

Obrada otpadnih voda

Tomić, Hrvoje

Master's thesis / Diplomski rad

2019

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:169:451928>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-04-03**



Repository / Repozitorij:

[Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering Repository, University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET
Diplomski studij naftnog rudarstva

OBRADA OTPADNIH VODA

Diplomski rad

Hrvoje Tomić
N162

Zagreb, 2019.

OBRADA OTPADNIH VODA

Hrvoje Tomić

Diplomski rad izrađen: Sveučilište u Zagrebu
Rudarsko-geološko-naftni fakultet
Zavod za naftno inženjerstvo
Pierottijeva 6, 10000 Zagreb

SAŽETAK

Naglim porastom ljudske populacije na Zemlji u zadnjih nekoliko desetljeća te razvojem urbanizacije i industrijalizacije, dolazi do sve većeg onečišćenja vodnih sustava. Jedan od gorućih problema su otpadne vode. Velike količine otpadne vode ispušta se u mora, rijeke ili jezera bez prethodne obrade te ugrožavaju okoliš i ljudsko zdravlje. U diplomskom radu su opisani izvori otpadne vode, procesi obrade otpadnih voda, te zakonska regulativa Republike Hrvatske vezano uz ispuštanje otpadnih voda u okoliš.

Ključne riječi: otpadne vode, pročišćavanje otpadnih voda, obrada mulja

Diplomski rad sadrži: 65 stranica, 4 tablice, 27 slika i 28 referenci.

Jezik izvornika: hrvatski

Diplomski rad pohranjen: Knjižnica Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta
Pierottijeva 6, Zagreb

Voditelj: Dr. sc. Lidia Hrnčević, izvanredna profesorica RGNF-a

Ocjenjivači: Dr. sc. Lidia Hrnčević, izvanredna profesorica RGNF-a
Dr. sc. Nediljka Gaurina-Međimurec, redoviti profesor RGNF
Dr. sc. Karolina Novak Mavar, docent RGNF

Datum obrane: 6.9.2019.

WASTEWATER TREATMENT

Hrvoje Tomić

Thesis completed in: University of Zagreb
Faculty of Mining, Geology and Petroleum engineering
Department of Petroleum Engineering
Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb

ABSTRACT

The rapid growth of the human population on Earth in recent decades, along with urban development and industrialization has resulted in ever increasing pollution of water systems. One of the main problems related to water systems pollution is wastewater discharge. Large quantities of wastewater are discharged into the sea, rivers or lakes without prior treatment, endangering the environment and human health. In this master's thesis the sources of wastewater, wastewater treatment procedures and national legal regulations on discharge of waste water are described.

Keywords: wastewater, wastewater treatment, sludge treatment

Thesis contains: 65 pages, 4 tables, 27 figures and 28 references.

Original in: Croatian

Thesis deposited in: Library of Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering,
Pierottijeva 6, Zagreb

Supervisor: Associate Professor Lidia Hrnčević, PhD

Reviewers: Associate Professor Lidia Hrnčević, PhD
Full Professor Nediljka Gaurina-Međimurec, PhD
Assistant Professor Karolina Novak Mavar, PhD

Date of defense: 6.9.2019.

SADRŽAJ

POPIS SLIKA	I
POPIS TABLICA	II
POPIS KRATICA	II
1. UVOD	1
2. OTPADNE VODE	5
2.1. KUĆANSKE OTPADNE VODE	6
2.2. INDUSTRIJSKE OTPADNE VODE	8
2.3. OBORINSKE VODE	11
3. POKAZATELJI ONEČIŠĆENJA OTPADNIH VODA	112
3.1. POKAZATELJI UKUPNOG ONEČIŠĆENJA OTPADNIH VODA.....	13
3.1.1. Biokemijska potrošnja kisika (BPK)	14
3.1.2. Kemijska potrošnja kisika (KPK)	15
3.1.3. Određivanje ukupnog organskog ugljika	16
4. PROCESI OBRADNE OTPADNIH VODA	17
4.1. PRETHODNA OBRADA OTPADNIH VODA	19
4.1.1. Odstranjivanje krupnih tvari iz otpadnih voda.....	19
4.1.2. Usitnjavanje	21
4.1.3. Izjednačavanje	22
4.2. PRIMARNA OBRADA OTPADNIH VODA	23
4.2.1. Odvajanje zrnatih, pahuljastih i plivajućih čestica iz otpadnih voda.....	23
4.2.2. Neutralizacija	27
4.3. SEKUNDARNA ILI BIOLOŠKA OBRADA OTPADNIH VODA.....	28
4.3.1. Biološki procesi	28
4.3.1.1. Čimbenici bioloških procesa	29
4.3.1.2. Aktivni mulj.....	32
4.3.1.3. Primjene procesa aktivnog mulja	33
4.3.1.4. Prokapnici	35
4.3.1.5. Biološke cjediljke.....	36
4.3.1.6. Okretni biološki nosači.....	36
4.3.1.7. Lagune i stabilizacijske bare	37
4.3.2. Fizikalno-kemijski procesi.....	39
4.3.2.1. Zgrušavanje	39
4.3.2.2. Pahuljičenje.....	40
4.4. TERCIJARNA OBRADA OTPADNIH VODA	41
4.4.1. Fizikalni procesi.....	42

4.4.1.1. Filtriranje	42
4.4.1.2. Adsorpcija.....	42
4.4.1.3. Membranski procesi	43
4.4.2. Kemijski procesi	44
4.4.2.1. Kemijsko obaranje.....	44
4.4.2.2. Ionska izmjena	44
4.4.2.3. Oksidacija i redukcija.....	45
4.4.2.4. Dezinfekcija	45
4.4.3. Biološki procesi	45
4.4.3.1. Uklanjanje dušika	46
4.4.3.2. Uklanjanje fosfora	46
4.5. ZBRINJAVANJE I OBRADA PRIMARNOG MULJA	47
4.5.1. Zgrušavanje mulja.....	48
4.5.2. Stabilizacija.....	48
4.5.3. Poboljšanje svojstava mulja.....	48
4.5.4. Odvodnjavanje mulja.....	49
4.5.5. Kompostiranje.....	49
4.5.6. Toplinska obrada.....	49
5. ZAKONSKI PROPISI O ISPUŠTANJU OTPADNIH VODA	51
6. CENTRALNI UREĐAJ ZA PROČIŠĆAVANJE OTPADNIH VODA ZAGREBA	55
6.1. MEHANIČKO PROČIŠĆAVANJE OTPADNIH VODA.....	55
6.1.1. Ulazna crpna stanica	55
6.1.2. Zgrada s rešetkama	56
6.1.3. Pjeskolov-mastolov.....	57
6.1.4. Prethodni taložnici	58
6.2. BIOLOŠKO PROČIŠĆAVANJE OTPADNIH VODA	58
6.2.1. Biospremnici	58
6.2.2. Naknadni taložnici	59
6.2.3. Izlazna crpna stanica	60
6.3. OBRADA MULJA	60
7. ZAKLJUČAK	62
8. LITERATURA	64

POPIS SLIKA

Slika 2-1. Kruženja vode u hidrološkom sustavu.....	2
Slika 2-2. Izvori onečišćenja vode.....	5
Slika 2-3. Otpadne vode iz kućanstva.....	7
Slika 2-4. Industrijska otpadna voda.....	9
Slika 4-1. Dijelovi tehnološke linije obrade otpadnih voda.....	18
Slika 4-2. Gruba rešetka TrashMax®.....	20
Slika 4-3. Fina rešetka-sito ROTAMAT® Ro2.....	21
Slika 4-4. Blok shema slijeda postupaka obrade otpadnih voda.....	22
Slika 4-5. Shematski prikaz slojeva zrnatih, pahuljičastih i plivajućih čestica u otpadnoj vodi tijekom primarne obrade.....	23
Slika 4-6. Pjeskolov u postrojenju za obradu otpadnih voda u Zagrebu.....	25
Slika 4-7. Pjeskolov s kružnim tokom vode.....	26
Slika 4-8. Kružni taložnik na uređaju za pročišćavanje u Zagrebu.....	27
Slika 4-9. Promjena aktivnosti bakterija u ovisnosti o promjeni temperature otpadnih voda.....	30
Slika 4-10. Shema postupka s aktivnim muljem.....	32
Slika 4-11. Konvencionalni postupak.....	33
Slika 4-12. Postupak s potpunim miješanjem.....	34
Slika 4-13. Postupak s postupnim prozračivanjem.....	34
Slika 4-14. Prokapnik.....	35
Slika 4-15. Biološka cjediljka.....	36
Slika 4-16. Okretni biološki nosač.....	37
Slika 4-17. Postupci u stabilizacijskoj bari.....	38
Slika 4-18. Spremnik za miješanje vode i zgrušala.....	40
Slika 4-19. Spremnik za pahuljičenje.....	41
Slika 6-1. Ulazna crpna stanica s grubom rešetkom.....	56
Slika 6-2. Zgrada s finim rešetkama.....	57
Slika 6-3. Naknadni taložnici.....	59
Slika 6-4. Postrojenje za obradu mulja.....	62

POPIS TABLICA

Tablica 3-1. Vrijednosti BPK5 za vode različitog podrijetla.....	15
Tablica 4-1. Pregled glavnih bioloških postupaka.....	31
Tablica 5-1. Granične vrijednosti nekih pokazatelja kakvoće tehnološke otpadne vode Pravilnikom o graničnim vrijednostima emisija otpadnih voda.....	52
Tablica 5-2. Određivanje potrebnog stupnja pročišćavanja otpadnih voda.....	53

POPIS KRATICA

BPK - Biokemijska potrošnja kisika

BPK5 - Petodnevna biološka potrošnja kisika

CUPOVZ - Centralni uređaj za pročišćavanje otpadnih voda u Zagrebu

ES - Ekvivalent stanovnik

KPK - Kemijska potrošnja kisika

TOC (engl. *Total Organic Carbon*) – Ukupni organski ugljik

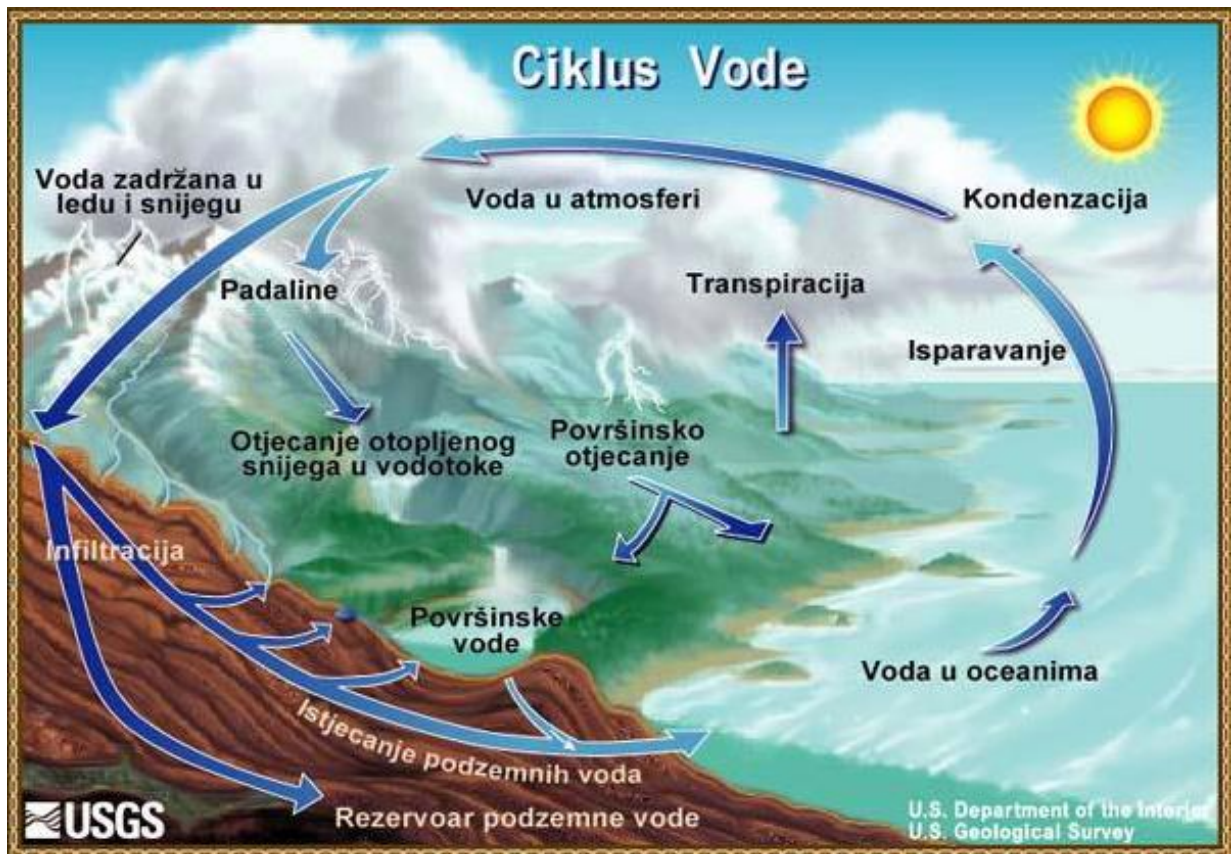
ZOV - Zagrebačke otpadne vode

1. UVOD

Čovjek u želji da iskoristi prirodna bogatstva za svoje potrebe uzrokuje dugoročne posljedice u okolišu koje izazivaju neželjene učinke za njegovu zajednicu. Gotovo da i ne postoji ljudska djelatnost koja ne utječe negativno na promjenu ravnoteže vodnih sustava. Kako bi se smanjile neželjene promjene kakvoće vode moraju se utvrditi izvori onečišćenja koji proizvode otpadne tvari i energiju.

Zbog toga što voda spada u najvažnije prirodne resurse za život na Zemlji, zaštita istih od onečišćenja i kvaliteta svih vodenih ekosustava predstavljaju prioritete u očuvanju ljudskog zdravlja. Samo 2,5% vodnih resursa na Zemlji su slatke vode, pri čemu je od toga 75% u obliku leda, dok se ostatak uglavnom koristi za vodoopskrbu stanovništva, industriju i poljoprivredu. Prirodni uzroci onečišćenja vodnih resursa poput vulkanskih erupcija, predstavljaju tek mali postotak slučajeva zagađenja vode u svijetu, dok ljudske aktivnosti i nemar uvelike utječu na promjenu sastava i kvalitete vode, pri čemu se, ispuštanjem velikih količina nepročišćene vode u okoliš dostupni resursi vode za piće dodatno smanjuju.

Voda u prirodi nikad ne miruje, neprestano se kreće s jednog mjesta na drugo i prelazi iz jednog agregatnog stanja u drugi. U atmosferi, pri prolazu kišnih kapi, voda otapa prisutne plinove te zadržava čestice dima i prašine, čime mijenja svoj sastav i svoja prirodna svojstva poprimajući kemijska svojstva tih čestica. Dolaskom vode na tlo jedan dio se odvaja u površinske, a drugi u podzemne vode. U površinske vode ulaze mikroorganizmi iz tla, te otopljene čestice stijena i minerala koje voda sakuplja i nosi svojim tokom. U podzemnim vodama se nastavljaju procesi otapanja minerala i stijena. Proces kruženja vode u prirodi naziva se hidrološki ciklus. A prikazan je na slici 2-1.



Slika 2-1. Kruženje vode u hidrološkom sustavu (USGS 2015)

Podzemne vode se često koriste za vodoopskrbu, međutim u njima često završavaju i već upotrijebljene otpadne vode, čime je mogućnost promjene njene kvalitete sve veća. Ljudske aktivnosti i nemar uvelike utječu na promjenu sastava podzemne vode i koncentracije onečišćivača u podzemnim vodama. Velike količine organskih i anorganskih otpadnih tvari, topline i radioaktivnih tvari dopijeva u vodne sustave kao produkt životnih i tehnoloških procesa.

U slučaju ispuštanja većih količina bioloških razgradivih tvari ili manjih količina nerazgradivih opasnih i štetnih tvari iz vodnih sustava u rijeke, jezera i mora može doći do velike štete, čak i takvih razmjera da voda bude neupotrebljiva za bilo kakvu namjenu.

Vodni sustavi mogu biti onečišćeni i/ili zagađeni. Onečišćenje predstavlja unošenje tvari ili energije, uslijed čega dolazi do promijene korisnih svojstava voda, pogoršava stanje vodenih ekosustava i ograničuje namjenska uporaba voda. Zagađenje predstavlja onečišćenje koji su opasni za ljudsko zdravlje, žive organizme i vodne sustave, prouzročeno ljudskom djelatnosti izravno ili neizravno. (Enciklopedija 2018).

Vrste onečišćenja otpadnih voda su (Hogan 2014):

- kemijsko,
- biološko,
- fizikalno,
- radiološko onečišćenje.

Pokazatelji ukupnog onečišćenja otpadnih voda su biokemijska (BPK) i kemijska potrošnja kisika (KPK). Na temelju vrijednosti BPK i KPK određuje se kakvoća vode prema kojoj se optimira rad uređaja za pročišćavanje otpadnih voda (Glancer-Šoljan et al. 2002).

Pri obradi otpadnih voda primjenjuju se fizikalni, kemijski, fizikalno-kemijski i biološki procesi obrade. Navedeni procesi se temelje na otapanju i/ili raspršivanju tvari u kapljevine ili plinove; izdvajanju krutine iz tekuće faze, kapljevine od vode i plinova iz vode, te smanjenju broja mikroorganizama koji izazivaju bolesti. Krajnji rezultat procesa obrade otpadnih voda je smanjenje onečišćenja do te mjere da ispuštanjem obrađene vode u prirodne prijemnike (vodni sustavi) ne dolazi do ugrožavanja zdravlja ni promjena u ekosustavu.

Obrada otpadnih voda uključuje prethodno i 3 stupnja pročišćavanja otpadnih voda. Prethodni, prvi (primarna obrada) i drugi (sekundarna ili biološka) stupanj obrade otpadnih voda se još nazivaju i postupcima konvencionalnog pročišćavanja, dok se procesi koji se primjenjuju kod trećeg (tercijalna obrada) stupnja pročišćavanja, kategoriziraju kao napredna tehnološka rješenja pročišćavanja otpadnih voda. Nakon obrade otpadnih voda na uređajima za pročišćavanje ostaje mulj koji se, zbog svojih karakteristika, bez dodatne obrade ne smije ispuštati u okoliš. Za ispuštanje pročišćenih i nepročišćenih otpadnih voda koriste se prirodni (jezera, mora) i umjetni (kanali, akumulacije) prijemnici (Tedeschi 1997).

Ispuštanje obrađenih otpadnih voda u prirodne prijemnike završni je proces u upravljanju obradom otpadnih voda. Najvažnija odluka u procesu upravljanja obradom otpadnih voda je izbor mjesta i načina ispusta, kao i stupanj obrade (pročišćavanja) otpadnih voda. Prema zakonskim odredbama dozvoljava se ispuštanje pročišćenih otpadnih voda u površinske vodotokove (rijeke, potoci, melioracijski kanali) i mora. Zakonom su propisane maksimalne dozvoljene vrijednosti onečišćenih tvari koje, prije ispuštanja u prijemnike otpadne vode moraju zadovoljiti. Projektiranje i građenje sustava odvodnje i pročišćavanja otpadnih voda u Hrvatskoj temelji se na pravnim normama - zakonskim i podzakonskim aktima (uredbama, pravilnicima, planovima). Pokazatelji kakvoće industrijskih otpadnih voda, koje se ispuštaju u sustav javne odvodnje ili u površinske vodotokove te njihove

granične vrijednosti u Hrvatskoj su propisani *Pravilnikom o graničnim vrijednostima emisija otpadnih voda* (NN 80/2013, 43/2014, 27/2015 i 3/2016).

