-mulja-do-inovativnih-gradevnih-proizvoda-21326>

Kemijska stabilizacija uz pomoć vapna posebno je prikladna zbog dostupnosti sirovine. Upotrebom vapna otpadni se mulj može učiniti neprikladnim za preživljavanje mikroorganizama. 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 ( $\text{Ca(OH)}_2$ ) i živo vapno ( $\text{CaO}$ ). Kao zamjena za vapno može se koristiti praškasto gorivo pepela, prašina vapnenca i karbidno vapno. Dodatkom živog vapna u mulj, ono reagira s vodom iz mulja te nastaje hidratizirano (gašeno) vapno.

### 8.3. Dehidracija mulja

Dehidracija mulja je postupak kojim se iz mulja uklanja voda. Ovisno o svojstvima mulja, primijenjenom tehnološkom rješenju te mogućnosti dodavanja određenih kemijskih sredstava ( $\text{CaO}$ ,  $\text{FeCl}_3$  i dr.), dehidracijom se postiže koncentracija suhe tvari u mulju 25-35 % ST. Dva su osnovna tehnološka rješenja dehidracije mulja: fizikalno uklanjanje vode (polja za sušenje mulja), mehaničko uklanjanje vode (centrifuge, trakaste filter preše, vakuumske filter preše). Primjer postrojenja za dehidraciju mulja prikazan je na slici 7.



**Slika 7.** Primjer postrojenja za dehidraciju mulja

Izvor: <http://www.biogreen-energy.com/biogreen/belt-dryer/>



## 8.4. Dodatni postupci obrade mulja

Uz prethodno izdvojena tri osnovna postupka obrade mulja, izdvajaju se i neke dodatne faze obrade mulja koje se prema potrebi mogu primijeniti: kondicioniranje, sušenje, pasterizacija, spaljivanje, ostakljivanje i kompostiranje.

### 8.4.1. Kondicioniranje mulja

Svrha kondicioniranja mulja je poboljšanje njegovih karakteristika kako bi se lakše zgusnuo i/ili dehidrirao. Mulj se može kondicionirati kemijskim ili termalnim tehnikama. 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. Kod kemijskog kondicioniranja mogu se koristiti kemikalije poput željeznog klorida, vapna te organskih polimera. 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 određenim tlakom. Mulj se zagrijava na temperaturu od 180 °C do 200 °C pod tlakom od 12 bara do 15 bara kroz 30 do 40 minuta. Na taj način dolazi do koagulacije krutina, razbijanja strukture mulja i redukcije vode u mulju. Nakon ovakvog postupka mulj je steriliziran i dehidriran.

Prednosti termalnog kondicioniranja su:

- sadržaj krutih tvari u procesiranom mulju iznosi od 30% do 50%,
- procesirani mulj nije potrebno kemijski kondicionirati,
- uništavanje većine patogena.

## **8.4.2. Sušenje mulja**

### **8.4.2.1. Termalno sušenje**

Termalno sušenje zahtijeva sagorijevanje goriva za postizanje visoke temperature za isparavanje vode iz mulja. Mulj se prosušuje do 60% - 95% suhe tvari. Muljem je teško rukovati kada je ST između 40% i 60% zbog ljepljive konzistencije. Potrebno je 90% ST za zaustavljanje biološke aktivnosti kako bi prestala fermentacija, a proizvod postigao stabilnost za dugoročno skladištenje. Međutim, suši proizvod gubi sposobnost vezivanja te je ponekad potrebna proizvodnja peleta za pretvaranje mulja iz prašine uz dodavanje vode i tlaka. Termalno sušenje je proces velikih troškova ulaganja i pogona, a koji se sve češće koristi radi slijedećih pogodnosti:

- Suhi proizvod je pasteriziran i vizualno pogodniji od ostalih oblika mulja. Stoga je prihvatljiviji za korištenje kao poljoprivredno i hortikulturno gnojivo. Time je povećan potencijalni izlazni kapacitet.
- Zbog smanjenog volumena potreban je manji skladišni prostor i manja je potreba prijevoza.
- Proizvod ima veću ogrjevnu vrijednost od stvrdnutog mulja i primjereniji je kao alternativna ugljenu za korištenje u električnim centralama i industriji.

Proces na uređaju je dijelom serijski do uzastopni te se može koristiti isključivo u stacionarnom obliku. Može se postići suha tvar od 70 do 90%. Ove okolnosti smanjuju potrebu prijevoza za otprilike 96%. Termalno sušenje može biti cjenovno prihvatljivo gdje se zahtijeva veća kvaliteta proizvoda za udovoljavanje sigurnosnih zahtjeva i zadržavanje tržišta za upotrebu u poljoprivredi. Alternativa metodi termalnog sušenja je proces solarnog sušenja.

### **8.4.2.2. Solarno sušenje**

Moguća su ograničenja koja se odnose na specifičnosti lokacije, u smislu potrebe za velikom površinom zemljišta. Slika 8. prikazuje primjer postrojenja za solarno sušenje mulja.



**Slika 8.** Postrojenje za solarno sušenje mulja

Izvor: <http://www.hubertec.it/it/soluzioni/impianti-di-depurazione/trattamento-fanghi.html>

Plohe za solarno sušenje zauzimaju relativno veliku površinu, ali imaju razne potencijalne prednosti uključujući korištenje klimatskih uvjeta, smanjeni pogon i troškovi (kapitalni trošak, trošak rada i održavanja). Ova opcija može biti najprikladnije i ekonomski najizvodljivije rješenje.

Sustav se sastoji od vrste staklenika, gdje se tekućina (do 3% ST) ili dehidrirani mulj (min. 20% - 30% ST) polažene na tlo u zatvoreni prsotor. Mehanički zgrtač okreće mulj do 12 puta na dan. Princip je iskorištavanje efekta isparavanja. Zbog korištenja staklenika, djelovanje sunčeve energije može se "spremiti". Stoga se mogu postići veće razine isparavanja. Ventilacijski se sustavi koriste za reguliranje vlage u zraku unutar staklenika radi sprječavanja zasićenosti zraka vlagom. Očekivana stopa isparavanja unutar „staklenika“ uvelike ovisi o sunčanim danima, nagibu, brzini i frekvenciji vjetra te je izračunata sa prosijekom od  $850 \text{ l/m}^2 \times \text{dan}$  za postizanje  $> 75\%$  ST sa retencijom od 6 tjedana.

#### **8.4.2.3. Metoda mikrovalnog sušenja – piroliza**

Kao alternativa metodama koje se obično koriste, predstavljena je nova metoda temeljena na grijanju pomoću mikrovalova. Za razliku od ostalih metoda pirolize kojima se kanalizacijski mulj prethodno suši u zasebnom procesu, mokri kanalizacijski mulj (do 70% vlažnosti) koristi se kao početni materijal u procesu. Tako se mulj tijekom početnih koraka procesa suši, potpuno koristeći efikasno mikrovalno sušenje. Korištenjem dovoljne količine energije, mogu se dostići temperature do

1000 °C ili više. Preferira se korištenje visokih temperatura kako bi se povećao prinos frakcije plina kojim se općenito lakše rukuje nego uljnom frakcijom. Na tim temperaturama se, osim pirolize kanalizacijskog mulja, odvija i hidro-plinifikacija. Zbog jedinstvenih obilježja mikrovalnog grijanja, tj. direktnog grijanja unutar mase i visoke temperature (cca. 200 °C/min), formiraju se velike količine pare na temperaturama na kojima se odvija reakcija plinifikacije. Proizvedena para se uz pomoć parne turbine može pretvoriti u električnu energiju. Slijedom toga sušenje, piroliza i plinifikacija odvijaju se u jednom i relativno brzom procesu. Postupak je još uvijek u razvoju te do sada nema značajnijih primjena u obradi mulja s UPOV-a.

#### **8.4.2.4. Termalna pasterizacija**

Za postizanje pasterizacije potrebno je najmanje 30 minuta na 70°C ili 4 sata na 55°C. Prethodne vrijednosti koriste se kao projektni parametri. Ovo kratko vrijeme izlaganja zahtijeva relativno malu posudu. Može se koristiti jedna od slijedećih metoda zagrijavanja mulja:

- plinsko grijanje protočne vode koja zagrijava mulj u toplinskom izmjenjivaču,
- izravno grijanje mulja pomoću sagorijevanja plina, iznad ili unutar mulja,
- mikrovalna obrada u neprekidnom pogonu (sistem trake) sa povećanjem molekularne vibracije vode sadržane u mulju.

Iskustva i istraživanja pokazala su da pasterizacija prije digestije uvelike smanjuje učestalost ponovne zaraze, nego pasterizacija nakon digestije. To je zbog toga što proces digestije u mulju ostavlja benigne organizme koji sprječavaju širenje patogena. Stoga se ovaj proces često naziva pred-pasterizacija.

#### **8.4.3. Ostakljivanje (vitifikacija) mulja**

Proces koji se odvija u pećima na temperaturi 1200 do 1400 °C. Ocjeđeni i osušeni mulj se spaljuje, nastali pepeo kasnije prelazi u talinu koja hlađenjem zrakom ili vodom prelazi u staklenu tvar. Investicijski torškovi ovog sustava su jako visoki, no usprkos tome proces je jako dobro prihvaćen u Japanu.