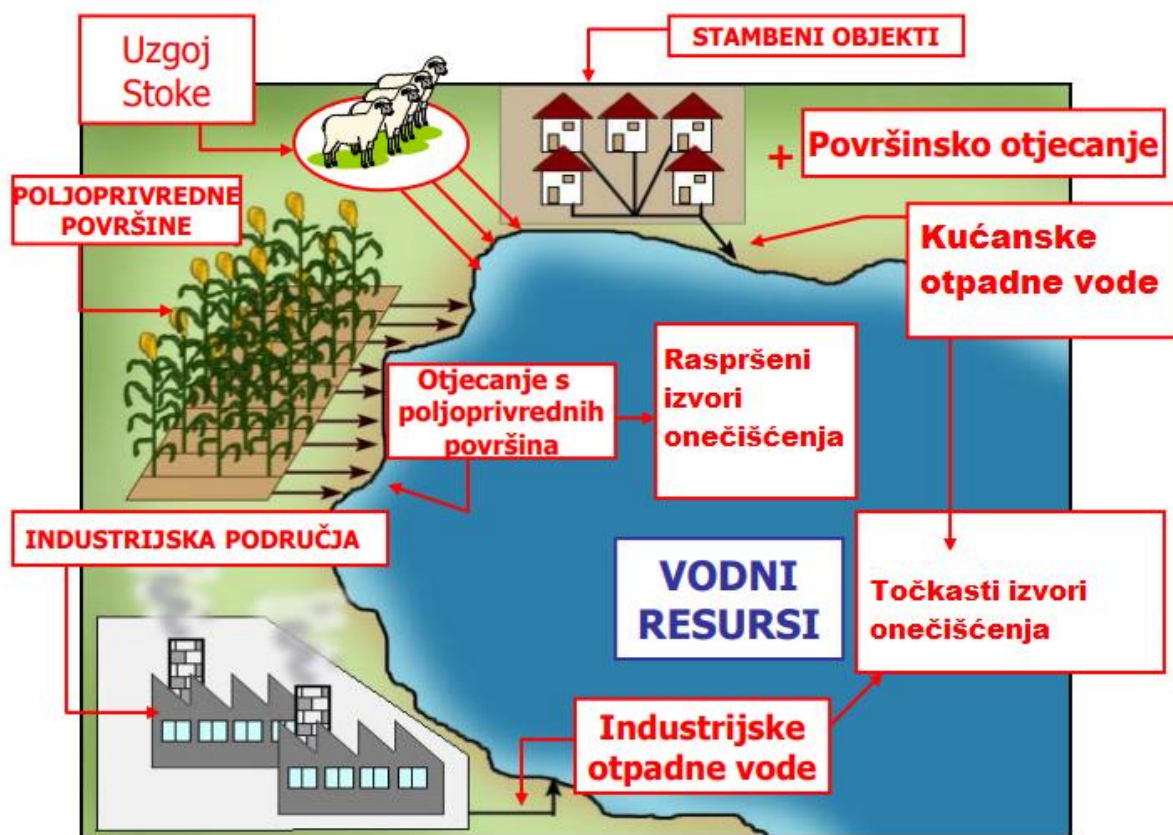
Diplomskom rad se bavi obradom otpadnih voda. U njemu je dat pregled otpadnih voda prema mjestu nastanka, vrsta i pokazatelja onečišćenja otpadnih voda i procesa obrade otpadnih voda. Osim toga obrađeni su i zakonski propisi o ispuštanju otpadnih voda i procesi obrade otpadnih voda grada Zagreba koja se izvodi u postrojenju za pročišćavanje otpadnih voda tvrtke Zagrebačke otpadne vode d.o.o. (ZOV) čija se izgradnja počela pripremati krajem sedamdesetih godina.

2. OTPADNE VODE

Otpadnim vodama se smatraju otpadne tvari u tekućem obliku. Prema mjestu nastanka otpadne vode se mogu podjeliti na (Štrkalj 2014):

- a) kućanske,
- b) industrijske,
- c) oborinske.

Otpadne vode iz kućanstva i industrije se kategoriziraju kao točkasti ispusti. Otpadna voda se prikuplja sustavom kanala te se ispušta kanalskim ispustima u vodne sustave. Oborinske vode se kategoriziraju kao raspršeni ispusti, koje dopjevaju izravno iz atmosfere u vodne sustave ili nakon ispiranja površine šuma, livada ili drugih površina, ulaze u prijamnike. Na slici 2-2 su prikazani izvori onečišćenja vode. U nastavku poglavlja bit će obrađeni pojedini izvori onečišćenja voda.



Slika 2-2. Izvori onečišćenja vode (Malus 2007)

2.1. Kućanske otpadne vode

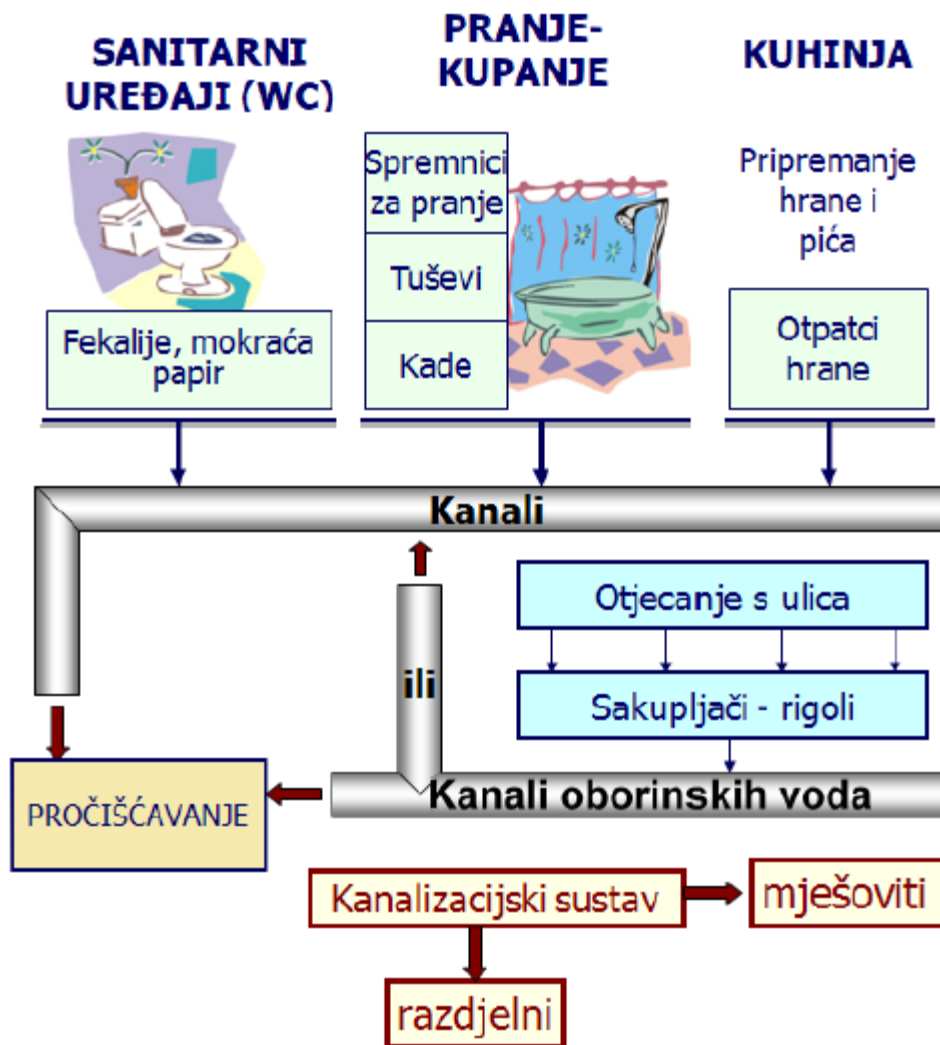
Kućanske otpadne vode se nazivaju još i "komunalne", "fekalne" ili "gradske" vode, a nastaju u gradskim ili seoskim naseljima. Te iskorištene vode dolaze iz kućanstva, ugostiteljstva, školstva, zdravstva, uslužnih i drugih neproizvodnih djelatnosti. Njihova kakvoća ovisi o načinu življenja, sustavu snabdijevanja i odvodnje te klimatskim uvjetima.

Glavno svojstvo kućanskih otpadnih voda je biološka razgradivost. One sadrže organske tvari koje se počinju razgrađivati čim dospiju u vodu. Prema stupnju biološke razgradnje razlikuju se (Tedeschi 1997):

- svježe otpadne vode,
- odstajale vode,
- septičke vode.

Pod svježim otpadnim vodama smatraju se vode kod kojih još nije napredovala biološka razgradnja, odnosno one kod kojih koncentracija otopljenog kisika nije bitno manja od one u vodi iz vodovoda. Odstajale vode ne sadrže kisik, jer je potrošen u biološkoj razgradnji otpadne tvari. U septičkim vodama biološka razgradivost je toliko napredovala da se odvija anaerobno, te je uspostavljena ravnoteža između razgrađivača i organske tvari.

Svježe kućanske otpadne vode su sivo-smeđe boje. Prolaskom kroz kanalizaciju postaju tamne zbog napredovanja biološke razgradnje. Imaju miris po trulim jajima zbog sadržaja sumporovodika. Također sadrže i veće količine krupnih otpadnih tvari kao što su krpe, papir, plastične vrećice, ostaci voća i povrća i sl. Na slici 2-3. prikazane su otpadne vode iz kućanstva.



Slika 2-3. Otpadne vode iz kućanstva (Štrkalj 2014)

Otpadna voda iz kućanstva je mutna, jer se otpadne tvari koje se u njoj nalaze, pojavljuju u koloidnom i otopljenom obliku. Njihov kemijski sastav se može razlikovati od grada do grada. Dvije trećine tvari koje su otopljene u kućanskim otpadnim vodama su organske tvari, odnosno bjelančevine (40-60%) i ugljikohidrati (25-50%) (Tedeschi 1997).

Pokazatelji sastava kućanskih otpadnih voda su: količina raspršene tvari, biokemijska potrošnja kisika (BPK) i sadržaj mikroorganizama fekalnog podrijetla.

Kućanske otpadne vode sadrže značajne količine mikroorganizama, naročito bakterija i virusa, ali i drugih patogenih mikroorganizama, pri čemu samo mali broj mikroorganizama u određenim uvjetima izaziva bolesti.

Temperatura kućanskih otpadnih voda je obično između 10 i 20°C te je u prosjeku viša od temperature vode iz vodoopskrbe. Uzrok tomu je topla voda iz kuhinje, kupaonice i slično. Povišena temperatura, posebno ljeti u toplijim krajevima, ubrzava biološki proces

razgradnje te uzrokuje bržu potrošnju otopljenog kisika, pri čemu dolazi do stvaranja neugodnih mirisa u kanalizaciji (Tedeschi 1997).

Koncentracija otpadnih tvari u kućanskim otpadnim vodama ovisi o količini korištene vode. Količina kućanske otpadne vode je manja od količine vode koja se koristi u vodoopskrbi. Jedan dio se izgubi zbog isparavanja pri zalijevanju biljaka i pranju ulica te grijanja vode. Za vrijeme turističke sezone ili školskih praznika pojavljuju se sezonska kolebanja protoka i kakvoće otpadne vode iz kućanstva zbog povećane uporabe vode.

U područjima, gdje nisu izgrađeni kanalizacijski sustavi javlja se problem prikupljanja kućanskih otpadnih voda u septičke jame. Ukoliko se kućanske otpadne vode iz septičkih jama dovode u zajednički uređaj za pročišćenje otpadnih voda, njihov udio u kanalizacijskim vodama ne smije prelaziti 1% zbog visokih koncentracija otpadnih tvari (Tedeschi 1997).

2.2. Industrijske otpadne vode

Industrijske otpadne vode su jedan od najvećih izvora onečišćenja voda. Tijekom prošlog stoljeća velika količina vode iz industrije se ispuštala u rijeke, jezera i obalna područja. To je dovelo do ozbiljnih problema onečišćenja voda i izazvalo negativne učinke na ekosustav i život ljudi.

Industrijske otpadne vode nastaju kao posljedica uporabe vode u tehnološkim procesima i proizvodnji energije. S obzirom na to da industrijski sektori proizvode vlastite specifične kombinacije onečišćujućih tvari, mogu se razlikovati mnoge vrste industrijskih otpadnih voda, a njihova se obrada stoga mora temeljiti na karakteristikama odnosno vrsti proizvedenih efluenata. Količina industrijskih otpadnih voda ovisi o tehničkoj razini procesa u svakoj industriji i smanjuje se unapređenjem industrijskih tehnologija (Tedeschi 1997).



Slika 2-4. Industrijska otpadna voda (Alfalaval 2014)

Industrijske otpadne vode mogu sadržavati teške metale, lužine, kiseline, minerale soli, mineralna ulja i ugljikovodike, fenole i aromatske organske spojeve i radioaktivne (Tedeschi 1997).

Općenito, industrijske otpadne vode se mogu podijeliti u dvije temeljne skupine (Tedeschi 1997):

- biološki razgradive ili spojive,
- biološki nerazgradive ili nespojive industrijske otpadne vode.

Biološki razgradive industrijske otpadne vode se prilikom obrade smiju miješati s kućanskim otpadnim vodama, dok se nerazgradive industrijske otpadne vode s kućanskim otpadnim vodama ne smiju miješati bez prethodne obrade. Nerazgradive ili nespojive industrijske otpadne vode uglavnom se proizvode u industriji ugljena i čelika, nemetalnih minerala te u industrijskim pogonima površinske obrade metala. Te otpadne vode sadrže veliki udio suspendiranih tvari koje se mogu ukloniti taloženjem često zajedno s kemijskom flokulacijom, dodavanjem soli željeza ili aluminija, sredstava za flokulaciju i nekih vrsta organskih polimera.

Pročišćavanjem toplih otpadnih plinova iz visokih peći, konvertora, kupolnih peći te postrojenja za spaljivanje otpada i mulja, koji sadrže određenu količinu čvrstih čestica, nastaje otpadna voda koja sadrži mineralne i anorganske tvari u otopljenom i nerazrijeđenom obliku.

Za prethodno hlađenje i naknadno pročišćavanje plinova iz visoke peći potrebno je do 20 m³ vode po toni sirovog željeza (Shi 2002). Na putu prema plinskom hladnjaku voda apsorbira sitne čestice rude, željeza i koksa, koje se ne talože lako. U plinskom hladnjaku se otapaju plinovi, posebno ugljični dioksid, te spojevi alkalskih i zemnoalkalijskih metala ako su topljivi u vodi ili ako se iz krutih tvari otapaju zajedno s plinovima.

Biološki razgradive ili spojive industrijske otpadne vode sadrže uglavnom organski industrijski otpad iz kemijske industrije, koja uglavnom koriste organske tvari za kemijske reakcije. Organski industrijski otpad se uklanja posebnom predobradom otpadnih voda, nakon čega slijedi biološka obrada. Većinu organskih industrijskih otpadnih voda proizvode sljedeća industrijska postrojenja (Shi 2002):

- tvornice za proizvodnju lijekova, kozmetike, organskih bojila, ljepila, sapuna, sintetičkih deterdženata, pesticida i herbicida,
- tvornice kože,
- tekstilne tvornice,
- postrojenja za proizvodnju celuloze i papira,
- rafinerije nafte,
- pivovare,
- metaloprerađivačka industrija.

U industrijske otpadne vode ubrajaju se i rashladne vode, koje se koriste u mnogim industrijskim i energetske procesima za hlađenje određenog dijela sustava odnosno odvođenje viška topline. Njihovim ispuštanjem u prirodne vodne sustave, bez prethodnog hlađenja, dolazi do pojave toplinskog onečišćenja vodnih sustava. Toplinsko onečišćenje podrazumijeva svako povišenje ili sniženje temperature vodnog sustava uzrokovano djelovanjem čovjeka. Velika količina topline se, u obliku rashladnih otpadnih voda, u prirodne vodne sustave ispušta iz termoelektrana, rafinerija nafte, kemijske industrije, čeličane i tvornice papira i celuloze.

Promjenom temperature vode dolazi do promjene fizikalnih i kemijskih svojstva vode. Od fizikalnih svojstava mijenja se gustoća, površinska napetost, topljivost, difuznost kisika i kinematička viskoznost (Tedeschi 1997).

Zbog dugotrajnog kruženja rashladne vode, unutar industrijskih i energetske sustava, u njoj se mogu pojaviti alge, bakterije i protozoa, koje mogu uzrokovati mikrobiološko onečišćenje vodnih sustava.

2.3. Oborinske vode

U prošlosti se smatralo da su oborinske vode "čiste", dok se danas kategoriziraju kao otpadne vode. Oborinske vode čine značajne izvore onečišćenja vode u prirodi, a do njihovog onečišćenja dolazi već u atmosferi. Prolaskom kroz atmosferu voda otapa plinove i na sebe veže brojne nečistoće. Posljednjih 60-tak godina povećana je pojava padalina kod kojih je smanjena pH-vrijednost. Takve padaline se nazivaju "kisele kiše". Na tlu se "kisele kiše" neutraliziraju zbog prisutnosti kationa (kalcija, aluminijska, magnezija), dok u slivovima, gdje nema mogućnosti neutralizacije može doći do zakiseljenja prirodnih voda (Tedeschi 1997).

Pod oborinske vode svrstavamo i otpadne vode od navodnjavanja. Višak vode, koji se stvara od oborina ili sustava za navodnjavanje na poljoprivrednom zemljištu, se procijedi u dubinu do podzemnih voda ili otječe do obližnjih površinskih voda. Što se tiče poljoprivrednih otpadnih voda njih je potrebno odvesti s mjesta nastajanja, dodatno obraditi i što je više moguće ponovo iskoristiti u sljedećem ciklusu navodnjavanja zemljišta. U oborinskim vodama, koje ispiru poljoprivredne površine, mogu se nalaziti nerazgrađeni pesticidi, hranjive soli i znatne količine raspršenih tvari zbog povećanog korištenja umjetnih gnojiva i pesticida.

U gradovima, otpadna oborinska voda ponajviše ovisi o intenzitetu i vrsti prometa, utjecaju industrije, sušnom razdoblju, trajanju i jakosti kiše i slično. Na početku kiše, pri početnom ispiranju površine gradova i naselja, koncentracije otpadnih tvari u otpadnim oborinskim vodama ponekad su veće od koncentracija kućanskih otpadnih tvari. Nakon dužeg ispiranja te se koncentracije smanjuju.

3. POKAZATELJI ONEČIŠĆENJA OTPADNIH VODA

Onečišćenje voda može biti kemijsko, biološko, fizikalno i radiološko onečišćenje. Loša kvaliteta vode uzrokuje bolesti i smrt 3,5 milijuna ljudi godišnje širom svijeta, uglavnom u Africi i Aziji. Na globalnoj razini, najmanje 2 milijarde ljudi koristi izvor pitke vode kontaminiran fekalijama. Onečišćena voda može prenijeti bolesti poput dijareje, kolere, dizenterije, tifusa i dječje paralize. Samo dijareja uzrokuje 485 000 smrti svake godine. (WHO 2008).

Posljedice onečišćenja voda na ekosustave uključuju izumiranje vrsta, smanjenje biološke raznolikosti i gubitak uloge ekosustava. Neki smatraju da se zagađenje voda može dogoditi zbog prirodnih uzroka kao što je erozija uslijed velikih oborina. Međutim prirodni uzroci onečišćenja voda, uključujući vulkanske erupcije i cvjetanje algi, predstavljaju mali postotak slučajeva zagađenja vode u svijetu. Najproblematičniji zagađivači vode su mikroorganizmi koji uzrokuju bolesti. Njihovi izvori se smatraju prirodnima, ali većina tih slučajeva proizlazi iz ljudske intervencije u okolišu ili fenomena prenapučenosti stanovništva (Hogan 2014).