#### **8.4.4. Dezinfekcija mulja**

Dezinfekcija je proces uništenja patogenih mikroorganizama, kod otpadnih voda najčešće primjenom klora.

#### **8.4.5. Kompostiranje**

Kompostiranje je dobro poznat i dokazan sustav obrade za stabilizaciju i smanjenje patogena. Postoje različite razine tehnološkog razvoja koje se mogu primijeniti na ovaj proces. Zahtijeva masovne agente za postizanje pravilne konzistencije mulja za aeraciju u čvrstom obliku te za postizanje pravilnog omjera ugljika i dušika. Slama ili drvni nusproizvodi često se koriste kao ti masovni agenti, ali može se koristiti i komunalni otpad. Komunalni je otpad dostupan, ali se sa njegovom upotrebom povezuju razni problemi. Anorganski otpad mora biti izdvojen kako bi se samo material koji je prikladan za krajnju uporabu u poljoprivredi pomiješao sa muljem za dobivanje većeg obujma. Proces kompostiranja mora biti pažljivo nadziran kako bi se spriječilo stvaranje neugodnih mirisa.

U obzir se mora uzeti nekoliko koraka obrade:

- skladištenje,
- miješanje,
- provjetravanje,
- filtracija.

C : N omjer mora biti u rasponu 1 : 15 do 1 : 20. Proces zahtijeva intenzivno kompostiranje od minimalno 14 dana. Unutar tog perioda, mora se ispuniti uvjet za temperaturu po higijenskim zahtjevima. Mora se postići temperatura od 60°C tijekom razdoblja od 7 dana ili C iznad 65% tijekom 5 dana. Zbog egzotermičnog procesa, količina vode se mora pratiti i regulirati. Provjetravanje komposta omogućava ulaz potrebne količine kisika. Nakon 14 dana intenzivnog kompostiranja, slijedi 6 tjedana naknadnog kompostiranja sa smanjenim okretanjem. Do 8 tjedna slijedi tzv. proces sazrijevanja. Nakon završnog prosijavanja i testiranja, materijal je spreman za upotrebu. Preljev koji nastane tijekom prosijavanja će se upotrijebiti kao sastavni

materijal za novu smjesu komposta, te će pomoći da se ostvari potreban C - N omjer. Kako bi se izbjegli neugodni mirisi i ostale neugodnosti, preferira se kompostiranje pod krovom u “otvorenoj hali”. Treba se uzeti u obzir područje od cca 1,16 m<sup>2</sup> po Mg.

#### **8.4.6. Solidifikacija**

Postupak solidifikacije 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. MID-MIX tehnologija<sup>11</sup> solidifikacije mulja koja je ujedno i jedna od najpoznatijih, primjenjuje se na UPOV-u u Koprivnici.

---

<sup>11</sup> MID-MIX je tehnološki postupak koji se bazira na procesu solidifikacije, koja ima za cilj da se otpad, sa najmanje jednom opasnom karakteristikom, pretvori u oblik u kojemu se njegovi konstituenti imobiliziraju, tako da ne ugrožavaju životnu sredinu.

## 9. OPORABA I KONAČNO ZBRINJAVANJE MULJA

U ovisnosti o načinu konačnog zbrinjavanja mulja određuje se i postupak prethodne obrade. Izbor načina i mjesta konačnog odlaganja je složen i ovisi o više faktora:

- svojstvima otpadne vode,
- stupnju i tehnologiji čišćenja otpadne vode,
- svojstvima i količini proizvedenog mulja,
- kapacitetu UPOV-a,
- zakonskim propisima,
- mjesnim prilikama,
- troškovima izgradnje i održavanja.

Ne postoji jedinstven način konačnog zbrinjavanja mulja, a u odnosu na navedene faktore potrebno je za svaki uređaj odabrati način na koji će se mulj konačno zbrinuti. Ako se mulj ne koristi u poljoprivredi ili se mulj neće termički obraditi, provedbom procesa solidifikacije može se koristiti u građevinarstvu ili odlagati na odlagališta komunalnog otpada. Općenito obrađeni mulj s uređaja za pročišćavanje komunalnih otpadnih voda može se upotrijebiti:

- u poljoprivredi, odnosno za slične namjene kao što su cvjećarstvo, šumarstvo, pašnjaci, sanacija oštećenih dijelova zemljišta (skijališta i sl.),
- proizvodima termičke oksidacije i solidifikacije, primjerice u građevinarstvu.

Odlaganje mulja na odlagalištima komunalnog otpada, posebno uređenim odlagalištima samo za mulj, lagunama i sl. od konca 2016. godine više nije moguće.

## 9.1. Bioplin iz anaerobne digestije

Anaerobna digestija je biokemijski proces pomoću kojeg se biorazgradivi organski supstrati razgrađuju mikrobiološkim procesima bez prisutnosti kisika, uz proizvodnju bioplina i digestata. Kao nusproizvod anaerobne digestije nastaju tečni, čvrsti i plinoviti ostaci koji predstavljaju korisne ili onovljive resurse. Bioplin koji je nastao iz anaerobne digestije se iskorištava za proizvodnju toplinske i električne energije, dok se nastali čvrsti i tečni ostaci nakon kompostiranja prihvaćaju kao poboljšivač tla za poljoprivredne površine zbog velikog sadržaja korisnih sastojaka. Bioplin se sastoji uglavnom od metana i ugljikovog dioksida. Dobiva se preradom mulja u četiri stupnja. U prvom stupnju-hidrolizi, u vodi netopljivi organski spojevi se pretvaraju u organske spojeve koji su topljivi u vodi pomoću staničnih enzima.

Drugi stupanj je stupanj zakiseljavanja u kojem acidofilne bakterije razlažu topljive molekule na vodik, ugljikov dioksid, alifatske kiseline i alkohole, te male količine metilnih amina, amonijaka i sumporovodika.

U trećoj fazi se dobivene kiseline i alkoholi rastavljaju na vodik i ugljikov dioksid.

Četvrta, anaerobna faza, je faza u kojoj bakterije prtvvaraju octenu kiselinu i spojeve klora, zajedno s vodikom, u oblik bioplina (metan i ugljikov dioksid).

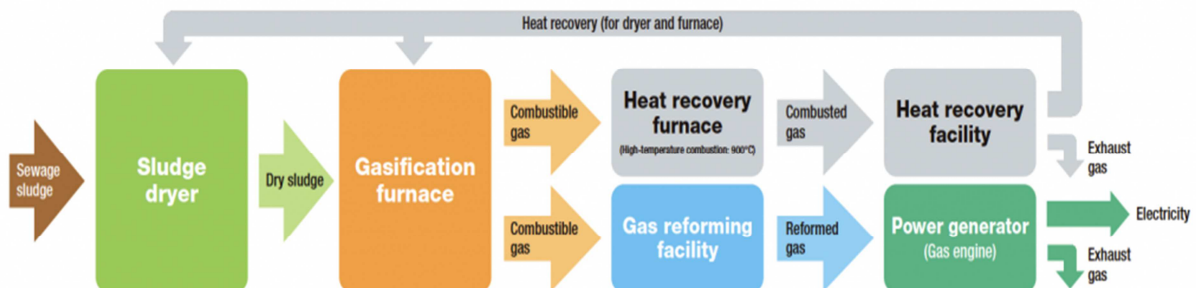
1m<sup>3</sup> bioplina (otprilike 6 kWh/m<sup>3</sup>) je ekvivalent:

- |   |                     |
|---|---------------------|
| - Drvo (otprilike 4,5 kWh/kg)                     | 1,3 kg              |
| - Kravlja balega (otprilike 5kWh/kg ST)           | 1,2 kg              |
| - Biljni ostaci (otprilike 4,5kWh/kg ST)          | 1,3 kg              |
| - Tvrdi ugljen (otprilike 8,5 kWh/kg)             | 0,7 kg              |
| - Gradski plin (otprilike 10 kWh/m <sup>3</sup> ) | 0,6 m <sup>3</sup>  |
| - Propan (otprilike 25 kWh/m <sup>3</sup> )       | 0,24 m <sup>3</sup> |
| - Dizel, kerozin (otprilike 12 kWh/kg)            | 0,5 kg              |



## 9.2. Plinifikacija i piroliza

U procesu plinifikacije 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 pokretanje parne turbine. Ogrjevna vrijednost sintetičkog plina nije tako visoka kao kod digestiranog plina. Proces plinifikacije zahtjeva dehidraciju mulja. Ako se koristi dehidrirani mulj, isparavanje vode troši većinu dostupne energije, osim ako je dopunsko gorivo doplinificirano muljem kao sekundarno oporavljeno gorivo iz komunalnih postrojenja. Proces plinifikacije odvija se u dvije faze: piroliza i djelomično izgaranje. Piroliza je degradacija mulja u odsutnosti zraka u plin i „char“ (crna supstanca bogata ugljikom). U drugoj reakciji „char“ je plinificiran 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. Proces plinifikacija mulja je još uvijek u razvoju te do sada nema značajnijih primjena u obradi mulja iz uređaja. Slika 9. prikazuje postupak plinifikacije mulja.



**Slika 9.** Postupak plinifikacije mulja

Izvor: <http://www.sswm.info/content/heat-recovery-sludge>

## 9.3. Spaljivanje i suspaljivanje mulja

Spaljivanje otpada je postupak oporabe otpada, odnosno zbrinjavanja otpada u kojem se spaljuje otpad sa ili bez oporabe topline proizvedene izgaranjem. To uključuje oksidacijsko spaljivanje otpada, kao i druge termičke procese, poput pirolize,

rasplinjavanja ili plazma procesa, sve dok se rezultirajući produkti tih obrada nakon toga spaljuju.

Stabiliziran i dehidriran mulj koji sadrži od 18 do 35 % ST prije konačnog spaljivanja se uobičajeno suši, u prvom redu s ciljem povećanja energetske učinkovitosti pri spaljivanju. Kada se postigne koncentracija od 75 do 95 % ST mulj potom se spaljuje. Nakon spaljivanja ostaje pepeo ISSA<sup>12</sup> (eng. incinerated sewage sludge ash), fino granulirani otpadni materijal. Kalorijska vrijednost mulja najbližnja je onoj smeđeg ugljena. Nadalje mulj je potrebno dovesti do razine od 28 do 33 % ST kako bi moglo doći do auto-termičkog sagorijevanja bez dodavanja vanjskog goriva za održavanje procesa. Stabilizirani i dehidrirani mulj ima kalorijsku vrijednost u rasponu od 12 do 20 MJ/kg. Za spaljivanje stabiliziranog i dehidriranog mulja koristi se nekoliko vrsta peći. Najčešće korištene su peći s izgaranjem u vrtložnom sloju (engl. fluidised bed). Temperatura u komori za sagorijevanje je kontrolirana. Na dnu peći nalazi se pijesak koji pomaže stabilizirati temperaturne fluktuacije unutar same peći. Vrijeme sagorijevanja u peći je varira od 1 do 2 sata. Za vrijeme spaljivanja dolazi do isparavanja vode, lako hlapljivih metala i sagorijevanja organskih spojeva koji prelaze u plinove. Ostale anorganske tvari se iznose iz komore u obliku finih čestica zajedno s ispušnim plinovima. Pepeo se obično skuplja pomoću specijalnih filtera. Ispušni plinovi se moraju tretirati u skladu s EU direktivom o spaljivanju otpada.

Za spaljivanje mulja koriste se još modularne spalionice i električne prigušene peći. Pepeo koji nastaje spaljivanjem mulja odvaja se od ispušnih plinova u filtarskim vrećama ili putem elektrostatičkih taložnica prije pročišćavanja plinova. Prilikom spaljivanja mulja s UPOV-a ne samo da nastaje pepeo koji je moguće višestruko iskoristiti, već se u ovom procesu odvija cjelokupno termičko uništavanje gotovo svih zagađivača prisutnih u mulju. Samospaljivanje mulja ovisi o postotku suhe tvari u mulju i o sadržaju organskih tvari. Ako je postotak organske tvari u mulju manji, tada je nužan veći postotak suhe tvari. Biološki stabiliziran mulj sa sadržajem organske tvari od oko 50 % potrebno je odvodnjavati do sadržaja suhe tvari od 35 do 46,5 %, ovisno o tipu peći za spaljivanje. Slika 10. prikazuje karakteristike mulja prema stupnju obrade.

---

<sup>12</sup> ISSA (eng. incinerated sewage sludge ash) – pepeo dobiven spaljivanjem mulja



**Slika 10.** Karakteristike mulja ovisno o stupnju obrade

Izvor: <http://www.grad.hr/rescue/state-of-the-art/sastav-pepela-dobivenog-spaljivanjem-mulja/>

Suspaljivanje otpada je postupak oporabe, odnosno zbrinjavanja otpada čija je prvenstvena svrha proizvodnja energije ili materijalnih produkata (proizvoda) i u kojem se otpad koristi kao redovno ili dopunsko gorivo ili u kojem se otpad termički obrađuje radi zbrinjavanja. To uključuje oksidacijsko spaljivanje otpada, kao i druge termičke procese, poput pirolize, rasplinjavanja ili plazma procesa, sve dok se rezultirajući produkti tih obrada nakon toga spaljuju.

Primjenom zajedničkog spaljivanja mulja i komunalnog krutog otpada omogućava se sušenje mulja do razine samospaljivosti pa se time izbjegava potreba za dodavanjem drugog energenta. Iz navedenog slijedi da pri spaljivanju samog mulja trebalo predvidjeti sljedeće postupke:

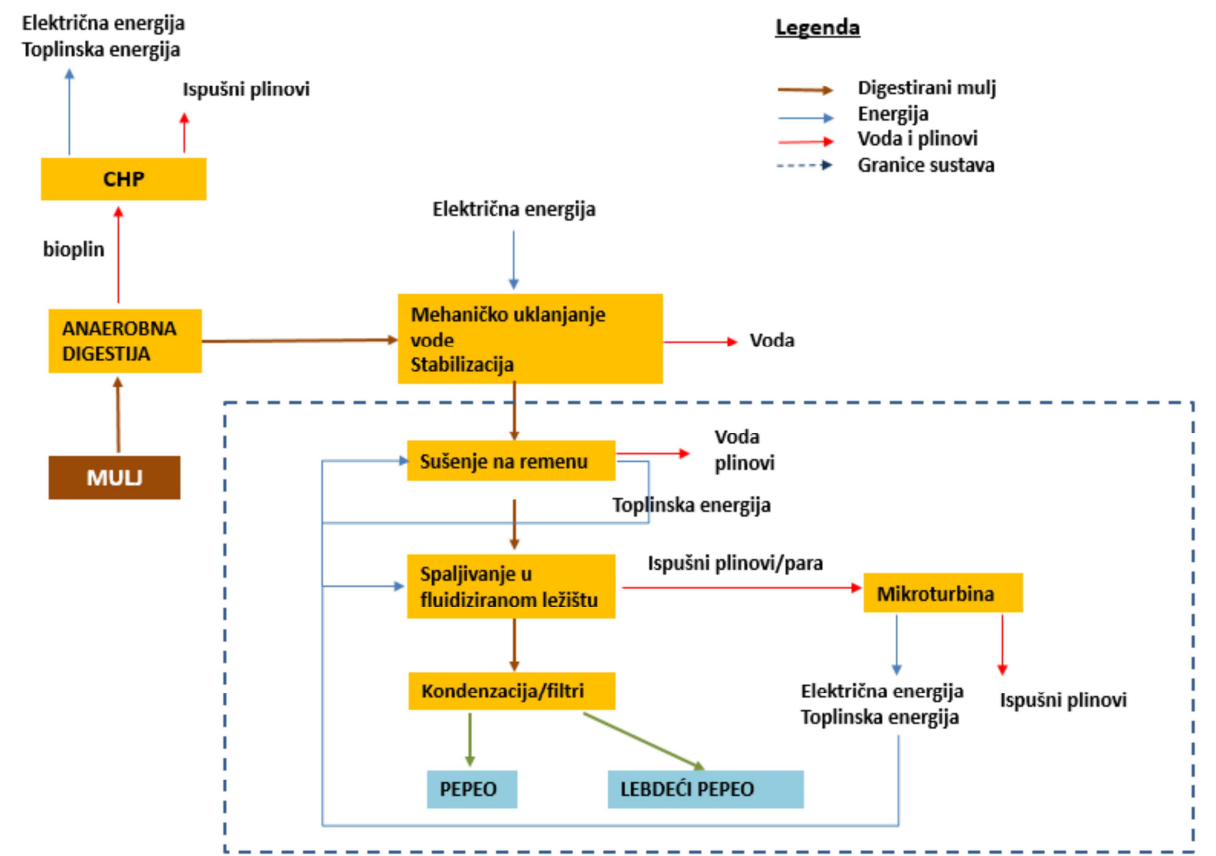
- zgušnjavanje,
- odvodnjavanje (dehidracija).

Kod sirovoga miješanog mulja iz prethodnog i naknadnog taložnika, koji sadrži oko 72 % organske tvari, samozapaljivanje se postiže kod 25,5 do 35 % suhe tvari mulja pa je potrebno manje energije za odvodnjavanje. U slučaju kad se mulj spaljuje zajedno s ostalim krutim otpadom, mogu se preporučiti sljedeći postupci:

- zgušnjavanje,

- anaerobna stabilizacija s iskorištenjem energije,
- odvodnjavanje.

Pri spaljivanju mulja postoji opasnost od onečišćenja zraka pa treba predvidjeti pročišćavanje plinova pri izgaranju. Na temperaturi od 800 oC uništavaju se neugodni mirisi, ali je potrebno dim iz peći pročititi s obzirom na sadržaj prašine (lebdećeg pepela) te dušikovih oksida, teških metala, ukupnih ugljikovodika i otrovnih organskih spojeva. Slika 11. prikazuje primjer procesa termičke obrade mulja.



**Slika 11.** Primjer procesa termičke obrade mulja

Izvor: [http://www.eihp.hr/wp-content/uploads/2015/09/MarinM\\_Eihp.pdf](http://www.eihp.hr/wp-content/uploads/2015/09/MarinM_Eihp.pdf)

## 9.4. Primjena u poljoprivredi i šumarstvu

### 9.4.1. Poljoprivredna uporaba

Uporaba mulja u poljoprivredi ima za cilj ponovnu uporabu hranjivih tvari sadržanih u mulju 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.