Kemijsko onečišćenje voda nastaje zbog prisutnost nekih iona, atoma ili molekula kojih nema u prirodnim vodama ili su u istim prisutni u manjim koncentracijama. Kemijsko onečišćenje može biti anorganskog ili organskog podrijetla. U praksi se često susreću i kombinacije anorganskog, organskog, kemijskog i biološkog onečišćenja. Anorgansko kemijsko onečišćenje vode posljedica je njezina mješanja industrijskim, rudničkim ili drugih otpadnim vodama, koje sadrže lužine, kiseline, otopine soli, toksične elemente (arsen, šesterovalentni krom, olovo, živa, kadmij, bakar), pesticide, mineralna gnojiva i pijesak. Organsko kemijsko onečišćenje vode nastaje zbog otpada iz domaćinstva i industrija poput raznih ugljikohidrata, masti, sapuna, proteina, amida i amino kiselina, pesticida, otapala, kiselina i fenolnih tvari; te organskih spojeva i derivata iz naftne industrije (Jurac, 2009).

Biološko onečišćenje otpadnih voda manifestira se kao prisutnost virusa, patogenih bakterija, kvasaca, algi i ostalih mikroorganizama koji mogu loše utjecati na ljudsko zdravlje. Navedeni organizmi najčešće dospijevaju u površinske vode iz otpadnih voda iz naselja ili uslijed protjecanja voda kroz poljoprivredne površine, dok u podzemne vode najčešće dolaze iz oštećenih kanalizacijskih cijevi ili loše izvedenih sabirnih (septičkih) jama. Biološko onečišćenje se uglavnom zadržava u površinskim vodama, dok se u podzemnim vodama, zbog filtracije kroz porozne stijene, zadržava u blizini izvora onečišćenja. Patogeni mikroorganizmi svojim djelovanjem izazivaju različite bolesti, stoga

se voda namijenjena javnoj vodoopskrbi filtrira i dezinficira kloriranjem, ozonizacijom ili UV zračenjem (Mayer 2004).

Fizikalno onečišćenje otpadnih voda je negativna promjena fizikalnih svojstava vode, a očituje se kao povećanje količine raspršenih tvari, pojava mutnoće, boje, okusa, mirisa i povećanje temperature vode. Povećana koncentracija raspršene ili suspendirane tvari u vodi ukazuju na prisustvo otpadnih voda iz naselja, poljoprivrede, industrije i drugih ljudskih djelatnosti. Takve tvari čine vodu mutnom te neupotrebljivom za vodoopskrbu i drugu namjenu za koju služi čista voda. Osim raspršenih tvari, vodu mutnom čine i mikroorganizmi i mjehurići plina. Miris i okus u vodi mogu biti posljedica raspadanja organske tvari, prisustvo industrijskih otpadnih tvari (fenoli, naftni proizvodi), proizvoda živih organizama (alge), otopljenih soli (kloridi, sulfati) i otopljenih plinova (sumporovodik). Do povećanja temperature prirodnih voda dolazi zbog ispuštanja većih količina rashladnih voda iz industrije i energetskih objekata bez prethodnog hlađenja. Zagrijane vode gube sposobnost autočišćenja zbog velikog pada koncentracije otopljenog kisika u vodi, zbog čega se smanjuje razgradnja organske tvari (Tedeschi 1997).

Do radiološkog onečišćenja otpadnih voda dolazi prilikom kontakta podzemne vode s različitim prirodnim radioaktivnim elementima ili umjetnim radioizotopima. Prirodni izvori radiološkog onečišćenja otpadne vode su radioaktivni elementi litosfere i kozmička zračenja, dok umjetni izvori takvog onečišćenja mogu biti otpadne vode nuklearnih elektrana i industrijskih pogona u kojima se upotrebljavaju radioaktivne tvari, odlagališta nuklearnog otpada te primjena nuklearnog oružja (Mayer 2004).

3.1. POKAZATELJI UKUPNOG ONEČIŠĆENJA OTPADNIH VODA

Vrijednostima biokemijske (BPK) i kemijske potrošnje kisika (KPK) izražava se ukupno onečišćenje otpadnih voda, prema kojima se optimira rad uređaja za pročišćavanje otpadnih voda (Glancer-Šoljan et al. 2002).

3.1.1. Biokemijska potrošnja kisika (BPK)

Ukupna biokemijska potrošnja kisika (BPK) je količina kisika potrebna za potpunu razgradnju organske tvari. Biokemijska potrošnja kisika je test koji se prvo počeo primjenjivati u Velikoj Britaniji u 19. stoljeću simulirajući samopročišćavanje rijeka u laboratoriju. Spoznajom da rijeke u Velikoj Britaniji teku od izvora do ušća manje od 5 dana i da temperatura vode ne prelazi 20 °C, znanstvenici su to vrijeme i temperaturu uzeli kao definirane uvjete za provedbu testa određivanja petodnevnne biološke potrošnje kisika (BPK5). BPK5 test se koristi u većini zemalja koje imaju slične klimatske uvjete kao Velika Britanija (Glancer-Šoljan et al. 2002).

BPK5 testom u tami se određuje koncentracija otopljenog kisika u uzorku vode prije i nakon čuvanja uzorka 5 dana pri temperaturi od 20 °C. Navedena koncentracija se izražava u miligramima kisika po litri otpadne vode (mg O₂/L). Test se provodi u zatvorenoj posudi tzv. Winkler-ovoj boci, bez prisustva zraka. Osim u Winkler-ovoj boci BPK vrijednost se može odrediti i kisikovom elektrodom ili manometarskom metodom. Uzorci otpadnih voda se razrijede većom količinom destilirane vode bogate otopljenim kisikom i hranjivim solima kako bi se smanjila koncentracija mikroorganizama u jedinici volumena. Ako se uzorci ne razrijede ne može se izračunati BPK5 vrijednost zbog prebrze potrošnje kisika zbog velikog broja mikroorganizama. U slučaju postojanja jako malog broja mikroorganizama, ispitivana otpadna voda mora se nacijepiti s mješavinom kultura mikroorganizama. Kao mikrobnog cjepivo koristi se kanalski mulj, riječni mulj ili aktivni mulj iz sustava za biološku obradbu otpadnih voda. BPK vrijednost ovisi o velikom broju čimbenika (Glancer-Šoljan et al. 2002):

- vrsti otpadnih voda,
- vrsti i broju mikroorganizama,
- koncentraciji kisika,
- trajanju ispitivanja,
- temperaturi,
- osvjetljenju,
- opterećenosti bioloških procesa.

Najčešće se određuje BPK5 (vrijeme inkubacije 5 dana) i BPK20 (vrijeme inkubacije 20 dana) (Glancer-Šoljan et al. 2002). Prema *Pravilniku o graničnim vrijednostima emisija otpadnih voda* (NN 80/2013, 43/2014 i 27/2015) na izlazu iz uređaja za pročišćavanje otpadnih voda vrijednost BPK5 ne bi smjele prelaziti vrijednosti od 25 mg O₂/L.

U tablici 3-1. prikazane su BPK5 vrijednosti na ulazima uređaja za pročišćavanje otpadnih voda ovisno o industriji.

Tablica 3-1. Vrijednosti BPK5 za vode različitog podrijetla (Glancer-Šoljan et al. 2002).

Vode	BPK5-vrijednost (mg O₂/L)
Ispust iz kanalizacije	300-500
Ispust iz mljekare	2 000-18 500
Ispust iz šećerane	3 000-5 000
Ispust iz mesne industrije	2 500-15 000
Ispust iz pivovare	2 000-2 500
Ispust iz kemijske industrije	300-700
Ispust sa stočnih uzgajališta	15 000-40 000
Ispust s odlagališta komunalnog otpada	800-5 000

3.1.2. Kemijska potrošnja kisika (KPK)

Kemijska potrošnja kisika (KPK) je masena koncentracija kisika potrebna da pod određenim uvjetima oksidiraju tvari otopljene i suspendirane u 1 litri vode. Navedena koncentracija se izražava u miligramima kisika po litri otpadne vode (mg O₂/L). Metoda određivanja kemijske potrošnje kisika temelji se na određivanju udjela kisika koji će se potrošiti na oksidaciju neke tvari u vodi, na osnovu redukcije otopine bikromata pod posebnim uvjetima (Tušar 2009).

Kad su otpadne vode teško biorazgradive, KPK vrijednost je realniji pokazatelj onečišćenja otpadne vode od BPK5 vrijednosti. KPK vrijednost je u pravilu za 2,5 puta veća od BPK5 vrijednosti. Za određivanje KPK vrijednosti treba dva sata dok za BPK5 vrijednost 5 dana. Omjerom BPK i KPK vrijednosti se pokazuje biološka razgradivost sastojaka otpadne vode. Za otpadnu vodu iz kućanstva taj omjer iznosi 0,4 do 0,8 što ukazuje na visoku biološku razgradivost, dok omjer za otpadne vode iz industrije varira ovisno o industrijskim procesima (Glancer-Šoljan et al. 2002).

3.1.3. Određivanje ukupnog organskog ugljika

Ukupni organski ugljik ukazuje na prisustvo organskih sastojaka u otpadnoj vodi, a označava se kraticom TOC (engl. *Total Organic Carbon*). Određivanje vrijednosti ukupnog organskog ugljika pogodno je za niskoonečišćene otpadne vode u kojima nije moguće precizno odrediti KPK-vrijednost.

Proces se odvija tako da se određena količina uzorka otpadne vode u pećima zagrije na 900 °C pri čemu organski ugljik katalitički oksidira u CO₂ koji se mjeri infracrvenim spektrofotometrom. Neke organske tvari ne oksidiraju, pa je često dobivena vrijednost niža od stvarne koncentracije organskih tvari u uzorku. Usporedno s drugim procesima određivanja koncentracije organskih tvari, izvedba ovog procesa je puno brža (Glancer-Šoljan et al. 2002).

4. PROCESI OBRADNE OTPADNIH VODA

Procesom obrade otpadnih voda cilj je smanjiti onečišćenje do te mjere da ispuštanjem pročišćene otpadne vode u prijemnike ista neće ugroziti zdravlje ljudi i uzrokovati promjene u ekosustavu. Procesima obrade otpadne vode odvajaju se krutine od tekućine, kapljevine od vode i plinovi iz vode. Također se pretvaraju otopljene ili raspršene tvari u kapljevine ili plinove te se smanjuje broj mikroorganizama koji izazivaju bolesti. Potreban stupanj pročišćavanja otpadne vode određuje se ovisno o svojstvima otpadnih voda i prijemnika, namjeni prijemnika i sposobnosti samopročišćavanja vode. Za određivanje potrebnog stupnja pročišćavanja otpadnih voda promatra se količina suspendiranih tvari, dopuštene vrijednosti BPK, bakteriološko stanje, temperatura vode i prisustvo drugih štetnih tvari.

Uz njenu kakvoću, također i količina otpadne vode čini važan čimbenik kod projektiranja sustava za obradu otpadne vode. Naime, prilikom projektiranja sustava potrebno je znati količinu otpadne vode koja pritječe u sustav kako bi se moglo izračunati potreban obujam prihvatnih spremnika, kapacitete crpki i ostalih dijelova sustava. Za taj proračun koristi se projektna veličina "ekvivalent stanovnik" (1 ES). Pojam "ekvivalent stanovnik" predstavlja utrošak vode jednog stanovnika neke populacije tijekom dana. ES vrijednost se dobije dijeljenjem ukupnog BPK5 s vrijednošću koja otpada na jednog stanovnika, a iznosi 60 g kisika na dan (Glancer-Šoljan et al. 2002).

Pri obradi otpadnih voda primjenjuju se fizikalni, kemijski, fizikalno-kemijski i biološki procesi. Prema *Pravilniku o graničnim vrijednostima emisija otpadnih voda* (NN 80/2013, 43/2014 i 27/2015) razlikuju se:

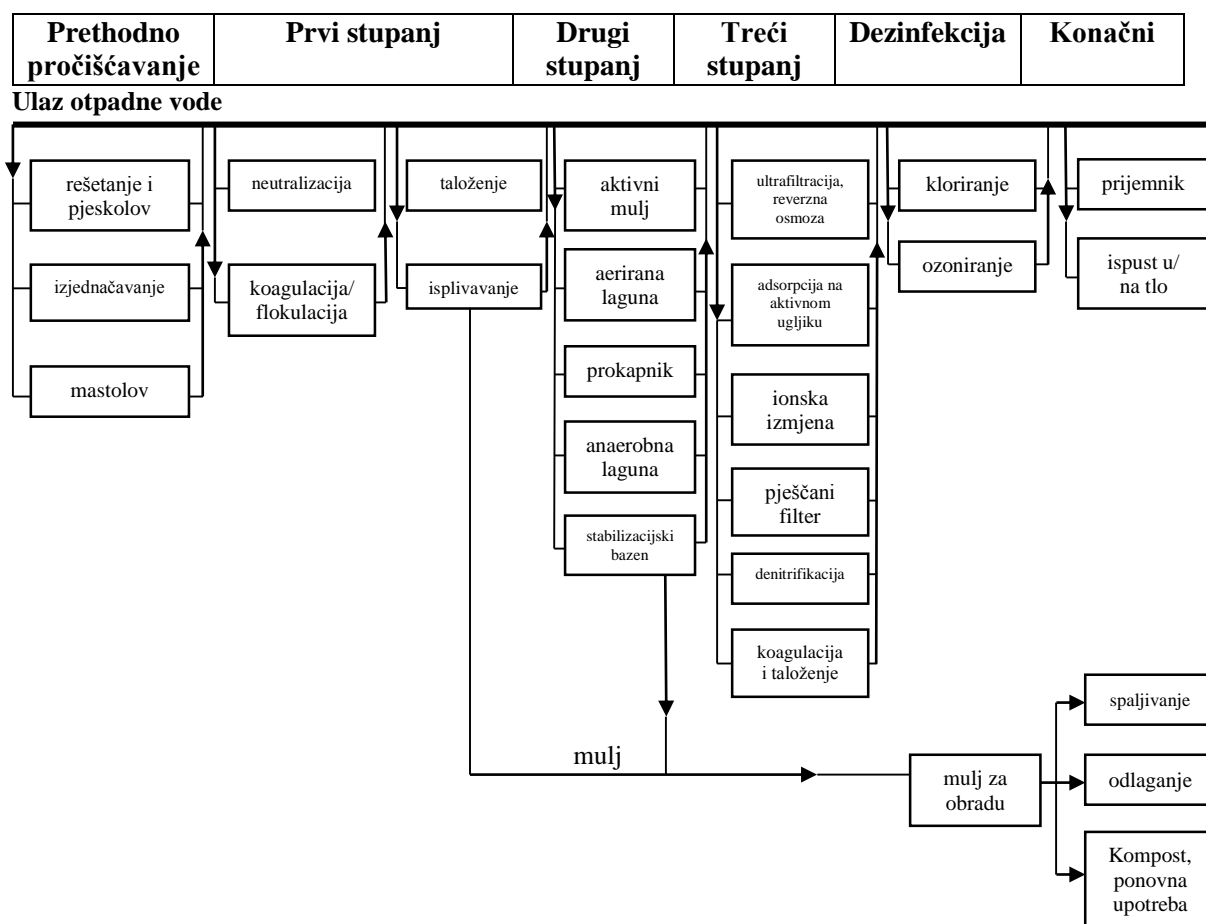
1. Prethodno pročišćavanje otpadnih voda predstavlja predobradu otpadnih voda (tehnoloških, rashladnih, procijednih i oborinskih onečišćenih voda i ostalih otpadnih voda) u skladu sa zahtjevima za ispuštanje otpadnih voda u sustav javne odvodnje.

2. Prvi stupanj (I) pročišćavanja predstavlja obradu komunalnih otpadnih voda fizikalnim i/ili kemijskim procesom koji obuhvaća taloženje suspendiranih tvari ili druge procese u kojima se BPK5 ulaznih otpadnih voda smanjuje za najmanje 20% prije ispuštanja, a ukupne suspendirane tvari ulaznih otpadnih voda za najmanje 50%.

3. Drugi stupanj (II) pročišćavanja obuhvaća obradu komunalnih otpadnih voda procesom koji općenito obuhvaća biološku obradu sa sekundarnim taloženjem i/ili druge

processe kojima se u otpadnim vodama smanjuje koncentracija suspendirane tvari za 90%, BPK5 za 70% i KPK za 75%.

4. **Treći stupanj (III) pročišćavanja** predstavlja strožu obradu komunalnih otpadnih voda procesom kojim se, uz drugi stupanj pročišćavanja, postižu smanjenja koncentracija fosfora za 80% i/ili dušika za 70%, i/ili mikrobioloških pokazatelja i/ili drugih onečišćujućih tvari u cilju zaštite osjetljivih područja, odnosno postizanja ciljeva kakvoće voda prijemnika. Na slici 4-1. prikazani su dijelovi tehnološke linije obrade otpadnih voda.



Slika 4-1. Dijelovi tehnološke linije obrade otpadnih voda (Tušar 2009)

4.1. PRETHODNA OBRADA OTPADNIH VODA

Procesi u prethodnoj obradi otpadnih voda temelje se na fizikalnim zakonitostima, a provode se na uređajima za prethodnu obradu, neposredno prije prvog stupnja pročišćavanja otpadne vode. U posebnim uvjetima, kada pročišćavanje zadovoljava odgovarajuće zakonske kriterije, prethodni stupanj obrade se upotrebljava kao jedini stupanj pročišćavanja otpadne vode. Uređaji za prethodnu obradu obuhvaćaju rešetke i sita koja odstranjuju krupne tvari iz otpadne vode, zatim sjekače koji usitnjavaju otpad te spremnike za izjednačavanje otpadnih voda (Tedeschi 1997).

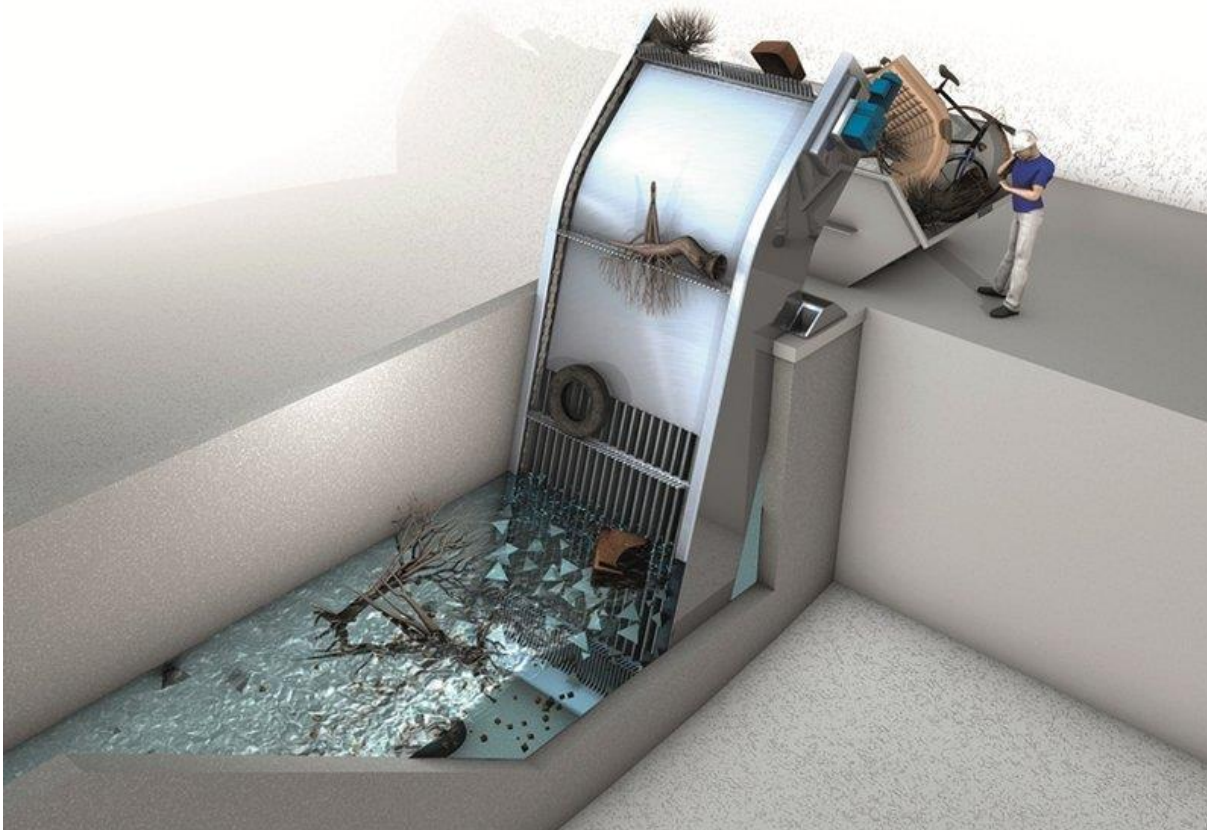
4.1.1. Odstranjivanje krupnih tvari iz otpadnih voda

Uz pomoć rešetki i sita iz otpadnih voda se odvajaju krupne, raspršene ili plivajuće tvari kao što su komadi drveta, plastike, tekstila ili lišća. Te tvari u otpadne vode najčešće dolaze iz kućanstva. Uklanjanje navedenih tvari je prvi obavezni proces u obradi otpadnih voda kako bi se zaštitile crpke i spriječilo čepljenje cjevovoda nizvodno u sustavu obrade. Ako nije ugrađeno automatsko strojno uklanjanje tvari s rešetki može doći do njihova nagomilavanja zbog čega se iste redovito moraju ručno uklanjati, pogotovo za vrijeme kišnih dana. Ručno čišćenje rešetki se iznimno koristi kod malih uređaja do veličine 500 "ekvivalent stanovnika". U zimskom razdoblju postoji i mogućnost stvaranja leda na rešetkama. Ovaj se problem rješava ugradnjom grijača.

Na slici 4-2. prikazana je gruba rešetka TrashMax® koja izdvaja grubi, glomazni materijal čime štiti nizvodne sustave. Rešetke za odstranjivanje krupnih tvari iz otpadnih voda su nagnute pod kutem 60° do 80° od površine vode.

Prema razmaku između šipki, rešetke se dijele na (Tušar 2007):

- 1) uske ili fine rešetke s međurazmakom od 3 do 10 mm;
- 2) srednje fine rešetke s međurazmakom od 10 do 25 mm;
- 3) široke ili grube rešetke s međurazmakom od 50 do 100 mm.

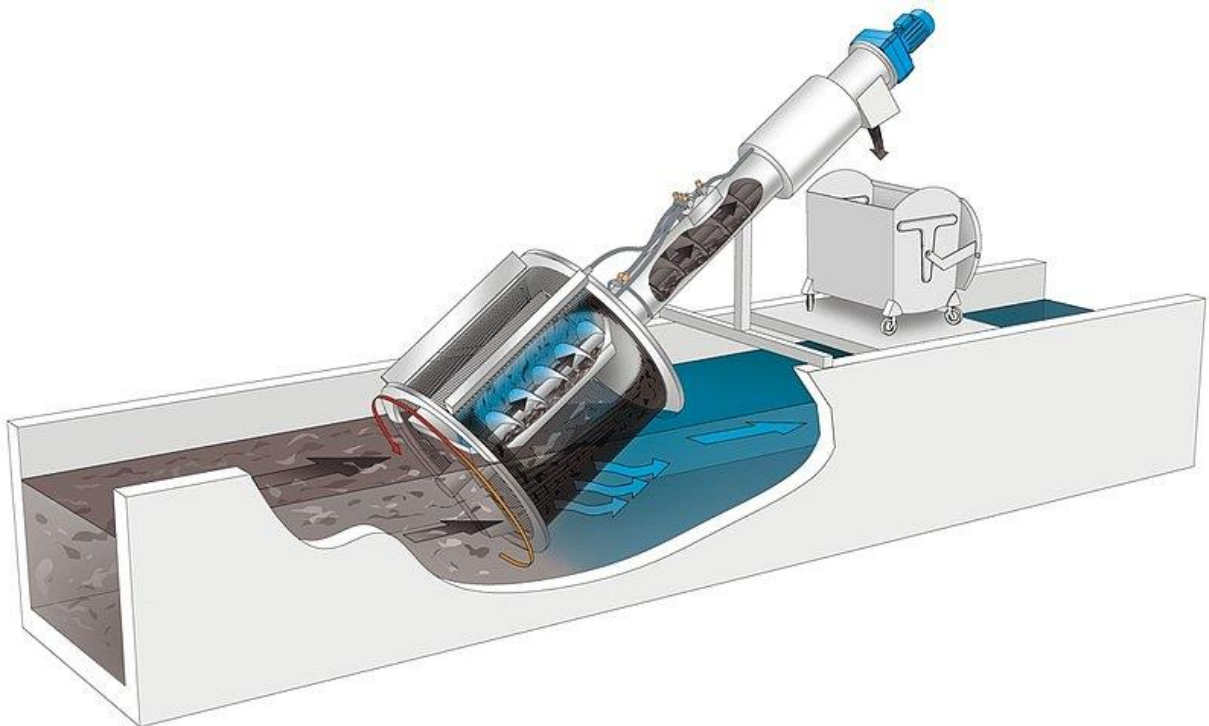


Slika 4-2. Gruba rešetka TrashMax® (Loveco 2018)

Sita su obično izvedena u obliku valjka koji se okreće oko horizontalne osovine. Na plaštu valjka se nalaze otvori najčešće dimenzija od 0,3 do 3 mm. U nekim slučajevima sita mogu zamjeniti pjeskolov ili prethodni taložnik. Ovisno o konstrukciji, sitima se osim krupnih plutajućih tvari uklanjaju i raspršene tvari malih čestica. Kod veličine otvora sita od 1,5 mm smanjenje raspršene tvari malih čestica iznosi do 30%, uz smanjenje BPK5 od 15 do 25%. Kruta otpadna tvar sa sita se cijedi te odvozi u zatvorenim posudama (Tedeschi 1997).

Na slici 4-3. prikazana je fina rešetka-sito ROTAMAT® Ro2 na koju se ugrađuju otvori od 0,5 do 6 mm. Otpadna voda teče u i kroz otvoreni dio uzlazne košare u kojoj se zadržavaju plivajuće i suspendirane tvari. Ljepljenje čestica za bubanj stvara dodatni efekt filtriranja, tako da se na bubnju zadržavaju i čestice manje od samih svijetlih otvora rešetke-sita odnosno perforacija. Bujanj se počinje okretati kada razina vode ispred uređaja dosegne određenu razinu zbog zapunjenja svijetlih otvora bubnja. Rotirajući bubanj podiže otpadni

materijal i ubacuje ga u centralno postavljeno korito. Uklanjanje otpadnog materijala je potpomognuto četkom i sapnicama. Pužni transporter u koritu se okreće i transportira otpadni materijal kroz uzlaznu cijev, gdje se otpadni materijal ocjeđuje i preša bez emisije neugodnih mirisa te ga se izbacuje u kontejner ili sljedeći transporter (Huber Technology 2019a).



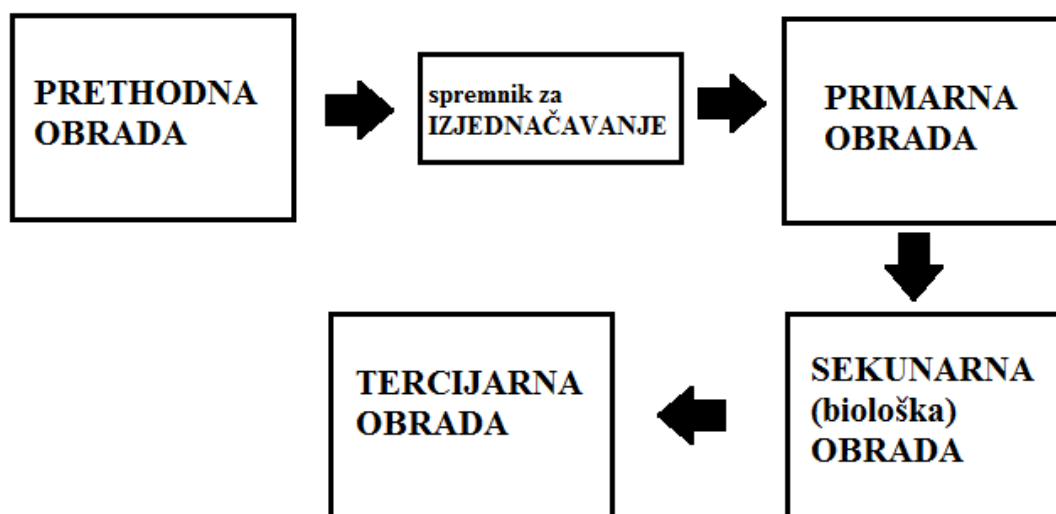
Slika 4-3. Fina rešetka-sito ROTAMAT® Ro2 (Huber Technology 2019)

4.1.2. Usitnjavanje

Usitnjavanje krupnih krutina je proces kojim se zamjenjuje proces mehaničkog odstranjivanja krupnih tvari iz otpadnih voda ili se navedeni process primjenjuje nakon grube rešetke da bi se izbjegla opasnost od čepjenja crpki i cjevovoda krupnijim krutinama. Krupne krutine se usitnjavaju sjekačima otpada na veličinu od 3 do 8 mm. Problem kod usitnjavanja krupnih krutina je ponovno vraćanje krutine u otpadnu vodu u obliku sitnijih čestica i povećano stvaranje pjene i mulja. Zbog toga se primjena procesa usitnjavanja izbjegava (Tedeschi 1997).

4.1.3. Izjednačavanje

Tijekom dana otpadne vode koje pritječu u sustav obrade otpadnih voda se mijenjaju po sastavu, količinama i koncentracijama otpadnih tvari. Uređaji za obradu otpadnih voda dimenzionirani su na određeni dotok i koncentraciju otpadnih tvari. Pri velikim promjenama dotoka i koncentracije otpadnih tvari može doći do preopterećenja dijelova ili cijelog sustava obrade otpadnih voda zbog čega će učinak obrade biti slabiji. Stoga, prije puštanja otpadne vode u sustav, otpadnu vodu je potrebno prihvatiti u spremnik za izjednačavanje kako bi se izbjegli navedeni problemi. Izjednačavanje sastava otpadne vode smanjuje toksičnost otpadne vode, a vrlo često podrazumijeva i izjednačavanje pH-vrijednosti otpadne vode. Sadržaj spremnika za izjednačavanje se miješa i prozračuje radi što bržeg izjednačavanja otpadne vode. Navedeni spremnici se postavljaju iza prethodne, a prije primarne obrade otpadne vode kao što je prikazano na slici 4-4.



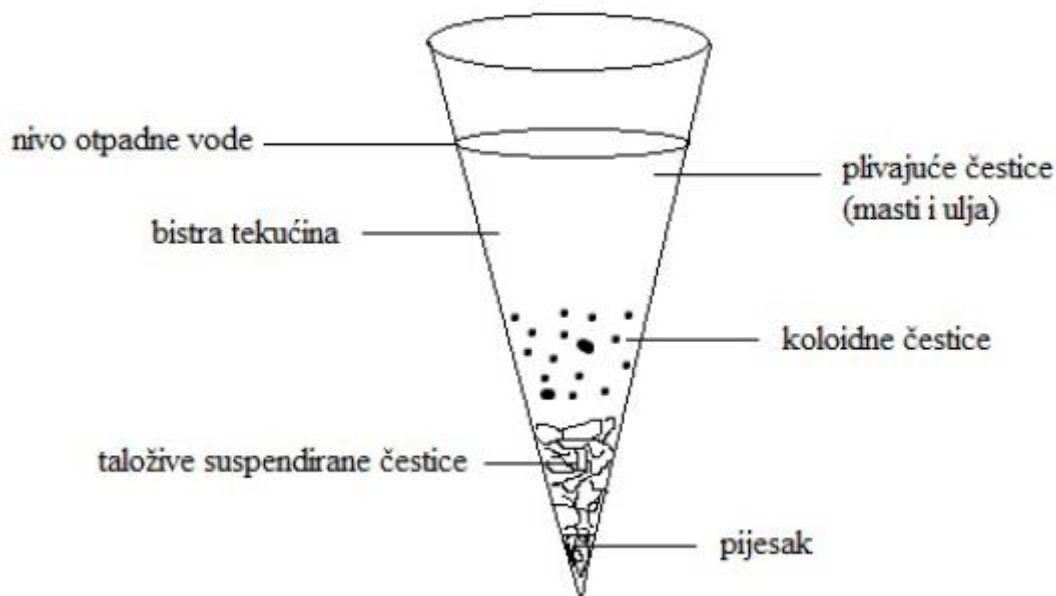
Slika 4-4. Blok shema slijeda procesa obrade otpadnih voda (Glancer-Šoljan et al. 2002)

4.2. PRIMARNA OBRADA OTPADNIH VODA

Nakon procesa prethodne obrade slijedi primarna obrada otpadnih voda ili prvi stupanj pročišćavanja. Tijekom primarne obrade otpadnih voda izdvajaju se čestice veće gustoće (zrnate i pahuljaste), kao i čestice manje gustoće koje na površinu isplivavaju prirodno ili umjetno izazvano. Također, u ovoj se fazi otpadna voda neutralizira prije biološke obrade.

4.2.1. Odvajanje zrnatih, pahuljastih i plivajućih čestica iz otpadnih voda

Zrnate i pahuljaste čestice se iz otpadne vode odvajaju procesom taloženja, dok se plivajuće čestice izdvajaju procesom isplivavanja. Taloženje ili sedimentacija jedan je od važnijih procesa u obradi otpadnih voda. Ovisno o brzini taloženja, zrnate čestice se talože pojedinačno i uz nepromjenjivu brzinu, dok kod pahuljastih čestica brzina taloženja ovisi o veličini čestice. Na slici 4-5. prikazan je shematski prikaz slojeva zrnatih, pahuljičastih i plivajućih čestica u otpadnoj vodi tijekom primarne obrade.



Slika 4-5. Shematski prikaz slojeva zrnatih, pahuljičastih i plivajućih čestica u otpadnoj vodi tijekom primarne obrade (Glancer-Šoljan et al. 2002)

Taložive čestice iz otpadne vode se izdvajaju procesima (Glancer-Šoljan et al. 2002):

1) **Neometanog taloženja čestica**

Neometano taloženje čestica će se ubrzavati sve dok se gravitacijska sila ne izjednači sa silom trenja, nakon čega će se taloženje odvijati konstantnom brzinom. To se odnosi na čestice okruglog oblika, pijesak i šljunak. Suspendirane čestice se talože znatno sporije, jer su nepravilnog oblika i velike površine. Kako bi se taložive čestice uspjele istaložiti, brzina taloženja čestica mora biti veća od brzine dotjecanja otpadne vode u spremnik za taloženje.

2) **Neometanog taloženja flokulirajućih čestica**

Većina suspendiranih čestica u otpadnoj vodi može se povezati u veće nakupine (pahuljice ili flokule) koje se brže talože. Taj se proces naziva flokulacija. Kad su brzine dotoka otpadne vode u spremnik i brzine taloženja pahuljica jednake može se postići 90%-tno taloženje suspendiranih čestica. Takve otpadne vode dolaze uglavnom iz kućanstva ili prehrambene industrije.

3) **Slojevitog taloženja**

Kod većih koncentracija suspendiranih čestica (<500 mg/l) flokulirajuće čestice se međusobno povezuju i formiraju sloj jasno vidljive površine taloga i sloja bistre tekućine. Takvo slojevito taloženje je karakteristika ponašanja aktivnog mulja.

4) **Taloženja uz dodatak sredstva za koagulaciju**

Dodavanjem sredstava za koagulaciju u otpadnu vodu poboljšava se sposobnost taloženja. Kao koagulacijska sredstva koriste se aluminijev sulfat, željezo sulfat, željezo klorid i vapno. Vapno se koristi samo u kombinaciji s nekim od ostalih sredstvima za koagulaciju.

Dio sustava primarne obrade otpadnih voda u kojem se izdvajaju zrnate čestice (pijesak i šljunak) naziva se pjeskolov. Talloženjem čvrstih čestica u pjeskolovu od trošenja se štite rotor crpke, cjevovodi od abrazije i drugi dijelovi uređaja. Odvajanje zrnatih čestica

se odvija u spremnicima, tako da se smanjuje brzina vodenog toka ili djelovanje centrifugalnih sila. Pjeskolov može biti u obliku uzdužnog kanala (slika 4-6.) ili s kružnim tokom (slika 4-7.)

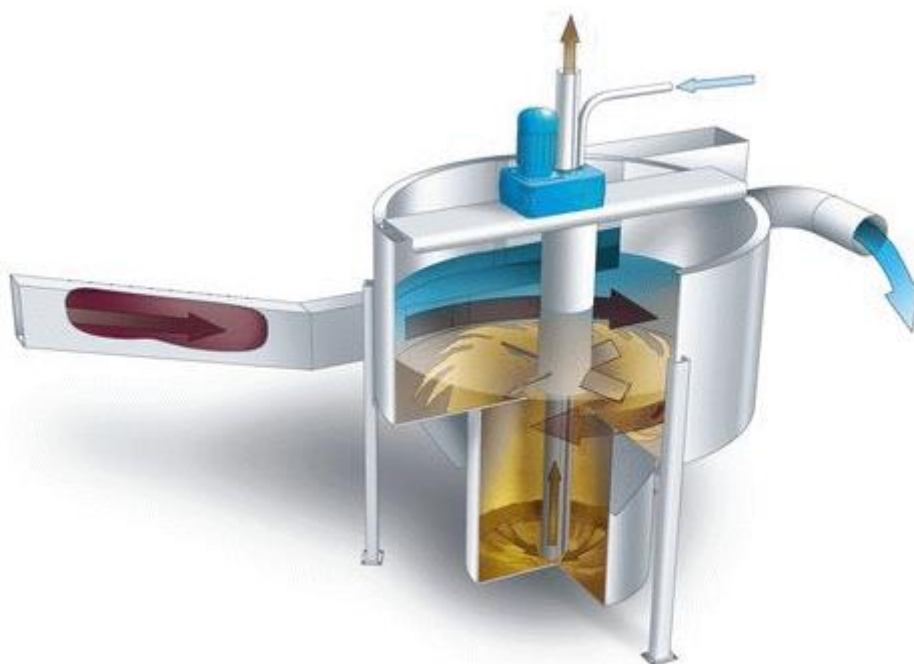
Pjeskolov s uzdužnim kanalom izveden je od betona i čine ga barem dvije komore. Dok jedna komora radi, druga se čisti. Čišćenje pijeska obavlja se ručno, najčešće svakih 4-5 dana (Tedeschi 1997).

Nedostatak pjeskolova s uzdužnim kanalom je u tome što se u njemu talože i čestice organskih tvari, a njih je potrebno dodatno isprati prije deponiranja. Zato se na većim postojenjima uzduž pjeskolova uvodi sustav ozračivanja. Prednost takvog sustava je taloženje pijeska i odvajanje organske tvari, smanjenje obujma objekta te uklanjanje neugodnih mirisa (Tušar 2007).

Pjeskolov s kružnim tokom vode uz pomoć mješalice cirkulira otpadnu vodu unutar komore. Uslijed konstantne brzine okretanja u središtu komore skupljaju se zrnca pijeska, odakle prelaze u taložnik pijeska. Otpadna voda bez zrnaca zatim izlazi i teče u sljedeći stupanj obrade dok se izdvojeni pijesak iz taložnika centrifugalnim ili zračnim crpkama transportira u tzv. perač pijeska, gdje se po ispiranju, pijesak ocijedi pri čemu se iz njega izdvoji organska primjesa (Huber Technology 2019b).