Europska regulativa koja se odnosi na korištenje mulja u poljoprivredi je Direktiva o otpadnom mulju 86/278/EEC. U zakonskim okvirima RH ona je sadržana u Pravilniku 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)<sup>13</sup>

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,

---

<sup>13</sup> (Pravilnik, 2008) – Citirane odredbe Pravilnika o gospodarenju muljem iz uređaja za pročišćavanje otpadnih voda kada se mulj koristi u poljoprivredi (NN 38/08)

- otpadni mulj iz ostalih uređaja za pročišćavanje otpadnih voda (Pravilnik, 2008).

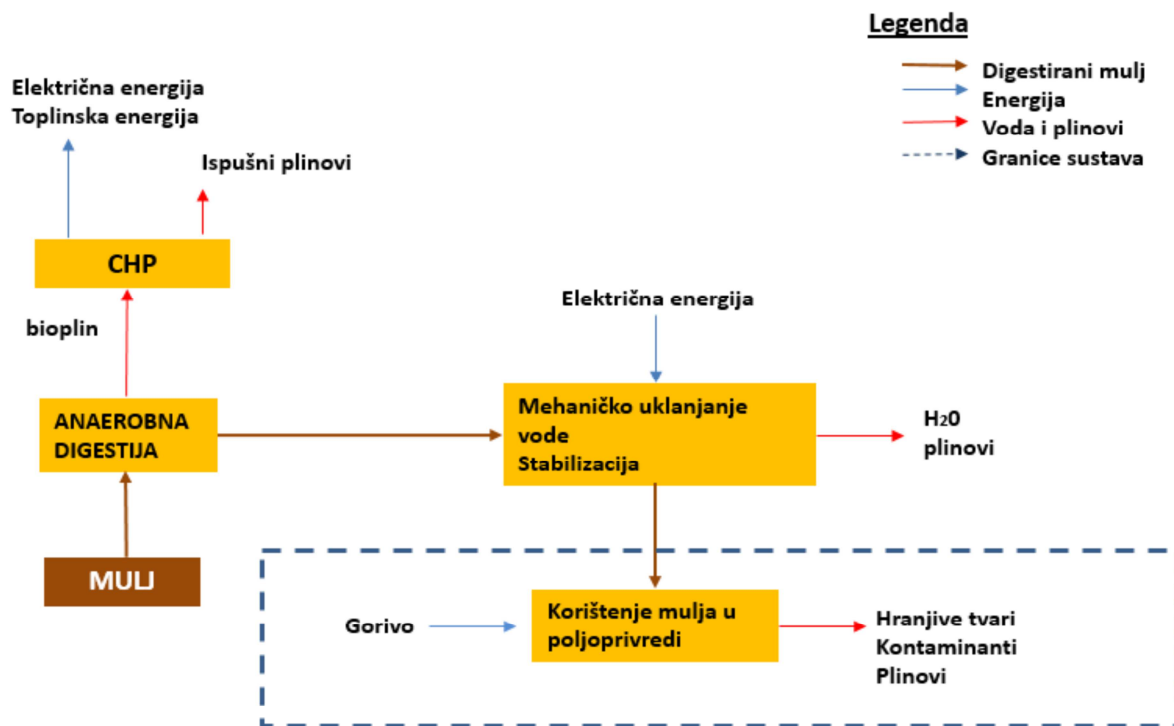
Istim Pravilnikom obrađeni je mulj definiran kao otpadni mulj koji je podvrgnut biološkoj, kemijskoj ili toplinskoj obradi, dugotrajnom skladištenju ili bilo kojem drugom postupku kojim se znatno smanjuju fermentabilnost i opasnosti po zdravlje koje bi proizišle iz njegovog korištenja.

U poljoprivredi je dozvoljeno koristiti samo obrađeni mulj koji:

- sadrži teške metale u količinama koje nisu veće od dopuštenih vrijednosti,
- 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).



**Slika 12.** Proces korištenja mulja u poljoprivredi

Izvor: [http://www.eihp.hr/wp-content/uploads/2015/09/MarinM\\_Eihp.pdf](http://www.eihp.hr/wp-content/uploads/2015/09/MarinM_Eihp.pdf)

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

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

## 9.4.2. Napoljoprivredna 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 energetskih usjeva).

Primjena mulja na nepoljoprivrednim zemljištima ima zanemariv utjecaj na ljudski hranidbeni lanac, za razliku od primjene na poljoprivrednom zemljištu. Čimbenici koji određuju korištenje na nepoljoprivrednom zemljištu su:

- tip tla i karakteristike,
- kretanje i otjecanje vode,
- kretanje hranjivih tvari i metala,
- topografija,
- planirani usjevi.

Šumska tla su pogodna 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:

- 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),
- bioetanol (usjevi bazirani na pšenici ili škrobu koji su fermentirani za proizvodnju etanola),
- 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 na 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 nitrata 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.

## **9.5. 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: korištenje na poljoprivrednom zemljištu, rekultivacija, sanacija (rudarsko-industrijski zaštitni nasipi, onečišćene/zagađene lokacije i odlagalište otpada) i hidrosjetva.

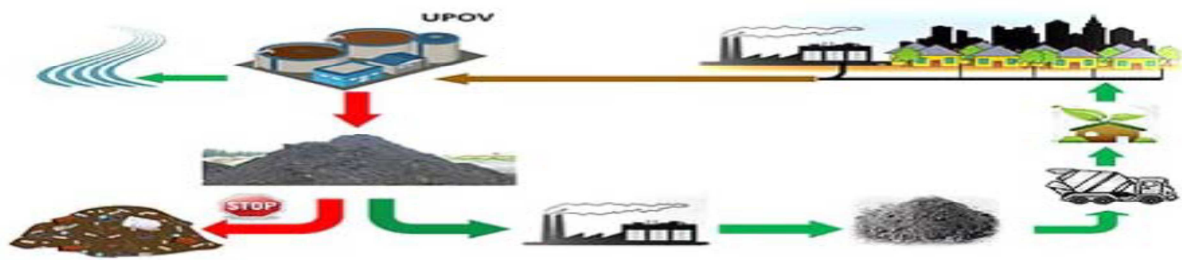
## 9.6. Primjena u građevinskoj industriji

Građevinska industrija je značajan potrošač prirodnih resursa i materijala, što ju čini sektorom s ogromnim potencijalom za korištenje otpadnih materijala nastalih unutar područja građevinarstva, ali i kroz aktivnosti u drugim sektorima. Korištenje takvih materijala omogućava smanjenje u potrošnji energije, pridonosi očuvanju prirodnih (ne)obnovljivih resursa te smanjuje ogromne količine otpadnog materijala koji se odlaže u okoliš. Iako se industrijski otpadni materijali mogu inkorporirati u cementne materijale različitim tradicionalnim metodama, njihovi udjeli u takvim materijalima su relativno mali kako bi se izbjegao neželjeni gubitak određenih svojstava dobivenih materijala.

Metodom spaljivanja mulja vrši se energetska oporaba, međutim pepeo nastao spaljivanjem treba trajno zbrinuti. Postupak spaljivanja mulja započinje kada se stabiliziran i dehidriran mulj koji sadržava 18 – 35% ST uvodi u postupak sušenja. Nakon sušenja, mulj sadrži 75 – 95% ST te se uvodi u peći gdje se odvija spaljivanje. Pepeo dobiven spaljivanjem mulja ISSA (engl. incinerated sewage sludge ash) je fino granulirani otpadni materijal, potencijalno primjenjiv kao dodatak u proizvodnji građevinskih proizvoda. Dosadašnja praksa na globalnoj razini nudi nekoliko mogućih rješenja recikliranja pepela nastalog spaljivanjem mulja:

- korištenje ISSA u proizvodnji sinteriranih materijala,
- korištenje ISSA u proizvodnji laganog agregata,
- korištenje mulja/ISSA pri izgradnji prometnica,
- korištenje mulja/ISSA u funkciji poboljšanja tla,
- korištenje ISSA u betonskoj industriji.

Velik je broj istraživanja provedenih o mogućnostima primjene ISSA u građevinskoj industriji. Hoće li ukupni učinci dodavanja ISSA biti korisni ili štetni za konačni proizvod ovisi o udjelu zamjene originalnih sirovina s ISSA te svojstvima i sastavu ISSA.



**Slika 13.** Grafički prikaz ciklusa u kojem se pepeo dobiven spaljivanjem mulja s UPOV-a koristi kao zamjena za dio originalnih sirovina u betonskoj industriji

Izvor: [http://www.grad.hr/rescue/materijali/1-radionica/PRIRUCNIK\\_Koristenje-mulja-s-UPOV-u-betonskoj-industriji.pdf](http://www.grad.hr/rescue/materijali/1-radionica/PRIRUCNIK_Koristenje-mulja-s-UPOV-u-betonskoj-industriji.pdf)

## **10. MBR UREĐAJ ZA PROČIŠĆAVANJE OTPADNIH VODA VRSAR**

Suvremeni uređaji za pročišćavanje otpadnih voda koji ultrafiltracijom na membranama te dodatnom dezinfekcijom postižu najviši III. stupanj pročišćavanja predstavljaju budućnost održivog upravljanja otpadnim vodama. Ne samo da se na taj način čuva okoliš i naš najvrjedniji resurs – more, već se pročišćena voda može ponovno koristiti za zalijevanje zelenih površina. Mulj nastao kao nusprodukt pročišćavanja otpadnih voda, postupkom kompostiranja pretvara se u resurs koji će se moći koristiti u poljoprivredi. Vođeni navedenim činjenicama predstavnici Odvodnje Poreč d.o.o. zajedno sa predstavnicima jedinica lokalnih samouprava Grada Poreča, Općine Vrsar, Općine Tar Vabriga i Općine Funtana krenuli su u projekt izgradnje četiriju novih uređaja za pročišćavanje otpadnih voda potpomognuti sredstvima iz EU fondova.