Slika 4-6. Pjeskolov s uzdužnim kanalom u postrojenju za obradu otpadnih voda u Zagrebu (ZOV 2009)



Slika 4-7. Pjeskolov s kružnim tokom vode (Huber Technology 2019b)

Dio sustava primarne obrade otpadne vode za odstranjivanje suspendiranih čestica nazivaju se taložnici. U taložnicima je iz otpadne vode moguće ukloniti od 50 do 70 % suspendiranih čestica i od 25 do 40 % raspršenih tvari. Za gradske otpadne vode vrijeme zadržavanja u predhodnom taložniku iznosi od 1 do 2 sata (Tušar 2009.)

Danas se za odstranjivanje suspendiranih čestica najviše koristi kružni, ljevkast, pravokutni i dvokatni taložnik. Na slici 4-8. prikazan je kružni taložnik u kojem se otpadna voda dovodi kroz sredinu taložnika. Voda struji iz centra prema stjenkama što povoljno djeluje na proces taloženja. Pročišćena voda se preljeva preko ruba taložnika, a mulj se uklanja zgrtalicom obješenom na most. Most je jednom stranom pričvršćen na sredinu taložnika, a drugim se krajem nalazi na obodu taložnika.



Slika 4-8. Kružni taložnik na uređaju za pročišćavanje u Zagrebu (Zov Zagreb 2009)

Osim čestica veće gustoće, u primarnoj obradi se izdvaju i čestice manje gustoće procesom isplivavanja (flotacija). Isplivavanje može biti prirodno, zbog razlike u gustoći, ili umjetno izazvano upotrebom raspršenog zraka na koji se vežu čestice koje imaju gustoću veću od čestica vode. Čestice manje gustoće se uklanjaju s površine ručno ili automatski, a otpadna voda se crpi s dna.

Za poboljšavanje flotacije koristi se nekoliko metoda. Najčešće se koristi flotacija pod tlakom, zatim vakuum flotacija ili dodavanje organskih polimera za pjenjenje. Za uklanjanje plivajućih čestica koristi se uređaj odstranjivač masti i ulja (mastolov ili flotator) (Glancer-Šoljan et al. 2002).

4.2.2. Neutralizacija

Ako su u sustavu obrade otpadnih voda prisutna velika kolebanja pH-vrijednosti otpadne vode potrebno je prije sekundarne obrade provesti proces neutralizacije. Neutralizacija je proces koji se provodi tako da se u otpadnu vodu dodaju kiseline ili lužine

čime se pH-vrijednost podešava na vrijednost povoljnu za odvijanje bioloških procesa razgradnje sastojaka otpadne vode. Ovo je vrlo čest proces obrade industrijskih otpadnih voda.

Neutralizacija se provodi na nekoliko načina (Štrkalj 2014):

- 1) miješanjem kiselih i lužnatih voda – provodi se u industriji gdje istovremeno nastaju i kisele i lužnate otpadne vode,
- 2) filtracijom kiselih otpadnih voda – provodi se kroz filtarski sloj čije je punjenje lužnato,
- 3) dodavanjem kemijskih sredstava (vapno, kiseline, ugljikov dioksid).

4.3. SEKUNDARNA ILI BIOLOŠKA OBRADA OTPADNIH VODA

Procesi drugog stupnja obrade otpadnih voda se najčešće primjenjuju nakon prethodnog i prvog stupnja čišćenja. U načelu, u drugom stupnju pročišćavanja otpadne vode uobičajeni su biološki procesi. Biološkim procesima, koji se provode pomoću mikroorganizama, iz otpadne vode se uklanjaju otopljeni organski sastojci, anorganski sastojci i suspendirane čestice. Osim bioloških procesa, kod drugog stupnja obrade otpadnih voda primjenjuju se i fizikalno-kemijski procesi (Glancer-Šoljan et al. 2002).

4.3.1. Biološki procesi

Biološki procesi se u obradi otpadnih voda upotrebljavaju za pretvorbu raspršene i otopljene organske tvari u stanično tkivo (biomasu), plinove i nerazgradivi ostatak. Navedeni procesi se temelje na uporabi mikroorganizama koji se hrane organskim tvarima, čime izgrađuju vlastite stanice, a stanična se masa taloženjem odvaja od vode. Prema količini otopljenog kisika u vodi i prilikama u staništu, u sekundarnoj obradi otpadnih voda se odvijaju sljedeći biološki procesi (Tedeschi 1997):

1) Aerobna tvorba i razgradnja stanica

U slučaju dostatne količine otopljenih hranjivih tvari u otpadnoj vodi, mikroorganizmi upotrebljavaju organsku tvar kao hranu za tvorbu novih stanica. U slučaju da u vodi postoji dovoljno otopljenog kisika (aerobni uvjeti), tada u

biokemijskim procesima razgradnje organske tvari kisik prima elektrone (elektron-akceptor). Razgradnjom organske tvari istodobno se razmnožavaju nove stanice mikroorganizama, a kao produkt mikrobiološkog procesa ostaje ugljikov dioksid, voda i nerazgradivi materijal. Uginućem mikroorganizama njihove mrtve stanice postaju hrana za žive organizme, koji ih dalje razgrađuju (Tedeschi 1997).

2) **Anaerobno kiselo vrenje i metanska razgradnja stanica**

Kada u vodi nema dovoljno otopljenog kisika (anaerobni uvjeti), tada mikroorganizmi kao elektron-akceptor koriste ugljik iz organskih molekula. Anaerobni procesi razgradnje organske tvari se odvijaju u dvije faze; prva „kisela“ ili „tekuća“ i druga „metanska“ ili „plinovita“ faza. U prvoj fazi bakterije kiselog vrenja razgrađuju organsku tvar na organske kiseline, sumporovodik, amonijak i vodu. U drugoj fazi, metanske bakterije razgrađuju organske kiseline na metan, ugljikov dioksid i vodu. Istodobno tijekom razgradnje organske tvari odvijaju se i procesi tvorbe novih stanica mikroorganizama (Tedeschi 1997).

3) **Bakteriološka oksidacija i redukcija**

U otpadnoj se vodi, uz spojeve ugljika, nalaze i dušikovi spojevi. Određene bakterije umjesto ugljika upotrebljavaju dušik kao izvor energije za svoj razvoj, čime se odvija proces oksidacije organskog dušika i amonijaka u nitrite (NO_2) i nitrata (NO_3). Taj proces se naziva nitrifikacija. Da bi došlo do učinkovitog procesa nitrifikacije starost mulja mora biti veća od brzine rasta nitrificirajućih bakterija (Tedeschi 1997).

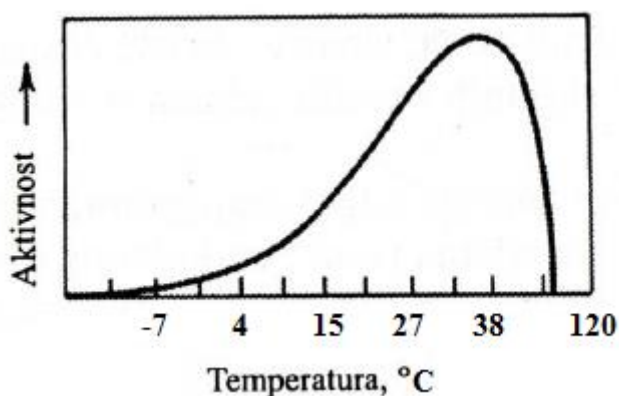
4.3.1.1. **Čimbenici koji utječu na biološke procese**

Biološki procesi su osjetljivi na sastav otpadne voda koja se pročišćava, zatim na količinu hranjivih tvari i otopljenog kisika, temperaturu vode, koncentraciju vodikovih iona i koncentraciju otrovnih tvari. U otpadnoj vodi razvoj mikroorganizama je razmjern koncentraciji hranjivih tvari. Pri maloj koncentraciji organske tvari u vodi postoji velika mogućnost razgradnje iste, a ista se smanjuje u slučaju vrlo velike koncentracije organske tvari u vodi (Tedeschi 1997).

Za izgradnju novih stanica mikroorganizama ključno je da otpadne tvari, koje se razgrađuju, sadrže određene biogene elemente, posebice dušik i fosfor. To je uglavnom slučaj u kućanskim otpadnim vodama. Kod nekih industrijskih otpadnih voda količina dušika i fosfora može biti nedovoljna, pa treba dodavati onaj element koji nedostaje.

U aerobnim procesima, za razgradnju organske tvari te izgradnju i razgradnju stanica mikroorganizmi upotrebljavaju kisik otopljen u vodi. Kod anaerobnih procesa, a naročito u slučaju metanskog vrenja, pojava otopljenog kisika u otpadnoj vodi ima negativan utjecaj na mikrobiološku razgradnju organskih tvari (Tedeschi 1997).

Povećanjem temperature ubrzavaju se svi biokemijski procesi. Anaerobni procesi, a posebno metanska razgradnja se na nižim temperaturama odvijaju sporije. Brzina denitrifikacije bitno se smanjuje kad su temperature niže od 10°C (Tedeschi 1997). Na slici 4-9. prikazana je ovisnost aktivnosti bakterija o promjeni temperature otpadne vode.



Slika 4-9. Promjena aktivnosti bakterija u ovisnosti o promjeni temperature otpadnih voda (Štrkalj 2014)

Promjene pH-vrijednosti otpadne vode bitno utječu na odvijanje mikrobioloških procesa. Kod većine procesa idealno područje pH-vrijednosti je između 7 i 9, odnosno pri slabo lužnatom ili neutralnom pH području. Povećanjem ili smanjenjem pH-vrijednosti smanjuje se razgradnja organske tvari. Metanske bakterije su osobito osjetljive na promjene pH-vrijednosti (Glancer-Šoljan et al. 2002).

Organske tvari, teški metali, anorganske soli i amonijak u većim koncentracijama djeluju otrovno na mikroorganizme te usporavaju mikrobiološke reakcije, a u određenim koncentracijama mogu dovesti i do uginuća mikroorganizama. Određene tvari pri malim koncentracijama potiču, a pri višim smanjuju aktivnost mikroorganizama. To su najčešće natrij, kalij, kalcij i magnezij (Tedeschi 1997).

U tablici 4-1. prikazani su biološki procesi koji se primjenjuju za pročišćavanje kućanskih otpadnih voda i za pročišćavanje industrijskih otpadnih voda, ako su otpadne tvari biološki razgradljive i ako ne sadrže štetnih tvari u opasnim koncentracijama.

Tablica 4-1. Pregled glavnih bioloških procesa (Tedeschi 1997)

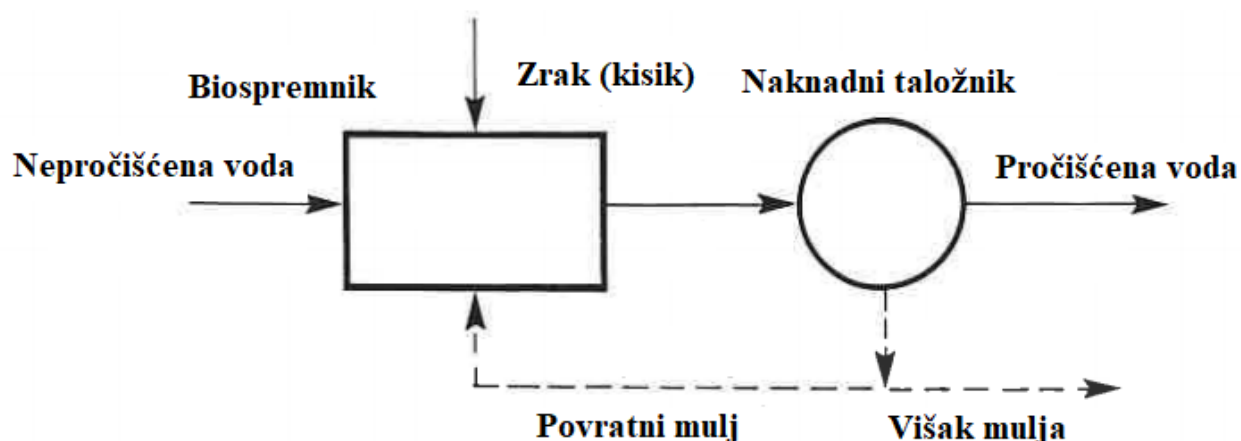
Način održavanja mikroorganizama	Aerobni procesi	Anaerobni procesi	Bakteriološka oksidacija i redukcija
- Raspršeni u vodi	- Aktivni mulj - Prozračena laguna - Aerobne stabilizacijske bare - Aerobno vrenje (digestija)	- Anaerobni kontaktni proces - Anaerobne stabilizacijske bare - Anaerobno vrenje (digestija)	- Nitrifikacija - Denitritikacija
- Pričvršćeni na podlozi	- Prokapnici - Okretni biološki nosači - Biološke cjediljke	- Anaerobne cjediljke	- Nitrifikacija - Denitritikacija

Ovisno o količini organske tvari, koja se uvodi u uređaj za biološko pročišćavanje otpadnih voda, biološki procesi obrade otpadnih voda se mogu podijeliti na visoko i nisko opterećene biološke procese. Pod visoko opterećenim biološkim procesima smatraju se procesi koji se provode u uređajima koji sadrže razmjerno veliku masu mikroorganizama. Za nisko opterećene biološke procese karakteristična je mala masa mikroorganizama u uređaju. U visoko opterećene biološke procese spadaju procesi s aktivnim muljem, zatim procesi koji se odvijaju u prokapnicima i okretnim biološkim nosačima, dok se nisko opterećeni procesi odvijaju u lagunama i stabilizacijskim barama (Tedeschi 1997).

4.3.1.2. Aktivni mulj

U uređajima s aktivnim muljem odvijaju se biološki procesi u kojima aerobni organizmi, združeni u mješovitu mikrobnu zajednicu, koriste otopljene organske sastojke iz otpadne vode različitog podrijetla uz kisik unesen prozračivanjem s atmosferskim zrakom (Glancer-Šoljan et al. 2002).

Proces pročišćavanja otpadnih voda na uređaju s aktivnim muljem odvija se prema shemi prikazanoj na slici 4-10.



Slika 4-10. Shema procesa s aktivnim muljem (Tedeschi 1997)

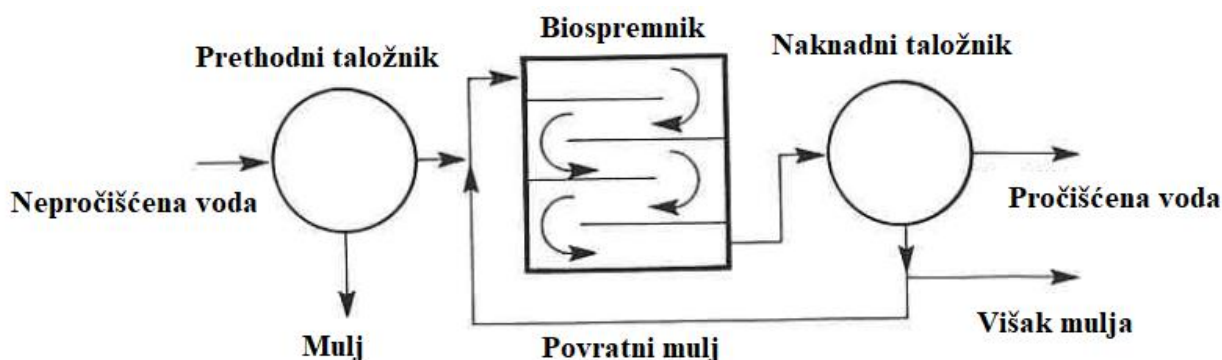
Otpadna voda uvodi se u biološki spremnik unutar kojeg se nalaze mikroorganizmi raspršeni u vodi. U spremnik se dodaje kisik uz istodobno miješanje vode u spremniku, čime se sprječava taloženje te ubrzava kontakt mikroorganizama s hranom. Masa mikroorganizama odvodi se s otpadnom vodom u naknadni taložnik. Od istaloženog mulja (aktivni mulj) dio mase mikroorganizama vraća se u biološki spremnik. Ta masa zove se „povratni“ mulj. Ostatak mulja se, prije konačnog odlaganja, odvodi na obradu mulja. U biološkom spremniku odvija se proizvodnja biomase, a višak se uklanja tijekom procesa. Proizvodnja biomase može se prikazati kao dva odvojena procesa kad mikroorganizmi uzimaju organske tvari za hranu (razmnožavanje) i kad dio mikroorganizama ugiba, a njihovo stanično tkivo čini organsku tvar ili hranu za žive mikroorganizme koji se razgrađuju te se stvaraju novi mikroorganizmi uz ostatak. Ukupna proizvodnja biomase je zbroj istodobne razgradnje organske tvari i uginulih stanica mikroorganizama (Tedeschi 1997).

4.3.1.3. Primjene procesa aktivnog mulja

Proces aktivnog mulja jedan je od najčešće primjenjivanih bioloških procesa drugog stupnja pročišćavanja otpadnih voda. Tijekom godina razvila su se različita tehnološka rješenja primjene procesa aktivnog mulja koja se međusobno razlikuju prema načinu vođenja procesa te prema oblikovanju pojedinih dijelova uređaja za biološko pročišćavanje otpadnih voda. Neki od procesa primjene aktivnog mulja su (Tedeschi 1997):

1) Konvencionalni proces

Konvencionalnim procesom smatra se proces primjene aktivnog mulja u kojem otpadna voda ulazi na početak biološkog spremnika, izlazi na kraju spremnika, a povratni mulj se vraća iz taložnika na početak biološkog spremnika (slika 4-11).



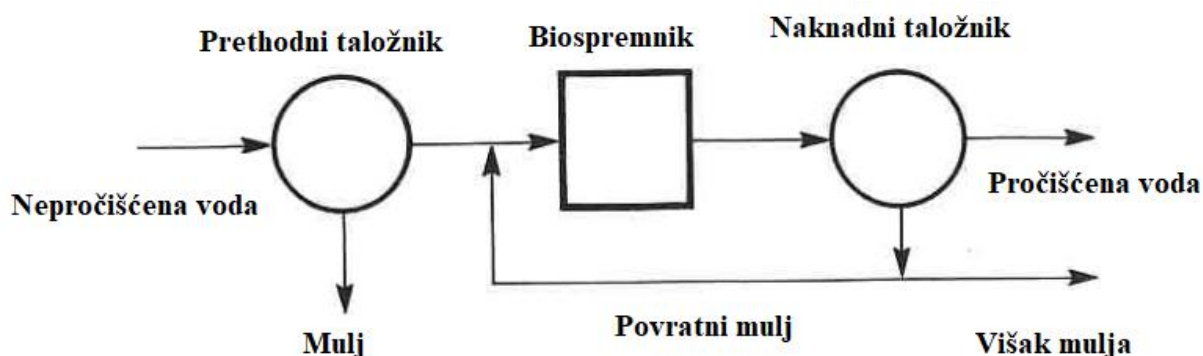
Slika 4-11. Konvencionalni proces (Tedeschi 1997)

Učink pročišćavanja otpadnih voda konvencionalnim procesom je 85 do 95%. Kod konvencionalnih uređaja često se primjenjuje unošenje zraka uzduž spremnika kako bi se bolje prilagodilo okolnostima potrošnje kisika u spremniku. Pri tome treba uzeti u obzir da potrošnja kisika djelovanjem mikroorganizama uzduž spremnika nije stalna veličina. Na ulazu u spremnik veće organsko opterećenje zahtijeva i veću potrošnju kisika (Tedeschi 1997).