Područje grada Poreča dijeli se na dvije aglomeracije i to aglomeraciju Poreč sjever i aglomeraciju Poreč jug kojoj pripada i područje Općine Funtana, dok područje Općine Vrsar spada u aglomeraciju Vrsar i područje općine Tar – Vabriga spada u aglomeraciju Lanterna. U tijeku je priprema dokumentacije za izgradnju membranskih uređaja za pročišćavanje otpadnih voda trećeg stupnja.

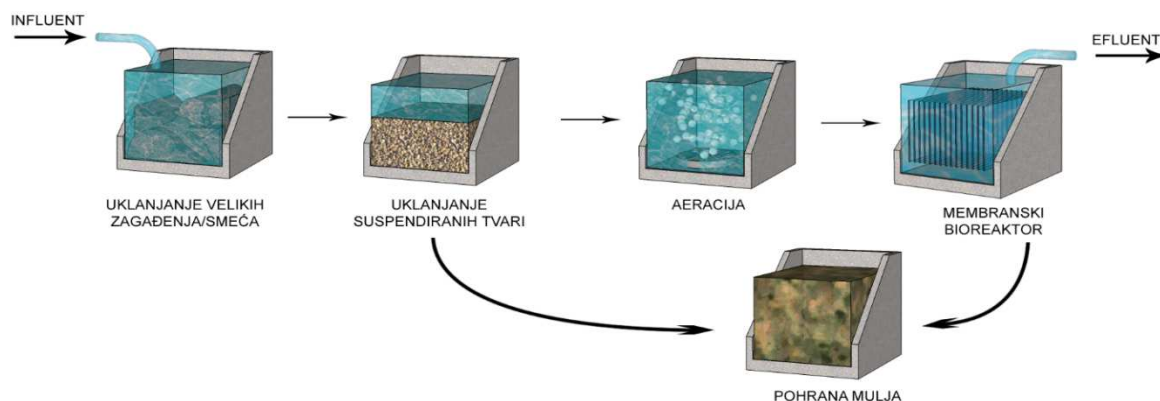
Urđaji će biti kapaciteta:

- aglomeracija Lanterna 30.000 ES,
- aglomeracija Poreč sjever 37.000 ES,
- aglomeracija Poreč jug 48.000 ES,
- aglomeracija Vrsar 22.500 ES.

U nastavku ovog rada analizirati će se tehnički, tehnološki i financijski aspekti novog uređaja za pročišćavanje otpadnih voda Vrsar.

## 10.1. Općenito o membranskoj tehnologiji pročišćavanja otpadnih voda

Od početka prvih istraživanja membransko bioloških reaktora (MBR), prije više od 30 godina do danas, razvijeno je nekoliko generacija MBR sistema. Membranski bioreaktori (MBR) su tehnološka rješenja za pročišćavanje otpadnih voda koja koriste kombinaciju tradicionalnih procesa pročišćavanja (biorazgradnja organskih spojeva i biološko uklanjanje nutrijenata) s membranskim procesom separacije (mikrofiltracija i ultrafiltracija). Tradicionalni pristup pročišćavanju otpadnih voda obično uključuje taložnike i jedinicu za filtraciju i dezinfekciju. MBR sustav može zamijeniti taj proces membranom na kojoj se odvija separacija tekuće i krute faze, jednako kao i filtracija bakterija, parazita i virusa. Efluent kao produkt obrade otpadne vode u MBR sustavu sadrži vrlo nisku koncentraciju bakterija, ukupnih suspendiranih krutih čestica, organskih spojeva i fosfora. Također ne sadrži otopljene spojeve koji nisu biorazgradivi i koji se uklanjaju zajedno s muljem. Nadalje, efluent prolazi kroz proces dezinfekcije na višoj razini. Dodatne pogodnosti MBR sustava su manji prostorni zahtjevi i sučelje koje je jednostavno za korištenje i omogućuje lakoću upravljanja. Najveći nedostatak MBR sustava su visoki troškovi u usporedbi s drugim konvencionalnim sustavima s aktivnim muljem. Iako je MBR tehnologija načelno skuplja u odnosu na ostale konvencionalne tehnologije sve se veći broj korisnika odlučuje za primjenu iste. Slika 14. prikazuje MBR postupak obrade otpadnih voda.



**Slika 14.** MBR proces obrade otpadnih voda

Izvor: <http://www.ips-konzalting.hr/index.php/hr/usluge-menu-hr/prociscavanje-voda-menu-hr?id=140:mbr-tehnologija&catid=14>

## 10.2. Postojeće stanje odvodnje i pročišćavanja otpadnih voda na području aglomeracije Vrsar

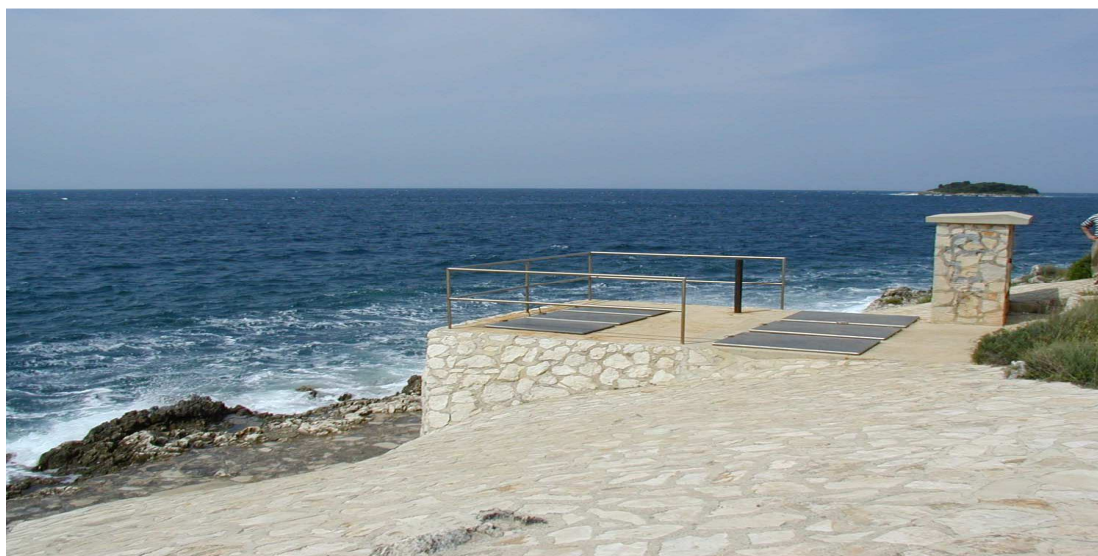
Odvodnju otpadnih voda na području aglomeracije Vrsar oblikuje područje koje se prostire od uvale Fajban na sjeveru do kompleksa Koversada na jugu, a obuhvaća oko 20 km kanalizacijskih cjevovoda i 7 crpnih stanica, kojima se otpadna voda prikuplja i dovodi do CS Petalon, te tlačnim cjevovodom (DN 225; L= 95 m) crpi na postojeći UPOV Vrsar (Petalon).

UPOV Vrsar (dosadašnji naziv Petalon) smješten je na rtu Petalon, na ograđenoj lokaciji ukupne površine 1410 m<sup>2</sup> i u sadašnjoj izgrađenosti obuhvaća sljedeće opremljene građevine i procese:

- ulazni kanal u koji je ugrađeno rotacijsko pužno sito kapaciteta 110 l/s, otvori na situ 3 mm, (Rotomat RO 2, 1000/3. H.Huber) s mimovodnim kanalom,
- aerirani pjeskolov i mastolov za 110 l/s, (za vršna opterećenja u funkciji flotacijskog bazena),
- mjerni kanal s UZ mjerачem protoka,
- dozažni sifon (Milerov),
- podmorski ispust PEHD DN 500, ukupne duljine 488 m (kopnena dionica duljine 70 m i podmorska dionica duljine 418 m), difuzor na dubini od 30 m,
- sustav za izdvajanje taloga i flotata iz PM, flokulaciju uz dodatak polielektrolita i ocjeđivanje na vijčanoj preši (H.Huber) te transport u kontejner za odvoz na odlagalište,
- sustav za doziranje i obradu otpadne vode koagulantom (FeCl<sub>3</sub>) i flokulantom (polielektrolit) za vršna opterećenja.