2) Proces s potpunim miješanjem mulja

Razlika između procesa s potpunim miješanjem mulja i konvencionalnog procesa je u obliku spremnika, rasporedu hranjivih tvari i mikroorganizama. Oblik spremnika kod procesa potpunog miješanja mulja je četvrtast, a primjenjuje se mehanički način

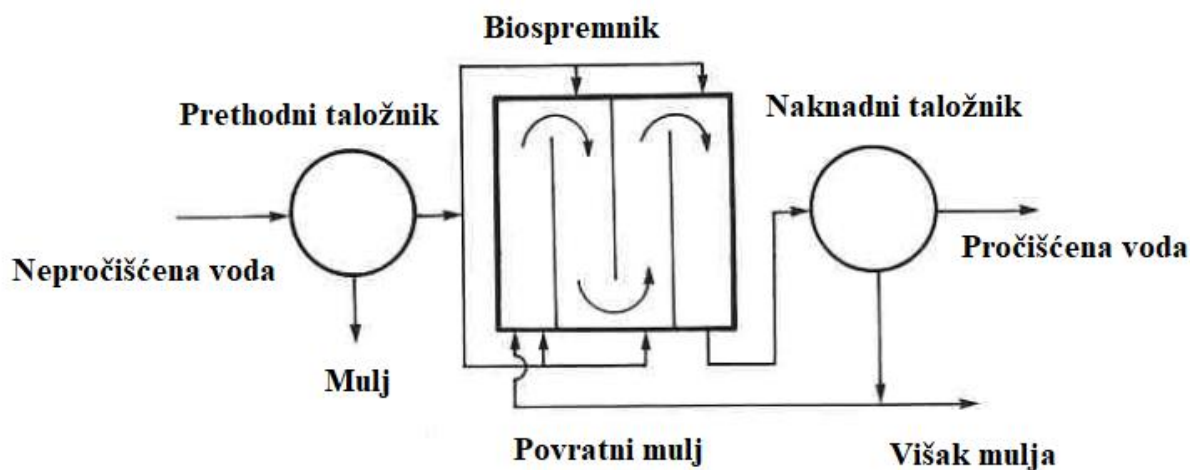
unošenja zraka uz istodobno potpuno miješanje mulja. Time se u čitavom spremniku postiže podjednaka koncentracija hranjivih tvari i mikroorganizama. Miješanje mulja omogućava i razrjeđenje otpadne vode, čime se opterećenje štetnim tvarima u biološkom spremniku smanjuje (slika 4-12). Opterećenje muljem se primjenjuje kao kod konvencionalnog procesa, a postižu se i slični učinci pročišćavanja otpadnih voda (Tedeschi 1997).



Slika 4-12. Proces s potpunim miješanjem (Tedeschi 1997)

3) Proces s postupnim prozračivanjem

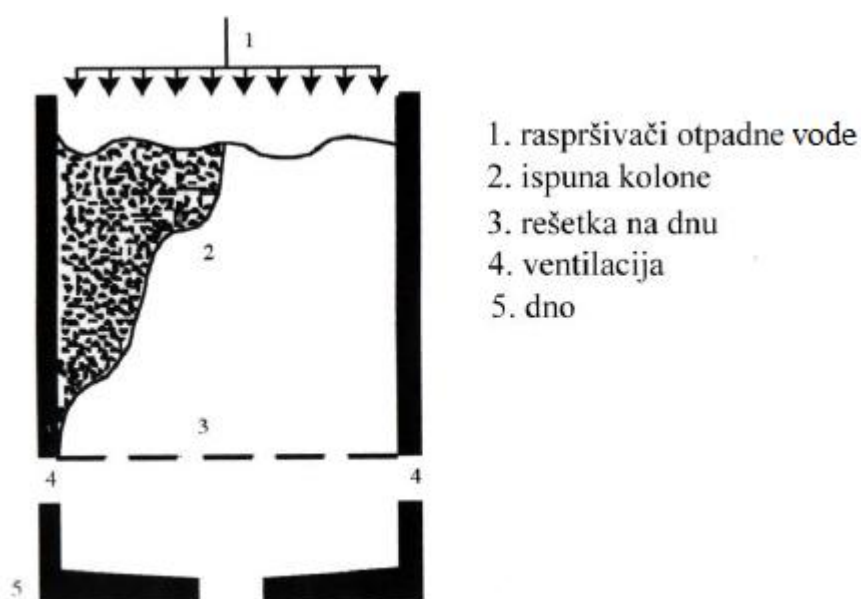
Proces s postupnim prozračivanjem je proces primjene aktivnog mulja u kojem se dodaje otpadna voda i zrak uzduž spremnika (slika 4-13). Time se omogućava održavanje stalnog odnosa opterećenja mulja i potrebe za kisikom uzduž spremnika. Učinak je približno isti kao i kod konvencionalnog procesa. Uslijed veće biološke učinkovitosti kod ovog procesa moguće je primjeniti veće prostorno opterećenje spremnika (Tedeschi 1997).



Slika 4-13. Proces s postupnim prozračivanjem (Tedeschi 1997)

4.3.1.4. Prokapnici

Prokapnik je najstariji uređaj za obradu otpadne vode. Izveden je najčešće u obliku betonskog spremnika kružnog presjeka. Spremnik na dnu ima rešetku, te ispod rešetke po dva otvora s bočnih strana radi strujanja zraka (slika 4-14). Središnji dio prokapnika ispunjen je volumskom ili plošnom ispunom. Volumske ispune su zrnati materijali veličine zrna od 4 do 10 cm. Plošne ispune su meke ili tvrde ispune, ali mogu biti i folije i tkanine. U slučaju obrade otpadne vode u prokapniku mikroorganizmi rastu pričvršćeni na čvrstu površinu (Štrkalj 2014).

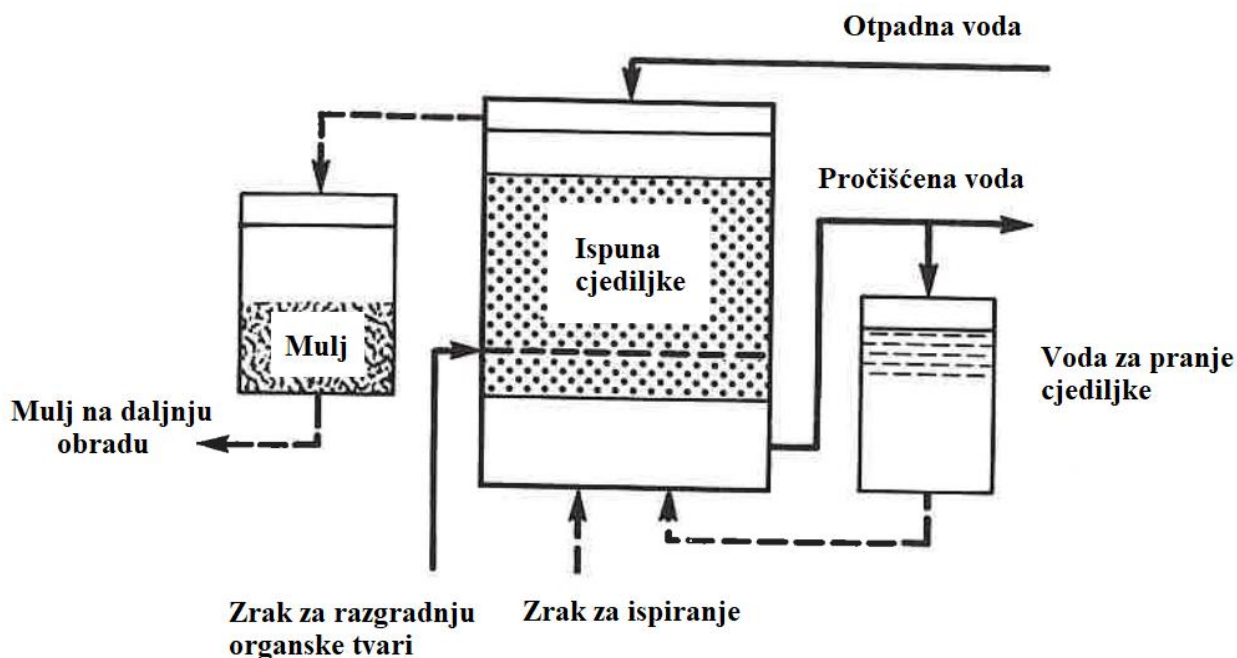


Slika 4-14. Prokapnik (Štrkalj 2014)

Preko ispune voda prokapljuje odozgo prema dolje, a zrak struji u istom smjeru ili obrnuto. Otpadna voda se dovodi na ispunu prokapnika okretnim rasprskivačima. Mikroorganizmi se koriste organskom tvari iz vode za tvorbu novih stanica čime se povećava debljina biološke opne. Prionljivost mikrobiološke opne za ispunu prokapnika smanjuje se i povremeno se opna otkida te odnosi s pročišćenom vodom, a na ispuni započinje rast nove opne. Gubitak mikrobiološke naslage naziva se ispiranje prokapnika (Tedeschi 1997).

4.3.1.5. Biološke cjediljke

Biološke cjediljke su uređaji u kojima se odvija proces razgradnje organske tvari s mikroorganizmima pričvršćenim na podlozi (slika 4-15).



Slika 4-15. Biološka cjediljka (Tedeschi 1997)

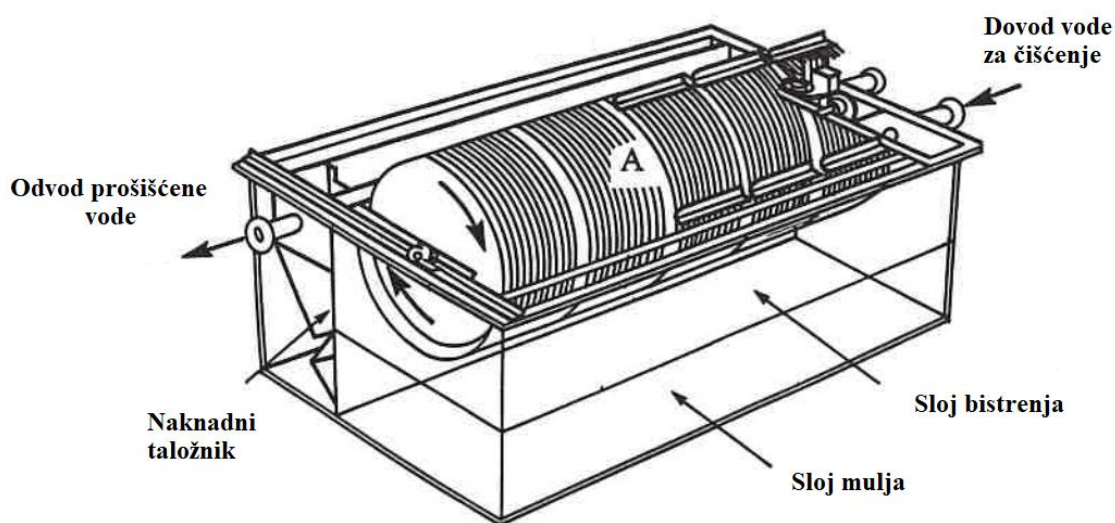
Podloga za mikroorganizme u biološkoj cjediljci su kuglice gline, veličine 3-6 mm i dovoljno velikih međuzrnastih šupljina kako bi se spriječila začepljenost. Voda se uvodi odozgo prema dolje, a zrak od međusloja prema gore. U gornjem dijelu potopljene cjediljke odvija se aerobna razgradnja organske tvari, a u donjem, anaerobnom dijelu, zadržavaju se raspršene tvari. Cjediljka istodobno djeluje i kao naknadni taložnik, što rezultira vrlo visokom kakvoćom pročišćene vode (Tedeschi, 1997).

Primjena bioloških cjediljki je pogodna za industrijske otpadne vode s visokim opterećenjem organske tvari te zahtijeva 5-10 puta manje zemljišta od konvencionalnog biološkog procesa s aktivnim muljem (Tedeschi 1997).

4.3.1.6. Okretni biološki nosači

Okretni biološki nosači sastoje se od jednog ili više valjaka. Valjak čine okugle ploče koje se okreću na vodoravnoj osovinu. Na pločama su pričvršćeni mikroorganizmi, a u spremniku se nalazi otpadna voda. Ploče su povremeno izložene zraku, a povremeno

uronjene u otpadnu vodu. Proces razvoja mikroorganizmima sličan je kao i kod prokapnika (slika 4-16).



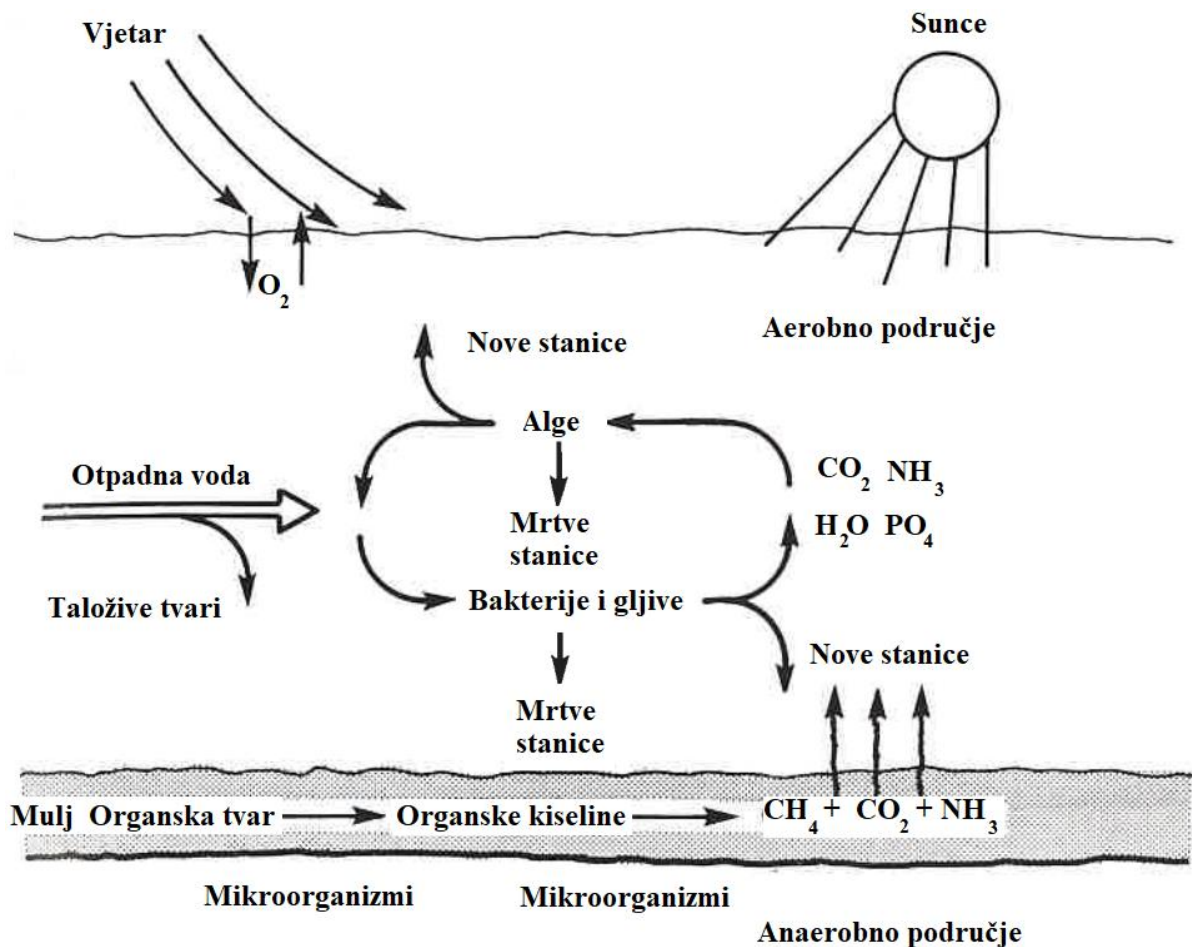
Slika 4-16. Okretni biološki nosač (Tedeschi, 1997)

Učinkak čišćenja otpadnih voda iz kućanstava okretnim biološkim nosačem je vrlo visok (do 95% i više). Prednost okretnog biološkog nosača je mala potrošnja energije, a nedostatak predstavlja potreba pokrivanja zbog osjetljivosti na niske temperature i povećan rast algi (Tedeschi 1997).

4.3.1.7. Lagune i stabilizacijske bare

Lagune i stabilizacijske bare su plitki i prostrani zemljani spremnici u kojima se otpadna voda zadržava dovoljno dugo kako bi se pročistila prirodnim procesima. Lagune i stabilizacijske bare se razlikuju prema načinu unošenja kisika. U lagunama se dodaje kisik iz zraka, čime se postiže dodatno prozračivanje. Stabilizacijske bare koriste kisik isključivo na prirodan način (otapanjem iz zraka i/ili iz procesa fotosinteze) (Tedeschi 1997).

Lagune i stabilizacijske bare su nisko opterećeni biološki procesi s malom koncentracijom mikroorganizama u spremnicima. U njima se dnevno razgradi mala količina organske tvari, a otpadna voda se duže vrijeme zadržava u spremniku (slika 4-17).



Slika 4-17. Procesi u stabilizacijskoj bari (Tedeschi 1997)

Dio mikroorganizama je raspršen u vodi spremnika, a dio je pričvršćen na dno i strane spremnika laguna i stabilizacijskih bara. Kod plitkih spremnika, po čitavoj dubini je otopljen kisik, što pogoduje odvijanju aerobnih procesa razgradnje organske tvari i tvorbe novih stanica. U plitkim spremnicima se odvija odumiranje bakterija. U dubokim spremnicima otopljenog kisika ima samo u površinskom sloju, pa se gotovo u čitavom spremniku odvijaju anaerobni procesi. U lagune se kisik iz zraka unosi pomoću uronjenih raspršivača ili drugim mehaničkim sredstvima (Tedeschi 1997).

U zimskom razdoblju (niže temperature) učinak biološke razgradnje u lagunama i barama se smanjuje, a u proljeće (više temperature) dolazi do pojave neugodnih mirisa, povećanog organskog opterećenja i poremećaja u biološkoj razgradnji.

Nedostatak primjene laguna i bara su veće količine algi u pročišćenoj vodi stoga, ako je potrebno primjenjuju se dodatni procesi uklanjanja algi (Tedeschi 1997).

4.3.2. Fizikalno-kemijski procesi

Prilikom obrade otpadnih voda, fizikalno-kemijski procesi pročišćavanja se kao drugi stupanj pročišćavanja primjenjuju samo u posebnim slučajevima, tj. (Tedeschi 1997):

- pri ispuštanju pročišćenih voda u otvorene dijelove mora s izraženim stupnjem razrijeđenosti, kada nije nužno potpuno ukloniti organske tvari,
- pri znatnijim kolebanjima dotoka i organskog opterećenja na uređaj, što bi moglo izazivati smetnje u radu bioloških procesa.

Prednosti primjene ovakvih procesa su niži troškovi izgradnje sustava za pročišćavanje i mogućnost brzog prilagođavanja procesa pročišćavanja kolebanjima u dotoku otpadnih voda tijekom dana i godine (posebice za sezonske objekte: hotele, kampove, kuće za odmor i sl.). Nedostaci ovih procesa su visoki troškovi pogona, manji učinak uklanjanja organskih tvari i veća količina sirovog mulja. Fizikalno-kemijskim procesima uvijek prethodi prvi stupanj čišćenja. Najčešće primjenjivani fizikalno-kemijski procesi su (Tedeschi 1997):

- zgrušavanje (koagulacija),
- pahuljičenje,
- taloženje.

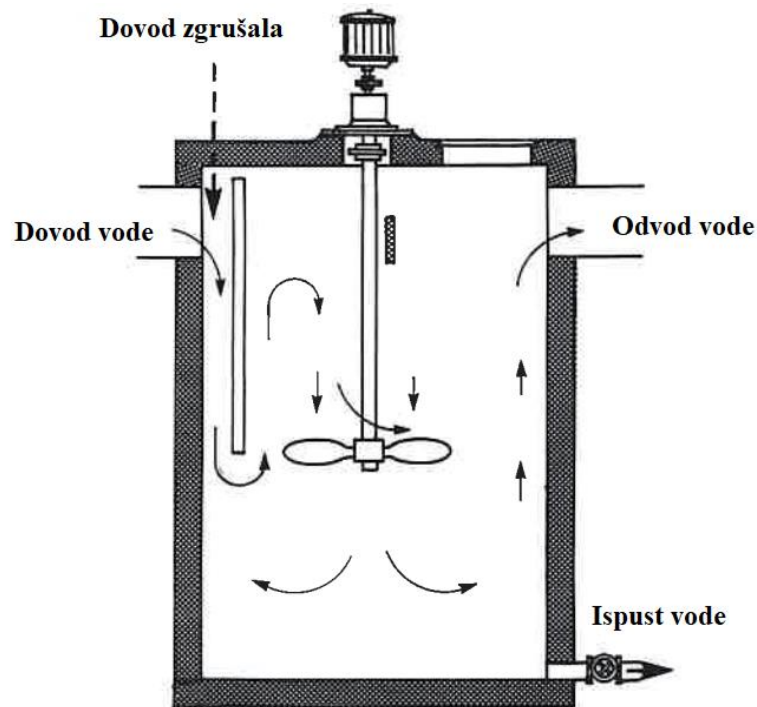
4.3.2.1. Zgrušavanje

Zgrušavanje ili koagulacija je proces kojim se, unošenjem u vodu određenih kemijskih tvari (reagensa), smanjuju sile koje sprječavaju približavanje raspršenih čestica u vodi. Stabilnost koloidne otopine ovisi o ionizaciji koja nastaje rastvaranjem ili adsorpcijom određenih čestica, pri čemu se na površini koloidnih čestica pojavljuju elektrostatički naboji (Tedeschi 1997).

Koloidi u prirodnim vodama su uvijek negativno nabijeni, a slično je i u slučaju većine otpadnih voda. Prilikom istih elektrostatičkih naboja, koloidi se međusobno odbijaju i ostaju raspršeni u vodi (Tedeschi 1997).

Neutralizacija elektronabijenih koloida provodi se dodavanjem iona suprotnog naboja. Sredstva za zgrušavanje su prirodni ili sintetički polimeri te aluminijeve ili željezne soli. Prednost polimera u odnosu na soli je njihova topljivost u vodi, pa se njihovom upotrebom ne povećava količina mulja. Kako bi došlo do bržega kontakta koloidnih čestica

i koagulanata u spremnicima za zgrušavanje se obavlja brzo miješanje otpadnih voda i dodanih sredstava za koagulaciju (slika 4-18).

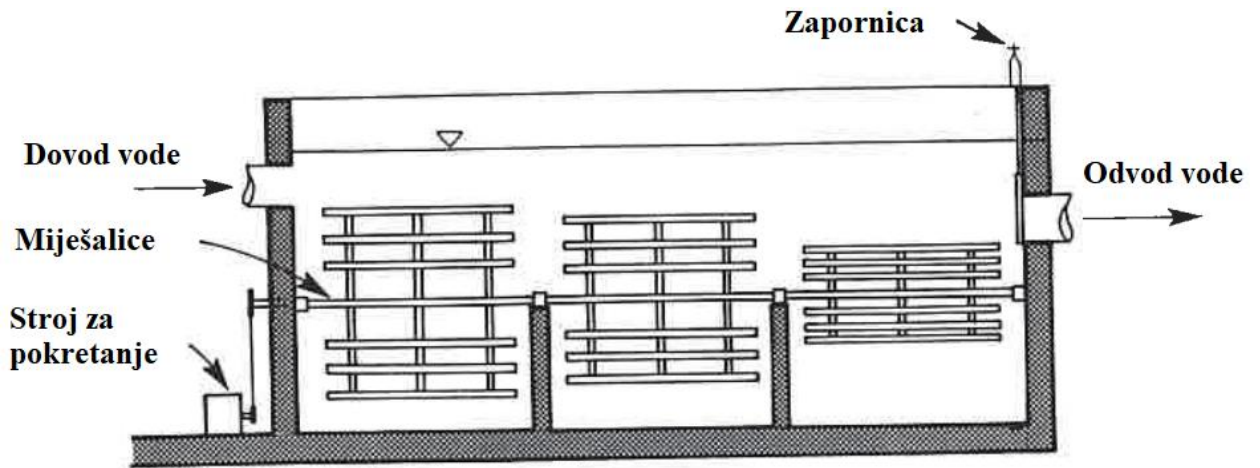


Slika 4-18. Spremnik za miješanje vode i zgrušala (Tedeschi, 1997)

Izbor i količina sredstava za zgrušavanje ovisi o porijeklu i sastavu otpadne vode, zahtijevanom stupnju pročišćavanja i promjenama u količini i kakvoći neobrađene vode (Tedeschi 1997).

4.3.2.2. Pahuljičenje

Pahuljičenje (flokulacija) predstavlja proces u kojem se manje čestice u vodi spajaju u veće nakupine, tzv. pahuljice (slika 4-19). Pahuljičenje se poboljšava laganim miješanjem tekućine u spremniku, kako bi se omogućio učestaliji kontakt pojedinih čestica, odnosno pahuljica (Tedeschi 1997).



Slika 4-19. Spremnik za pahuljičenje (Tedeschi 1997)

Brzina strujanja otpadne vode, zbog miješanja u spremniku, ne smije biti velika da ne bi došlo do razbijanja stvorenih pahuljica. Povećanje veličine pahuljice postiže se dodavanjem sredstava za pahuljičenje koja mogu biti anorganska i organska. Često korišteno sredstvo za pahuljičenje je aktivni silicij, a koriste se još i bentonit, gline, dijatomejska zemlja i aktivni ugljen u prahu. Količina i vrsta sredstava za pahuljičenje ovisi o sastavu i porijeklu otpadnih voda što se utvrđuje ispitivanjima u laboratoriju (Tedeschi 1997).

4.4. TERCIJARNA OBRADA OTPADNIH VODA

Nakon biološke obrade, ukoliko je potrebo, slijedi tercijarna obrada ili treći stupanj pročišćavanja otpadnih voda. Tercijarna obrada se primjenjuje u slučajevima kada kakvoća otpadnih voda nakon biološke obrade nije zadovoljavajuća. Također, tercijarna se obrada primjenjuje kada se otpadna voda ispušta u prijemnik koji je osjetljiv na sadržaj organske tvari i hranjive soli, jer bi njihov sadržaj izazvao eutrofikacijski proces i smanjio mogućnost njegove uporabe. Tercijarnom obradom otpadnih voda se, fizikalnim, kemijskim i biološkim procesima, izdvajaju ili se smanjuju, količine hranjivih soli dušika i fosfora, mikroorganizama, pesticida, otrovnih i radioaktivnih stvari. Kako bi se postigao traženi (visok) stupanj pročišćene otpadne vode, navedeni procesi se primjenjuju kombinirano (Hammer 2004).

4.4.1. Fizikalni procesi

Fizikalnim procesima u tercijarnoj obradi otpadnih voda se uklanjaju uzročnici okusa, mutnoće, boje, mirisa, otopljenih soli i mikroorganizama. Za navedeno najčešće se koriste filtriranje, adsorpcija i membranski procesi.

4.4.1.1. Filtriranje

Filtriranje je jedan od najjednostavnijih i najvažnijih procesa odvajanja krutine od tekućine. Filtracijom otpadnih voda kroz porozan ili zrnati materijal uklanjaju se primjese čija se specifična težina malo razlikuje od specifične težine vode. Najčešće se kao sredstvo za filtraciju koristi kvarcni (silikatni) pijesak. Filtriranjem se iz otpadne vode uklanjaju čvrste netopljive tvari, flokule, talozi i talozi hidroksida. Prilikom filtracije vode na filtrima može doći do mehaničkog uklanjanja suspendiranih čestica, taloženja, adsorpcije, ali i kemijskog i biološkog djelovanja filtra (Štrkalj 2014).

Pješčani filter je uređaj uz pomoć kojeg se pročišćava otpadna voda koja je već obrađena u I. i II. stupnju pročišćavanja. Koristi se kada su postavljeni visoki kriteriji kakvoće ispuštenih otpadnih voda, najčešće u kombinaciji s drugim procesima (Tušar 2007).

4.4.1.2. Adsorpcija

Adsorpcija je jedna od najčešće korištenijih i najekonomičnijih metoda za uklanjanje štetnih tvari iz otpadnih voda. Navedena metoda, u odnosu na druge metode daje vrlo dobre rezultate. Adsorpcija je sposobnost neke čvrste tvari (adsorbensi) vezivanja tj. adsorbiranja na svojoj površini molekula plina ili molekula i iona (adsorbat) iz otopine. Pojava adsorpcije posljedica je djelovanja privlačnih sila između čvrste površine adsorbensa i molekula u otpadnoj vodi, što se očituje pojavom toplinskih efekata za vrijeme procesa. Količina adsorbirane tvari na čvrstoj površini ovisi o specifičnim svojstvima površine, pH-vrijednosti i temperaturi otpadnih voda. Kao adsorbens za pročišćavanje otpadnih voda najčešće se koristi aktivni ugljen (aktivni ugljik). Najčešći oblici aktivnog ugljika su: granulirani, praškasti i vlaknasti. Proces pročišćavanja otpadnih voda adsorpcijom bazira se na

propuštanju vode preko aktivnog ugljena. Na taj se način vrlo učinkovito iz otpadnih voda uklanjaju teški metali (Štrkalj 2014).

4.4.1.3. Membranski procesi

Otpadna voda se pročišćava membranskim procesima polupropusnim membranama koje iz otpadne vode uklanjaju neželjene tvari dok vodu i neke tvari propuštaju. Polupropusne membrane su izrađene od sintetičkih materijala (polimeri, polivinilklorid, polipropilen i dr.) u obliku cjevčica vrlo malog promjera i debljine stijenki. Za odvajanje otopljenih tvari iz otpadnih voda pomoću tlaka koristi se (Tedeschi 1997):

1) **Mikrofiltracija**

Procesi mikrofiltracije primjenjuju se za uklanjanje čestica od 10 do 0,02 mm. Navedenim procesom smanjuju se koncentracija raspršene tvari, BPK5, količina fosfora, bakterija i mutnoća.

2) **Ultrafiltracija**

Ultrafiltracija je proces filtriranja vode kroz filter (membranu) veličine otvora od 0,02 do 0,001 mm. Ovim procesom se iz otpadne vode uklanjaju mikroorganizmi, ali i proteini i pigmenti. Membrana može biti napravljena i od prirodnih (celuloza) i od umjetnih materijala (PVC). Kako bi ultrafiltracija bila što učinkovitija provodi se uz razliku tlakova, obično vakuumom. Proces ultrafiltracije odvija se uz tlak veći od 0,14 MPa.

3) **Inverzna osmoza**

Osmoza se općenito može definirati kao prolaz molekula otapala u otopinu kroz polupropusnu membranu. Ako se odvija proces obrnut od osmoze događa se tzv. inverzna osmoza. Inverzna osmoza će se odvijati kada je tlak, koji djeluje na otopinu u obrnutom smjeru, veći od osmotskog tlaka. Inverzna osmoza može također poslužiti za pročišćavanje otpadnih voda, ali pri tome treba voditi računa da suspendirane tvari mogu oštetiti membranu. Iz tog se razloga ovaj proces uglavnom primjenjuje za pročišćavanje industrijskih

otpadnih voda. Inverznom osmozom se uklanjaju čestice veličine od 0,001 do 0,0001 mm. Inverznom osmozom se koristi za demineralizaciju industrijskih voda i desalinizaciju.

4.4.2. Kemijski procesi

Kemijski procesi pročišćavanja otpadnih voda jesu oni kod kojih se, uz dodatak određenih sredstava, odvijaju kemijski procesi čime se poboljšava kakvoća voda. Za pročišćavanje otpadnih voda koriste se sljedeći procesi: kemijsko obaranje, ionska izmjena, oksidacija i dezinfekcija (Tedeschi 1997).

4.4.2.1. Kemijsko obaranje

Kemijsko obaranje je proces uklanjanja nepoželjnih otopljenih tvari dodavanjem kemijskih sredstava (reagensa). Koristi se za omekšavanje vode te smanjivanje alkaliteta i slanosti. Tim se procesom iz otpadnih voda mogu ukloniti fluorid i fosfati te ioni teških metala (kadmija, bakra, kroma i dr.)

4.4.2.2. Ionska izmjena

Ionska izmjena je proces u kojem neke tvari (najčešće ionske smole) imaju sposobnost zamjene svojih iona ionima iz otpadne vode. Ionske smole su krute tvari koje mogu biti u obliku kuglica, vlakana cijevi ili membrana. Smještene su u cilindrične posude preko kojih se propušta otpadna voda. Proces ionske izmjene se koristi za omekšavanje vode, dekarbonizaciju, potpunu demineralizaciju, uklanjanje iona metala i druge procese izmjene iona u industriji (Tedeschi 1997).

4.4.2.3. Oksidacija i redukcija

Oksidacija i redukcija su kemijske reakcije pri kojoj tvar koja se oksidira otpušta elektrone, a tvar koja se reducira prima elektrone. Atom male ionizacijske energije lako predaje elektron i tako postaje pozitivno nabijen ion ili kation. Atom velikog elektronskog afiniteta lako prima elektron i time postaje negativno nabijen ion ili anion. Ukupna reakcija naziva se redoks proces. U procesima pročišćavanja otpadnih voda oksidacija se koristi za dezinfekciju, smanjenje BPK, boje i mirisa te se koristi za uklanjanje željeza i mangana (Tedeschi 1997).

4.4.2.4. Dezinfekcija

Dezinfekcija vode se provodi radi smanjivanja broja mikroorganizama koji bi mogli izazvati bolesti. To je proces koji osigurava zdravstvenu ispravnost vode. Dezinfekcija se provodi za vode u vodoopskrbi te otpadne vode i mulj s uređaja za pročišćavanje prije njihovog konačnog ispuštanja u okoliš. Dezinfekcija se može provesti samo u bistroj vodi. Vrlo malo zamućenje ometa proces dezinfekcije što rezultira neuspješnošću odvijanja ovog procesa. Metode dezinfekcije mogu biti fizikalne i kemijske. U novije vrijeme sve češće se koristi kombinacija fizikalnih i kemijskih metoda. Metode dezinfekcije vode, prema mehanizmu djelovanja, mogu se podijeliti na metode s fizikalnim djelovanjem (toplina), metode s kemijskim sredstvima (klor, brom, ozon), metode koje koriste zračenje (UV-zračenje, radioaktivni izotopi) i metode koje koriste membransku tehnologiju (Štrkalj 2014).

4.4.3. Biološki procesi

Biološki procesi u trećem stupnju pročišćavanja otpadnih voda podrazumijevaju procese uklanjanja dušika i fosfora iz otpadnih voda. Za smanjenje dušikovih spojeva najčešće se koriste procesi nitrifikacije i denitrifikacije, dok se fosfor uklanja procesom kemijskog obaranja.

4.4.3.1. Uklanjanje dušika

Dušik je gotovo uvijek prisutan u otpadnim vodama i to najčešće u obliku amonijaka, te nitrata i nitrita. Biološko uklanjanje dušika provodi se oksidacijom amonijaka do nitrita, što je poznato kao proces nitrifikacije, te redukcijom nitrita do plinovitog dušika (denitrifikacija).

Za provođenje nitrifikacije koriste se autotrofne aerobne bakterije, dok se denitrifikacija odvija heterotrofnim strogo ili fakultativno anaerobnim bakterijama. Nitrifikacija započinje zadržavanjem otpadnih voda u spremniku za nitrifikaciju tri ili više dana. Proces će se najbolje odvijati kada je u otpadnoj vodi prisutno 2-3 mg/L kisika, te pri pH-vrijednosti od 8 do 9. Za optimalno provođenje procesa nitrifikacije bitna je i temperatura. Optimalno je temperaturu održavati na 20 °C, a svako sniženje temperature smanjuje i brzinu reakcije nitrifikacije. Svakako je dobro osigurati i prisutnost ugljikovog dioksida, ukloniti otrovne tvari i osigurati nižu koncentraciju organskih tvari.

Proces denitrifikacije zahtjeva temperaturu od minimalno 5, a maksimalno 25 °C. Kisik smanjuje učinkovitost denitrifikacijskog procesa. Procjenjuje se da se procesima pročišćavanja vode aktivnim muljem može ukloniti 30 do 50 % ukupnog dušika. Ako se uz ovaj proces provede i nitrifikacija i denitrifikacija uklanjanje dušikovih spojeva raste i do 90 % (Štrkalj 2014).

4.4.3.2. Uklanjanje fosfora

Fosfor je u otpadnoj vodi prisutan u obliku fosfata koji u vodu dospijevaju iz gnojiva, detergenata, industrije i sl. Uklanjanje fosfata također se provodi djelovanjem mikroorganizama. Za uspješno uklanjanje fosfata potrebno je u otpadnoj vodi osigurati potpuno anaerobne uvjete bez prisustva nitrata.

4.5. ZBRINJAVANJE I OBRADA PRIMARNOG MULJA

U procesima pročišćavanja otpadnih voda kao nusprodukt se pojavljuje mulj. U početku izgradnje uređaja za pročišćavanje otpadnih voda struka bila je koncentrirana na pročišćavanje otpadne vode, trudeći se dokazati kako će konačni efluent zadovoljavati propisane kriterije učinkovitosti pročišćavanja i neće ugroziti konačni prijemnik. No mulj koji ostaje u uređajima nakon pročišćavanja otpadne vode, potrebno je dodatno obraditi i konačno zbrinuti tako da ne predstavlja opasnost po okoliš (Vouk et al. 2011).

Razlikuje se nekoliko vrsta mulja (Tušar 2007):

- 1) **Primarni mulj iz primarnog ili prethodnog taložnika**, koji sadrži anorganske tvari (pijesak, glinu, karbonate i okside metala), organske tvari, i to lako razgradive (proteine, masti, ugljikohidrate) i teško razgradive (različita vlakna, guma i dr.). Također sadrži i žive organizme (bakterije, viruse, parazite i dr.);
- 2) **Biološki mulj iz biološkog reaktora**, sadrži uglavnom živu masu bakterija i njihove ostatke, a količina ovisi o vrsti uređaja (tj. o procesima pročišćavanja vode), starosti mulja, unosu zraka i dr;
- 3) **Tercijarni mulj**, koji nastaje kada je u procesima obradbe otpadne vode odvojena tercijarna faza. On sadrži ostatke reakcija kemikalija s otpadnom vodom i s njezinim sadržajem, adsorbense s adsorbiranim sastojcima iz otpadne vode, alge i dr;
- 4) **Kombinacije muljeva različita podrijetla.**

Cilj u obradi mulja je smanjiti njegov volumen kako bi se smanjili troškovi njihove obrade, transporta i površina na koju će se odložiti. Također, potrebno je nadzirati razgradnju mulja, kako bi se spriječili neželjeni poremećaji u okolišu. Na velikim pročišćivačima otpadnih voda, obrada mulja iznosi oko 50% troškova poslovanja cijelog objekta. Mulj se ne smije ispuštati u vodne sustave radi njihove zaštite. Jedina mogućnost odlaganja mulja ili ostataka obrade mulja je tlo. Obrada mulja ovisi sastavu, osobinama, podrijetlu, načinu ponove uporabe i mjestu i načinu konačnog odlaganja. Procesi, koji se koriste pri obradi mulja, su: zgušnjavanje, stabilizacija, poboljšanje svojstva, odvodnjavanje, kompostiranje i toplinska obrada (Tedeschi 1997).

4.5.1. Zgrušavanje mulja

Smanjivanje volumena mulja postiže se statičkim ili mehaničkim procesima zgušnjavanja. Kod statičkih zgrušavanja koristi se spremnik promjera 5 metara u kojem se mulj zadržava 1 do 1,5 dan. Na vrhu spremnika prelijeva se višak vode, a mulj se ispušta pri dnu spremnika. Kod mehaničkih zgušnjivača spremnici su promjera 60 metara i sadrže miješalicu mulja. Smanjivanje volumena mulja se može provesti i ocjeđivanjem vode, što se postiže prirodnim procesima (najčešće na poljima za sušenje mulja) ili umjetnim procesima (vakuum filtri, filtarske preše, trakaste preše, centrifuge) (Štrkalj 2014).