Sveukupna oprema, izuzevši aerirani pjeskolov i mastolov, smještena je u pogonsku zgradu. Cjelokupni sustav odvodnje projektiran je i izgrađen kao razdjelni sustav koji prikuplja sanitarne otpadne vode, ali se u kanalizaciji pojavljuje i određena količina „tuđih voda“, prvenstveno u kišnom razdoblju, kao posljedica procjeđivanja kroz poklopce kanalizacijskih okana i neregistriranih priključaka, te od povremenih prodora mora u sustav. Priključenost stanovništva na izgrađeni sustav javne odvodnje je

iznimno velika i iznosi oko 95%. Kakvoća otpadne vode pročišćene na postojećem uređaju ne zadovoljava propisane vrijednosti pokazatelja za ispuštanje u obalno more, a prema Državnom planu za zaštitu voda, NN br. 8/99 i prema Pravilniku o graničnim vrijednostima opasnih i drugih tvari u otpadnim vodama, NN br. 94/08. U skladu sa vodopravnom dozvolom, ispitivanja kakvoće ispuštene vode iz uređaja vrše se jednom mjesečno.



**Slika 15.** Crpna stanica Petalon

Izvor: *autor*

### 10.3. Količine otpadnih voda

Dnevnim mjerenjima protoka na lokaciji postojećeg uređaja Petalon dobivene su srednje vrijednosti opisane u tablici.

| <b>Prosječni dnevni protoci – postojeći sustav</b>      |        |
|---|--------|
| Najveći prosječni dotok - kolovoz (m <sup>3</sup> /dan) | 2.100  |
| Najmanji prosječni dotok – zima (m <sup>3</sup> /dan)   | 350    |
| Najveći zabilježeni dnevni dotok (m <sup>3</sup> /dan)  | 2.800  |
| Sadašnja mjerodavna veličina aglomeracije ES (ljetno)   | 15.000 |
| Sadašnja mjerodavna veličina aglomeracije ES (zimno)    | 2.500  |

**Tablica 3.** Sadašnje hidrauličko opterećenje sustava

Izvor: *Odvodnja Poreč d.o.o., interni statistički podaci*

Prosječni protoci polazna su točka za dimenzioniranje novog uređaja za pročišćavanje otpadnih voda. Uz to bitna je i projekcija razvoja sustava odvodnje na području aglomeracije kao i projekcija naseljavanja istoga, a u svrhu kvalitetnog i dugoročnog rješavanja problematike pročišćavanja.

## 10.4. Mjerodavne veličine opterećenja

Izgradnja uređaja za pročišćavanje otpadnih voda Vrsar planira se na lokaciji postojećeg uređaja koji je smješten u turističkom naselju Petalon u Vrsaru. Površina parcele planirane za izgradnju uređaja iznosi 8.902,00 m<sup>2</sup>. Provedenim analizama utvrđene su mjerodavne veličine opterećenja i potrebnog kapaciteta uređaja Vrsar. Simulirana su kretanja prirodnog prirasta domicijelnog stanovništva kao i kretanja u turizmu za razdoblje od cca 20 godina. Uz to simulirani su vršni dnevni dotoci i dotoci tuđih voda. Potrošnja vode po glavi stanovnika na dnevnoj bazi iznosi 150 litara.

| Usvojene mjerodavne veličine za dimenzioniranje uređaja                            |              |               |
|--|--------------|---------------|
|  | zima         | ljetno        |
| Usvojeni broj ekvivalenata (ES)  | <b>3.750</b> | <b>22.500</b> |
| Dnevna količina dotoka u sušnom periodu (m <sup>3</sup> /d)                        | <b>563</b>   | <b>3.375</b>  |
| Satna prosječna količina dotoka u sušnom periodu (m <sup>3</sup> /h)               | 24           | 141           |
| Koeficijent max dotoka /h  | 24/16        | 24/16         |
| Max.satna količina dotoka u sušnom periodu (m <sup>3</sup> /h)                     | <b>35</b>    | <b>211</b>    |
| Dnevni dotok tuđih voda =20 km x 10.3 m <sup>3</sup> /km x 1.1 (m <sup>3</sup> /d) | 225          | 225           |
| Koeficijent dotoka tuđih voda u satu   | 24/4         | 24/4          |
| Ukupna količina tuđih voda u satu (m <sup>3</sup> /h)                              | 56           | 56            |
| Dnevni dotok u kišnom periodu (m <sup>3</sup> /d)                                  | <b>788</b>   | <b>3.600</b>  |
| Max.satni dotok u kišnom periodu (m <sup>3</sup> /h)                               | <b>91</b>    | <b>267</b>    |
| Trajanje zimske i ljetne sezone u mjesecima  | <b>9</b>     | <b>3</b>      |
| Usvojeno hidrauličko opterećenje po 1 ES (l/d)                                     | 150          |               |

**Tablica 4.** Usvojene mjerodavne veličine za dimenzioniranje uređaja

Izvor: *Idejni građevinsko tehnološki projekt UPOV-a Vrsar*, Fluming d.o.o. Rijeka, prosinac 2010. g.



## 10.5. Zahvat u prostoru

Zahvatom u prostoru planirana je izgradnja:

- građevine za mehaničku predobradu otpadne vode,
- građevine za biološku obradu vode MBR tehnologijom,
- građevine za spremanje, dezinfekciju i distribuciju pročišćene vode na ponovnu uporabu,
- građevine za obradu viška biološkog mulja,
- građevine za obradu onečišćenog zraka.



**Slika 16.** 3D projekcija izgleda budućeg UPOV-a Vrsar

Izvor: *Idejni građevinsko tehnološki projekt UPOV-a Vrsar*, Fluming d.o.o. Rijeka, prosinac 2010. g.

U tablici 5. prikazana je bruto površina budućih građevina u sklopu uređaja za pročišćavanje.

| ISKAZ KVADRATURA                | Postojeće građevine | Zatvorene građevine | Natkriveni prostori | Otvorene građevine | Bruto površine |
|---------------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|--------------------|----------------|
|                                 | m <sup>2</sup>      | m <sup>2</sup>      | m <sup>2</sup>      | m <sup>2</sup>     | m <sup>2</sup> |
| Pogonska zgrada 1               | 127,29              |                     |                     |                    | 144,28         |
| Pogonska zgrada 2               |                     | 311,25              |                     |                    | 348,78         |
| Građevina br.3 (MBR)            |                     | 338,80              |                     | 520,00             | 967,30         |
| Pogonska zgrada 3               |                     | 163,83              | 101,50              | 13,40              | 319,11         |
| Pjeskolov i mastolov            |                     | 23,27               |                     |                    | 29,52          |
| Mjerač protoka                  |                     |                     |                     | 3,60               | 6,84           |
| Dozažni sifon                   | 35,34               |                     |                     |                    | 35,34          |
| Spremnik pročišćene vode        |                     | 468,80              |                     |                    | 469,53         |
| Upravna zgrada                  |                     | 149,82              | 9,30                |                    | 173,86         |
| Agregatska stanica i GRO        |                     | 20,12               |                     |                    | 25,00          |
| Flotacijski bazen               | 75,24               |                     |                     |                    | 75,24          |
| <b>Ukupno</b>                   | <b>237,87</b>       | <b>1 475,89</b>     | <b>110,8</b>        | <b>537,00</b>      | <b>2594,80</b> |
| <b>Ukupnobruto površine</b>     | <b>2594,80</b>      |                     |                     |                    |                |
| Trafostanica                    |                     | <b>25,00</b>        |                     |                    | <b>25,00</b>   |
| <b>Sveukupno bruto površine</b> | <b>2.619,80</b>     |                     |                     |                    |                |

**Tablica 5.** Prikaz bruto površina budućih građevina u sklopu uređaja za pročišćavanje

Izvor: *Idejni građevinsko tehnološki projekt UPOV-a Vrsar*, Fluming d.o.o. Rijeka, prosinac 2010. g.

## 10.6. Tehnološki opis uređaja

Tehnološko rješenje uređaja za pročišćavanje otpadne vode Vrsar obuhvaća:

- mehaničku predobradu otpadne vode,
- biološku obradu vode MBR tehnologijom,
- dezinfekciju pročišćene vode za ponovnu uporabu,

- sustav obrade viška biološkog mulja,
- sustav obrade onečišćenog zraka.

## **10.6.1. Mehanička predobrada onečišćene vode**

### **10.6.1.1. Ulazni kanal**

Cjelokupna količina otpadne vode sustava odvodnje Vrsar dovodi se u postojeći ulazni kanal uređaja tlačnim cjevovodom iz crpne stanice Petalon. Postojeća CS Petalon opremljena je crpkama kapaciteta 110 l/s.

### **10.6.1.2. Ulazno sito**

Za izdvajanje krupnih onečišćenja, koja bi negativno utjecala na daljnji proces čišćenja, predviđena je ugradnja pužnog rotacijskog sita s otvorima 6 mm te sustavom za ispiranje i prešanje ispranog otpada.

### **10.6.1.3. Aerirani pjeskolov i mastolov**

Predviđena je ugradnja jednolinijskog kompaktnog pjeskolova i mastolova koji je opremljen sustavima za upuhivanje zraka, zgrtanje flotata i taloga, te crpkama za precrpljivanje istaloženog pijeska i flotata. Flotat se izdvaja u zasebno okno, a zbrinjavanje povjerava ovlaštenom poduzeću. (Izdvojeni flotat se može koristiti kao odlična sirovina za proizvodnju bioplina. Procijenjenih 20 l ulja/d predstavlja mogućnost proizvodnje oko 20 m<sup>3</sup>/d bioplina u postrojenju za proizvodnju bioplina.) Aerirani PM je ukopana građevina, a svi se procesi odvijaju unutar zatvorenog sustava iz kojeg se onečišćeni zrak isisava i obrađuje.

### **10.6.1.4. Mikrosito**

Za zaštitu membrana od začepjivanja ugrađuje se sito finijih perforacija (mikrosito). U novije vrijeme većina proizvođača membrana deklarira potrebu za

ugradnjom sita s otvorima  $d \leq 1,0$  mm. Izdvojeni kompaktirani otpad obrađuje se mikroniziranim živim vapnom u mješalici i odlaže u kontejner.

#### **10.6.1.5. Mjerno okno**

Zbog povremenih prodora mora u sustav javne odvodnje ugrađuje se mjerno okno u svrhu mjerenja količine prodora. Morska voda sadrži sastojke koji inhibiraju biološke procese (proces nitrifikacije), a prilagodba i obnova ovih procesa može biti dugotrajna, u ovisnosti o količini, trajanju i učestalosti dotoka mora u sustav biološkog čišćenja vode.

#### **10.6.1.6. Egalizacijski bazen**

Za ujednačenje dotoka (crpka influenta 110 l/s) i reguliranu dobavu otpadne vode u module biološkog čišćenja usvojen je dvokomorni egalizacijski bazen opremljen crpkama i sustavom upuhivanja zraka. Veličina bazena za ujednačenje dotoka je 2x250 m<sup>3</sup>. Miješanje sadržaja egalizacije osigurava se upuhivanjem krupnih mjehura zraka, sustav upuhivanja kapaciteta čime se ujedno prozračuje voda i sprečava nastanak anaerobnih uvjeta. Upuhivanje zraka uzrokuje stripiranje (izdvajanje iz vode) plinova koji su u vodi otopljeni, prvenstveno vodikova sulfida i amonijaka, pa je neophodno iz zatvorenog prostora egalizacije odsisati onečišćeni zrak i pročititi ga u sustavu obrade zraka. Kontrolirano i regulirano crpljenje otpadne vode u module biološkog pročišćavanja osigurava se ugradnjom crpki koje su frekvencijski regulirane, mjerača protoka te mjerača nivoa u egalizaciji.

### **10.6.2. Biološka obrada otpadne vode**

Membranska tehnologija zasniva se na principu biološkog procesa s aktivnim muljem, a za odvajanje vode od biomase koristi se porozna membrana (0,5 – 0,04  $\mu\text{m}$ ). Ovo omogućuje proces obrade onečišćene vode većom koncentracijom biomase i manji potreban volumen aeracijskog bazena.

Sustav odvodnje aglomeracije Vrsar karakteriziraju velike oscilacije opterećenja između turističke sezone ljeti (22500 ES) i zimskog perioda (3750 ES) s odnosom

1:6. U ovakvim uvjetima nije moguće izgraditi uređaj koji će ujednačeno funkcionirati tijekom cijele godine. Zbog navedenih oscilacija potrebno je planirati uređaj modularnog tipa ljeto/zima.

#### 10.6.2.1. Aeracijski bazen

Biološka obrada otpadne vode odvija se u aeracijskom bazenu s aktivnim muljem. Kapacitet jednog modula pokriva raspon od minimalnog zimskog opterećenja 3750 ES do maksimalnog ljetnjeg 11.250 ES.

Zimi je u radu jedan modul koji može podnijeti očekivana kratkotrajna povećanja opterećenja za blagdane kad Vrsar broji povećane boravke turista. Drugi modul se pušta u pogon isključivo za vršna opterećenja u ljetnim mjesecima. Slika 17. prikazuje primjer otvorenog aeracijskog bazena.



**Slika 17.** Otvoreni aeracijski bazen

Izvor: <http://www.gradjevinarstvo.rs/tekstovi/1494/820/sistem-za-preciscavanje-otpadnih-voda-buffalo-township-studija-slucaja>

### **10.6.2.2. Aeracijski sustav**

Aeracijskim sustavom osigurava se unos kisika u aeracijski bazen. Ugrađuju se frekvencijski regulirana puhalna kapaciteta  $Q_z = 2 \times 2250 \text{ m}^3/\text{h}$ , i unos zraka cijevnim difuzorima.

### **10.6.2.3. Membrane**

Sastavni dio MBR modula su membrane koje se smještaju u bazene odvojene od biološkog reaktora. Svaki modul sadrži po dvije zasebne i odvojene sekcije membranske filtracije. Veličina, oblik i karakteristike membranskih modula ovise o vrsti i proizvođaču.

Sustav za membransku filtraciju sačinjavaju:

- membranski blokovi (paketi),
- crpke permeata,
- crpke recirkulacije,
- crpke za pražnjenje,
- crpke za izdvajanje viška biološkog mulja,
- sustav za čišćenje membrana zrakom,
- sustav za čišćenje membrana ispiranjem odgovarajućim medijem.

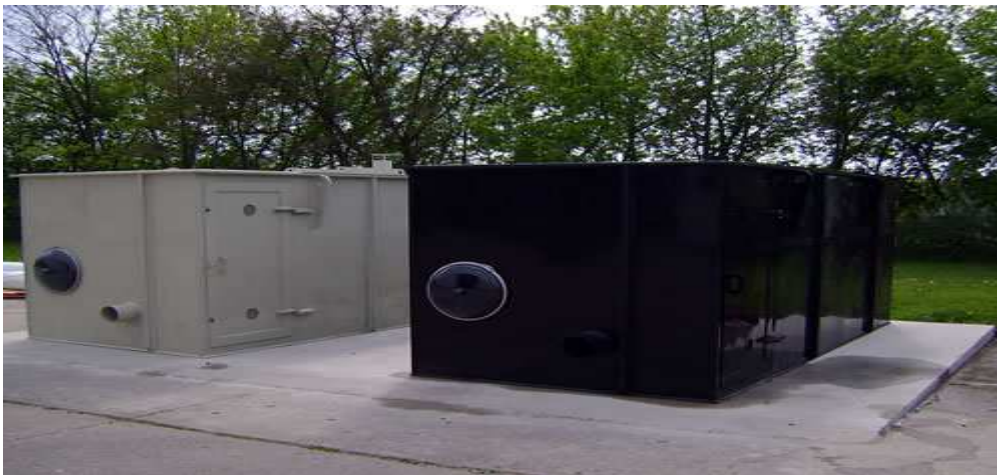
### **10.6.3. Pročišćena voda**

Pročišćena voda će se skladištiti u spremniku pročišćene vode. Dijelomično će se koristiti za navodnjavanje zelenih površina u dvorištu uređaja i kao tehnološka voda u procesima, dok će se višak upuštati podmorskim ispustom u more.

### **10.6.4. Obrada zraka**

Izvor neugodnih mirisa na uređaju mogu postati različita mjesta i postupci, a izdvajanje iz vode sastojaka koji onečišćuju zrak i izazivaju pojavu neugodnih mirisa

vrši se u procesima mehaničke predobrade otpadne vode i obrade mulja. Na temelju iskustva može se procijeniti da su dominantni uzročnici pojave neugodnih mirisa vodikov sulfid i amonijak, a u nešto manjoj mjeri merkaptan, amini, indol, skatol, organske kiseline, organski sulfidi i drugi karakteristični produkti anaerobne razgradnje. Za obradu onečišćenog zraka predloženo je biološko ispiranje zraka u reaktorima s ispunom i mogućnošću kemijske neutralizacije za slučaj kada vršna opterećenja premašuju kapacitet biološkog pročišćavanja. Biološku obradu zraka vrše mikroorganizmi nastanjeni na nosačima u kontaktnoj zoni biofiltera. Tijekom puštanja u pogon u ispunu biofiltera dodaju se selektirani mikroorganizmi za razgradnju specifičnih spojeva. Primjer vanjskog postrojenja za filtraciju zraka prikazan je na slici 18.



**Slika 18.** Primjer postrojenja za biološku filtraciju zraka

Izvor: <http://www.comteh.si/biofiltri.html>

Sustav obrade zraka sačinjavaju:

- Reaktor za biološko ispiranje zraka s plastičnim ispunama,
- recirkulacijski spremnik,
- recirkulacijske crpke i cjevovod sa sapnicama za raspršivanje radnog medija,
- puhalo zraka,
- odvajač kapljica,
- sustav za podešavanje pH vrijednosti, doziranje NaOH,
- mjerno-regulacijska oprema (mjerači  $H_2S$  i  $NH_3$ ; mjerači pH; anemometri).



## **10.6.5. Obrada biološkog viška mulja**

### **10.6.5.1. Zgušnjavanje mulja**

Strojno zgušnjavanje mulja obuhvaća disk (ili sito), flokulator s mješalicom, sustav za kontinuiranu pripremu (stanica) i doziranje (crpka) radne otopine polielektrolita, te crpku za dobavu zgušnjelog mulja u međuspremnik.

### **10.6.5.2. Dehidracija mulja**

Dehidracija mulja vršiti će se u dekanteru (centrifugi). Očekivana koncentracija ST na izlazu iz dekantera je minimalno 21%. Sustav za dehidraciju mulja obuhvaća i dobavnu crpku mulja iz privremenog spremnika, stanicu za pripremu i doziranje radne otopine flokulanta te transporter za dovod dehidriranog mulja do mješalice.

### **10.6.5.3. Stabilizacija mulja**

Nakon dehidracije biološki mulj se naknadno obrađuje vapnom. Ovisno o krajnjoj namjeni, sadržaju ST u mulju te udjelu organske tvari, različita je i količina vapna koju treba dodati. Higijenzacija mulja postiže se doziranjem CaO od 100 g/kg ST.

## **10.7. Zbrinjavanje obrađenog mulja i otpada**

Proizvedeni mulj i otpad mora biti adekvatno zbrinut i u skladu sa zakonskim propisima. Na uređaju za pročišćavanje Vrsar predviđena je proizvodnja slijedećih vrsta i količina otpada uz opisani način zbrinjavanja:

- ispran i kompaktirani otpad sa ulaznog sita zbrinjava se odlaganjem na deponij komunalnog otpada u količini od cca 40 t/god.,
- isprani pijesak može se ponovno koristiti u niskogradnji ili odložiti na građevinski deponij u količini od cca 11 t/god.,
- izdvojeni flotat se predaje ovlaštenoj tvrtki na zbrinjavanje u količini od cca 50 m<sup>3</sup>/god.,



- izdvojeni otpad sa finog sita stabiliziran vapnom odlaže se na deponij komunalnog otpada u količini od cca 40 t/god,
- stabiliziran biološki mulj sa 23% suhe tvari odlaže se u centralnu kompostanu (Poreč) radi budućeg korištenja u poljoprivredi i to u količini od cca 540 t/god.

## 10.8. Napajanje električnom energijom

Elektroenergetski priključak (napajanje električnom energijom i mjerenje utroška električne energije) izvest će nadležni HEP-operator distribucijskog sustava sukladno prethodnoj elektroenergetskoj suglasnosti (PEES).

### Instalirana snaga i vršna snaga UPOV-a

|                          |          |
|--------------------------|----------|
| Ukupna instalirana snaga | 630 [kW] |
| Vršna snaga              | 450 [kW] |

### Potrošnja električne energije

|                                   |               |
|-----------------------------------|---------------|
| Dnevna max potrošnja za 22.500 ES | 5.543 [kWh]   |
| Dnevna max potrošnja za 3.750 ES  | 1.091 [kWh]   |
| Potrošnja u sezoni (3 mjeseca)    | 498.865 [kWh] |
| Potrošnja van sezone (9 mjeseci)  | 294.448 [kWh] |
| Godišna potrošnja                 | 793.313 [kWh] |

## 10.9. Troškovi izgradnje

Procijenjena vrijednost radova za izgradnju, opremanje i puštanje u pogon uređaja za pročišćavanje otpadnih voda Vrsar iznosi 51.177.004,79 kn.

Kao što je prethodno navedeno troškovi izgradnje i održavanja uređaja membranske tehnologije znatno su veći od troškova izgradnje i održavanje uređaja nižih stupnjeva pročišćavanja, ali je razlika u kvaliteti zasigurno neupitna. Nadalje, ni utrošak električne energije nije zanemariv, ali je zato napredak u očuvanju okoliša neprocijenjiv.

## **11. ZAKLJUČAK**

Primjenom modernih tehnologija u segmentu pročišćavanja otpadnih voda znatno se pridonosi očuvanju okoliša. Iako su novija rješenja pročišćavanja otpadnih voda i zbrinjavanja mulja znatno skuplja od postojećih, predstavljaju zalag za budućnost u smislu održivog razvoja. Na mulj kao nusprodukt obrade otpadnih voda treba gledati kao na obnovljivi resurs, a ne kao na otpad. Razvojem tehnologije otvaraju se novi načini uporabe i konačnog zbrinjavanja mulja. Na žalost, do sada u Republici Hrvatskoj problematika zbrinjavanja mulja nije sustavno riješavana, a niti zakonski dorečena.

## 12. LITERATURA I INTERNET IZVORI

1. Berthold Gunder: The membrane-coupled activated sludge process in municipal wastewater treatment, Technomic, Lancaster, 2000. g.,
2. Strande, L., Ronteltap, M., Brdjanovic, D.: Fecal sludge management, IWA Publishing, London, 2014. g.
3. Vouk, D., Malus, D., Tedeschi, S.: Muljevi s komunalnih uređaja za pročišćavanje otpadnih voda, Građevinar br. 63, Zagreb, 2011. g.
4. Markanović, D.: Zbrinjavanje otpadnog mulja s uređaja otpadnih voda, Hrvatska vodoprivreda br. 206, Zagreb, siječanj – ožujak 2014. g.
5. Šišić, M., Bikić, F., Avdić, N.: Ekološki prihvatljivi načini zbrinjavanja muljeva zaostalih na uređajima za prečišćavanje otpadnih voda, 9. Naučno-stručni skup sa međunarodnim učešćem "QUALITY 2015", BiH, Neum, 2015. g.
6. Plan gospodarenja otpadom u Republici Hrvatskoj za razdoblje od 2007. do 2015. godine, NN 85/2007
7. Nacrt plana gospodarenja otpadom u Republici Hrvatskoj za razdoblje od 2016. do 2022. godine
8. Tušar, B.: Pročišćavanje otpadnih voda, Kigen d.o.o. i Geotehnički fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 2009. g.
9. Tušar, B.: Ispuštanje i pročišćavanje otpadnih voda, Croatiaknjiga, Zagreb, 2004. g.
10. Vouk, D., Nakić, D., Štirmer, N., Serdar, M.: Korištenje mulja s uređaja za pročišćavanje otpadnih voda u betonskoj industriji, ITG d.o.o. Zagreb, 2015. g.
11. Frleta, R.: Solarno sušenje biološkog mulja iz naprava za pročišćavanje, Zbornik radova sa stručnog skupa: Aktualna problematika u vodoopskrbi i odvodnji, 2009. g.
12. Idejni građevinsko tehnološki projekt uređaja za pročišćavanje otpadnih voda Vrsar, Fluming d.o.o. Rijeka, prosinac 2010. g.
13. Studija izvodljivosti - Obrada mulja, scenariji i opcije ponovnog korištenja i uporabe, Technisches Buero fuer Kulturtechnik und Wasserwirtschaft – TBSpitaler, Poreč, 2012. g.
14. Pravilnik o gospodarenju muljem iz uređaja za pročišćavanje otpadnih voda kada se mulj koristi u poljoprivredi (NN 38/08)

15. <http://www.grad.hr/rescue/state-of-the-art/sastav-pepela-dobivenog-spaljivanjem-mulja/>
16. <http://www.grad.hr/rescue/state-of-the-art/uvod-i-zakonski-okviri/>
17. <http://www.webgradnja.hr/>
18. <https://www.slideshare.net/akrap/zatita-voda-7>
19. <http://www.energetika-net.com>
20. <http://www.almes-eko.hr/>
21. <http://www.biogreen-energy.com/>

## 13. POPIS SLIKA

|  |    |
|--|----|
| Slika 1. Promjena kakvoće vode upotrebom.....  | 14 |
| Slika 2. Kombinirana jedinica za uklanjanje finog otpada te pijeska i masti u sklopu prethodnog pročišćavanja otpadnih voda.....                                   | 24 |
| Slika 3. Primarni taložnik.....  | 25 |
| Slika 4. Shematski prikaz MBR tehnologije obrade otpadnih voda.....  | 26 |
| Slika 5. Procesi obrade mulja.....   | 35 |
| Slika 6. Tornjevi anaerobne obrade mulja na uređaju za pročišćavanje u Zagrebu .....   | 36 |
| Slika 7. Primjer postrojenja za dehidraciju mulja.....   | 37 |
| Slika 8. Postrojenje za solarno sušenje mulja.....   | 39 |
| Slika 9. Postupak plinifikacije mulja.....   | 46 |
| Slika 10. Karakteristike mulja ovisno o stupnju obrade.....  | 48 |
| Slika 11. Primjer procesa termičke obrade mulja.....   | 49 |
| Slika 12. Proces korištenja mulja u poljoprivredi.....   | 52 |
| Slika 13. Grafički prikaz ciklusa u kojem se pepeo dobiven spaljivanjem mulja s UPOV-a koristi kao zamjena za dio originalnih sirovina u betonskoj industriji..... | 55 |
| Slika 14. MBR proces obrade otpadnih voda.....   | 57 |
| Slika 15. Crpna stanica Petalon.....   | 59 |
| Slika 16. 3D projekcija izgleda budućeg UPOV-a Vrsar.....  | 61 |
| Slika 17. Otvoreni aeracijski bazen .....  | 65 |
| Slika 18. Primjer postrojenja za biološku filtraciju zraka.....  | 67 |

## 14. POPIS TABLICA

|   |    |
|---|----|
| Tablica 1. Srednje vrijednosti i svojstva mulja različita podrijetla .....                    | 31 |
| Tablica 2. Sadržaj hranjivih tvari u mulju .....  | 34 |
| Tablica 3. Sadašnje hidrauličko opterećenje sustava .....                                     | 59 |
| Tablica 4. Usvojene mjerodavne veličine za dimenzioniranje uređaja .....                      | 60 |
| Tablica 5. Prikaz bruto površina budućih građevina u sklopu uređaja za<br>pročišćavanje ..... | 62 |