4.5.2. Stabilizacija

Stabilizacija mulja je proces koji sprječava daljnje truljenje mulja i može se provesti kemijski (uz dodatak vapna, klora, ozona i drugih oksidansa), biološki (anaerobna ili aerobna stabilizacija), kompostiranjem sirova ili trula mulja i toplinski (spaljivanje).

4.5.3. Poboljšanje svojstava mulja

Poboljšanjem svojstava mulja povećava se učinak njegove odvodnje te se smanjuje broj patogenih mikroorganizama i neugodni mirisi, pogotovo kod obrade gradskih otpadnih voda. Poboljšanje svojstava mulja podrazumijeva poboljšanje njegovih toplinskih i kemijskih svojstava. Za poboljšavanje kemijskih svojstava mulja koriste se mineralne soli (željeza i aluminijska) i organski polimeri. Toplinsko poboljšavanje mulja se može ostvariti zagrijavanjem, zamrzavanjem ili dodavanjem inertne tvari (pepeo). Mulj se zagrijava na temperaturu od 180°C do 200°C pod tlakom od 12 do 15 bara u vremenu od 30 do 45 min. Nakon tog procesa odvojena voda pokazuje visoke vrijednosti BPK5, pa se mora vratiti na početak pročišćavanja otpadnih voda. Kod zamrzavanja, mulj se prvo zamrzne, pa zatim otopi. To nije ekonomičan proces, pa se u kontinentalnim područjima na poljima za sušenje mulja i lagunama za mulj iskorištava djelovanje mraza. Kod dodavanja inertne tvari, najčešće pepela, mulj mijenja koloidnu strukturu te mu se smanjuje kalorijska vrijednost (Tušar 2007).

4.5.4. Odvodnjavanje mulja

Svježi i stabilizirani mulj sadržava veliku količinu vode koja nepovoljno utječe na daljnju obradu mulja te povećava troškove obrade i prijevoza mulja. Voda, koja se nalazi u mulju, nije čista i ne smije oticati u okoliš, jer može izazvati nepoželjne promjene. Stoga se, za odvajanje vode koristi odvodnjavanje mulja koje se postiže prirodnim cijeđenjem i isparivanjem na poljima za sušenje mulja, mehaničkim cijeđenjem na vakuumskim cjediljkama ili cjediljkama na tlaku te centrifugiranjem na centrifugama za mulj (Tedeschi 1997).

4.5.5. Kompostiranje

Kompostiranje je process u kojem dolazi do daljnje razgradnje organske tvari iz mulja do anorganske tvari. Konačan proizvod kompostiranja nalikuje humusu te se može koristiti u poljoprivredne svrhe. On ima svojstvo poboljšivača tla odnosno za rast biljaka raspored sastojaka u tlu što je jednako važno kao i dodavanje hranjivih tvari. Razgradnja organske tvari u kompostu može biti aerobna ili anaerobna. Prema temperaturi procesi kompostiranja mogu biti mezofilni (15-40°C) i termofilni (40-70°C). Tehnološki proces kompostiranja odvija se na zatvorenom ili otvorenom prostoru. Naslage mulja sazrijevaju 5 tjedana, a potrebno ih je premetati dva do tri puta tjedno. Da bi se ubrzala razgradnja organskih tvari u mulj se uvodi zrak i te se primjenjuju mehanički procesi miješanja mulja (Tedeschi 1997).

4.5.6. Toplinska obrada

Toplinska obrada je zadnji proces obrade mulja prije njegovog konačnog odlaganja. Zbog visokih troškova građenja i pogona, procesi toplinske obrade mulja se koriste samo u slučaju velikih sustava za pročišćavanje otpadnih voda. Zbog sličnih sastojaka i sličnog vođenja procesa moguće je istodobna toplinska obrada mulja gradskih otpadnih voda i krutog gradskog otpada. Toplinskom se obradom smanjuje količina vode u mulju, koja ostaje

nakon cijedenja, a moguća je i oksidacija organske tvari. Pri toplinskoj obradi mulja koriste se sljedeći procesi (Tedeschi 1997):

1) Sušenje

Sušenje je proces isparavanja vode na temperaturama od 200 do 400°C. Finalni proizvod sadrži 90% suhe tvari i 10% vlage. Takav suhi mulj se koristi u poljoprivredi za poboljšavanje rasporeda sastojaka u tlu.

2) Spaljivanje

Spaljivanje je proces u kojem se, osim potpunog isparavanja vode, odvija i izgaranje organskih tvari na temperaturama od 600 do 800 °C. Finalni proizvod je anorganska tvar (pepeo) koja se odlaže na nadzirana odlagališta, a rijetko se koristi u cestogradnji.

3) Piroliza

Piroliza je proces razgradnje organske tvari pri visokim temperaturama u atmosferi bez kisika. Finalni proizvodi su plinovi (vodik, metan), ulja, katran, pepeo i pougljena kruta tvar.

5. ZAKONSKI PROPISI O ISPUŠTANJU OTPADNIH VODA

Ispuštanje otpadnih voda u prirodne prijemnike završni je proces u upravljanju obradom otpadnih voda. Najvažnija odluka u procesu upravljanja obradom otpadnih voda je izbor mjesta i način ispusta, kao i stupanj pročišćavanja otpadnih voda. Maksimalne dozvoljene vrijednosti, koje prije ispuštanja otpadne vode moraju zadovoljiti, su propisane zakonskom regulativom. Projektiranje i građenje sustava odvodnje i pročišćavanja otpadnih voda u Republici Hrvatskoj se temelji na pravnim normama - zakonskim i podzakonskim aktima (uredbama, pravilnicima, planovima). Hrvatska, kao članica Europske unije, se obvezala na vodnogospodarsku suradnju s Europskom komisijom i državama članicama i potpuno usklađenje vodnog zakonodavstva s pravnom stečevinom Europske unije (Višić et al. 2015).

Pokazatelji kakvoće industrijskih otpadnih voda, koje se ispuštaju u sustav javne odvodnje ili u površinske vodotokove, te njihove granične vrijednosti u Hrvatskoj su propisani *Pravilnikom o graničnim vrijednostima emisija otpadnih voda* (NN 80/2013, 43/2014, 27/2015 i 3/2016).

U tablici 5-1. prikazane su, za pojedine pokazatelje kakvoće voda njihove granične vrijednosti i dozvoljene koncentracije nekih opasnih i drugih tvari u tehnološkim otpadnim vodama, koje se ispuštaju u sustav javne odvodnje ili u površinske vode te norme koje propisuju odgovarajuću metodu određivanja tih parametara. Prema odredbama navedenog Pravilnika dozvoljava se ispuštanje pročišćenih otpadnih voda u površinske vodotokove (rijeke, potoci, melioracijski kanali) i mora.

Tablica 5-1. Granične vrijednosti nekih pokazatelja kakvoće tehnološke otpadne vode Pravilnikom o graničnim vrijednostima emisija otpadnih voda (NN 80/2013, 43/2014, 27/2015 i 3/2016)

Pokazatelji	Zabrana ispuštanja u podzemne vode	Izraženi kao	Jedinica	Ispust: površinske vode	Ispust: sustav javne odvodnje
<i>Fizikalno-kemijski</i>					
Temperatura			°C	30	40
pH-vrijednost				6,5 – 9,0	6,5 – 9,5
Suspendirane tvari			mg/l	35	(a)
Taložive tvari			ml/lh	0,5	10
Boja (obojenost)				bez	-
<i>Ekotoksikološki</i>					
Toksičnost na dafnije		LIDD*	faktor razrjeđenja	2	-
Toksičnost na svjetleće bakterije		LIDL*	faktor razrjeđenja	3	-
<i>Organski</i>					
Ukupni organski ugljik (TOC)			mg C /l	30	-
Kemijska potrošnja kisika (KPK)		O ₂	mg O ₂ /l	125	sukladno članku 5. Pravilnika
Biološka potrošnja kisika (BPK5)		O ₂	mg O ₂ /l	25	sukladno članku 5. Pravilnika
Ukupni ugljikovodici	N		mg/l	10	30
Adsorbilni organski halogeni (AOX)		Cl	mg Cl /l	0,5	0,5
Lakohlapljivi klorirani ugljikovodici		Cl	mg Cl /l	0,1	1,0
Fenoli			mg/l	0,1	10
<i>Anorganski</i>					
Aluminij		Al	mg Al /l	3,0	-
Bakar		Cu	mg Cu /l	0,5	0,5
Cink		Zn	mg Zn /l	2,0	2,0
Kadmij	N	Cd	mg Cd /l	0,1	0,1
Kobalt		Co	mg Co /l	1,0	1,0
Kositar		Sn	mg Sn /l	2,0	2,0
Ukupni krom		Cr	mg Cr /l	0,5	0,5
Krom VI		Cr	mg Cr /l	0,1	0,1
Olovo	N	Pb	mg Pb /l	0,5	0,5
Klor slobodni		Cl	mg Cl /l	0,2	0,5
Ukupni klor		Cl	mg Cl /l	0,5	1,0
Amonij		N	mg N /l	10,0	-
Ukupni fosfor		P	mg P /l	2,0 (1,0 jezera)	sukladno članku 5. Pravilnika
Sulfati		SO ₄	mg SO ₄ /l	250	sukladno članku 5. Pravilnika
Sulfidiotopljeni		S	mg S /l	0,1	1,0
Sulfiti		SO ₃	mg SO ₃ /l	1,0	10

*LIDD, LIDL – najmanje razrjeđenje otpadne vode koje nema učinka na test organizme; određuje se najmanje četiri puta godišnje; Toksičnost na dafnije određuje se u ispustu

otpadne vode u kopnene vode, a toksičnost na svjetleće bakterije u ispustu u priobalne vode

N – onečišćujuća tvar čije je ispuštanje u podzemne vode zabranjeno

(a) granična vrijednost emisije određuje se u otpadnoj vodi u slučaju ako suspendirane tvari štetno djeluju na sustav javne odvodnje i/ili na proces pročišćavanja uređaja, a određuje ju pravna osoba koja održava objekte sustava javne odvodnje i uređaja.

Potreban stupanj pročišćavanja otpadnih voda ovisi u prvom redu o propisanoj kategoriji prijemnika (vodotoka) u koji se pročišćene otpadne vode ispuštaju te o veličini uređaja za pročišćavanje. Potreban stupanj pročišćavanja otpadnih voda definiran je *Strategijom upravljanja vodama* (NN 91/2008) i *Pravilnikom o graničnim vrijednostima emisija otpadnih voda* (NN 80/2013, 43/2014, 27/2015 i 3/2016). Regulativom je definiran potreban stupanj pročišćavanja u ovisnosti o osjetljivosti područja i kapaciteta promatranog sustava (tablica 5-2.).

Tablica 5-2. Određivanje potrebnog stupnja pročišćavanja otpadnih voda (Višić et al. 2015).

ES	2 000 - 10 000	10 000 - 15 000	15 000 – 150 000	>150 000
osjetljivo područje	I. stupanj (ili odgovarajuće*) pročišćavanja	III. stupanj pročišćavanja	III. stupanj pročišćavanja	III. stupanj pročišćavanja
normalno područje	II. stupanj (ili odgovarajuće*) pročišćavanja	II. stupanj pročišćavanja	II. stupanj pročišćavanja	II. stupanj pročišćavanja
manje osjetljivo područje	odgovarajuće pročišćavanje	I.stupanj ili II. stupanj pročišćavanje	II. stupanj pročišćavanja	II. stupanj pročišćavanja

ES - ekvivalent stanovnika jest potrošnja vode od 200 litara na dan po stanovniku,

* - priobalna područja

Pravilnikom o graničnim vrijednostima emisija otpadnih voda (NN 80/2013, 43/2014, 27/2015 i 3/2016) i *Zakonom o vodama* (NN 66/2019) određena je metodologija uzorkovanja i ispitivanja sastava otpadnih voda, učestalost uzorkovanja i ispitivanja, obrazac očevidnika ispuštenih otpadnih voda, njegov oblik i način vođenja, rokovi i oblici dostavljanja podataka. Tvrtki Hrvatske vode potrebno je redovito dostavljati podatke o uzorkovanju i ispitivanju sastava ispuštenih otpadnih voda.

Korisnici, koji su spojeni na sustav javne odvodnje, plaćaju naknadu za korištenje sustava javne odvodnje, a korisnici čije otpadne vode dolaze na uređaj za pročišćavanje plaćaju naknadu za pročišćavanje otpadnih voda. Visine naknada se određuju na temelju zakonskih propisa, a količina otpadne vode prema količini potrošene vode koja se utvrđuje očitavanjem vodomjera. Nadzor u primjeni ove odluke obavljaju nadležna vodopravna i sanitarna inspekcija te inspekcija za zaštitu okoliša kao i komunalno redarstvo, svaki u okviru svoje nadležnosti (Višić et al. 2015).

6. CENTRALNI UREĐAJ ZA PROČIŠĆAVANJE OTPADNIH VODA GRADA ZAGREBA

U drugoj polovici prošlog stoljeća kakvoća rijeke Save u području grada Zagreba se znatno pogoršavala, posebice nizvodno od ušća glavnog odvodnog kanala grada Zagreba. To je bila posljedica gospodarskog razvoja i ispuštanje komunalnih i industrijskih otpadnih voda bez prethodne obrade. Kako bi se sačuvala vode određene kakvoće, ne samo za tadašnje potrebe, već i za buduće, usvojene su pravne mjere za zaštitu i poboljšanje kakvoće voda. Pripremni radovi na izgradnji Centralnog uređaja za pročišćavanje otpadnih voda grada Zagreba (CUPOVZ) započeli su krajem sedamdesetih godina prošlog stoljeća. Zagrebačke otpadne vode d.o.o. (ZOV), kao koncesionar, preuzimaju cjelokupno financiranje projekta i upravljanje CUPOVZ. (Tedeschi et al. 2015).

Iako je Zagreb među prvim gradovima u svijetu izgradio kanalizacijski sustav za skupljanje otpadnih voda, tek 2004. godine su u pogon pušteni objekti za mehaničko te 2007. godine objekti za biološko pročišćavanje otpadnih voda. Od tada je cijelo postrojenje u neprekidnom pogonu 24 sata dnevno i postiže zadovoljavajuće rezultate, koji su daleko bolji od propisanih EU smjernicama. Veličina uređaja bila je određena za prvo razdoblje 2002.g. kapacitetom od 1,2 milijuna ekvivalent stanovnika (ES), a za konačno, potvrđena je vrijednost od 1,5 milijuna ES (Tušar et al. 2009).

6.1. Mehaničko pročišćavanje otpadnih voda na Centralnom uređaju za pročišćavanje otpadnih voda grada Zagreba

Kao prva faza prvoga razdoblja izgrađen je prethodni stupanj pročišćavanja otpadnih voda (mehanički dio) koji se sastoji od:

- 1) grube rešetke,
- 2) ulazne crpne stanice,
- 3) fine rešetke,
- 4) pjeskolova-mastolova,
- 5) fekalne stanice.

6.1.1. Ulazna crpna stanica

Otpadne vode, koje dotječu glavnim odvodnim kanalom i dovodnim kanalom iz Novog Zagreba, prije ulaska u crpnu stanicu čiste se grubom rešetkom radi zaštite crpki i

cjevovoda u nizvodnom dijelu sustava (slika 6-1.). Pužne crpke i čitava crpna stanica su pokriveni, a zrak se čisti na biofilteru. Osnovne karakteristike crpne stanice su (Tedeschi et al. 2015):

- sušni dotok je 16,500 m³/h,
- kišni dotok je 30,510 m³/h,
- broj crpki je 3+1 kom.,
- promjer puža crpke je 3.000 mm,
- geodetska visina dizanja je 6,3 m.



Slika 6-1. Ulazna crpna stanica s grubom rešetkom (ZOV 2009)

6.1.2. Zgrada s rešetkama CUPOVZ

U zgradi, koja se također prozračuje, smještene su fine rešetke. Otpad skupljen na rešetkama uklanja se spiralnim transporterima unutar kojih su smještene preše za pranje. (slika 6-2.). Isprani otpad se preša i odlaže se u spremnike koji se odvoze na sanitarno odlagalište. Otpadni zrak se pročišćava na biofiltrima koji su smješteni uz zgradu za rešetke. Osnovne karakteristike rešetki u prvoj fazi izgradnje bi su (Tedeschi et al. 2015):

- broj rešetki je bio 3+1 kom,

- razmak otvora je 10 mm,
- širina rešetke je 2,8 m.



Slika 6-2. Zgrada s finim rešetkama (ZOV 2009)

6.1.3. Pjeskolov-mastolov CUPOVZ

Prozračeni pjeskolov-mastolov uzdužno je pregrađen perforiranom pregradom u dvije komore. U prvoj se talože tvari veće gustoće od vode, a u drugoj ulja i masti. Proces taloženja i isplivavanja potpomognut je upuštanjem mjehurića zraka. Pijesak se skuplja na dnu te se odvozi na odlagalište. Ulja i masti se obrađuju u digestorima. Nakon pjeskolova-mastolova ugrađen je mjerač protoka. Karakteristike pjeskolova-mastolova su (Tušar et al. 2009):

- dvije linije,
- 4 pjeskolova-mastolova,
- vrijeme zadržavanja kod suhog dotoka je 13,0 min.,
- vrijeme zadržavanja kod kišnog dotoka je 7,5 min.,
- širina komore pjeskolova je 4,0 m,
- širina komore mastolova je 2,0 m,
- duljina komore pjeskolova je 50,0 m,
- duljina komore mastolova je 47,0 m.

6.1.4. Prethodni taložnici CUPOVZ

Nakon završene gradnje uređaja za prethodno pročišćavanje otpadnih voda CUPOVZ, postupno su se gradili prethodni taložnici, a istodobno i drugi stupanj pročišćavanja otpadnih voda. Uz pomoć prethodnih taložnika smanjuje se organsko opterećenje u biološkom dijelu uređaja. Nakon vodomjera otpadna voda se dovodi u razdjelno okno iz kojeg se ravnomjerno upušta u sva tri taložnika. Prethodni taložnici su kružnog tlocrta, a zgrtači mulja duljine su promjera taložnika. Osnovna obilježja prethodnih taložnika (3 komada) su (Tedeschi et al. 2015):

- vrijeme zadržavanja kod suhog dotoka je 1,43 h,
- promjer taložnika je 50,0 m,
- dubina vode iznosi 4,0 m.

Mulj iz prethodnih taložnika se uklanja automatski pomoću crpki i odvodi prema prethodnim zgušnjivačima mulja.

6.2. Biološko pročišćavanje otpadnih voda

U biološkom dijelu uređaja otpadna voda se pročišćava do propisane učinkovitosti drugog stupnja pročišćavanja. Biološki dio uređaja podijeljen je u pet jednakih cjelina po 300 tisuća ES. U prvom razdoblju izgradnje, 2002. godine, CUPOVZ izgrađene su četiri linije za kapacitet 1,2 milijuna ES, ali su odmah izgrađeni i svi pripadajući kanali, cjevovodi za petu liniju do konačnog kapaciteta. U tehnološkom smislu, što se tiče drugog stupnja pročišćavanja otpadnih voda predviđen je konvencionalni proces s aktivnim muljem koji se sastoji od biospremnika, naknadnog taložnika i recirkulacije mulja. Tehnološki i idejni projekt pripremila je tvrtka Zagrebačke otpadne vode d.o.o. (Tedeschi et al. 2015).

6.2.1. Biospremnici CUPOVZ

Otpadne vode iz prethodnih taložnika se dovode do razdjelnog okna u kojem se miješaju s povratnim muljem te se ravnomjerno odvede prema svim biospremnici. U biospremnici se uvodi stlačeni zrak koji se upušta u otpadne vode preko tanjurastih aeratora s gumenom membranom. Osnovna obilježja biospremnika (8 komada) su (Tedeschi et al. 2015):

- duljina biospremnika je 69,0 m,
- širina biospremnika je 16,5 m,
- dubina biospremnika je 5,5 m,
- volumen biospremnika je 6262 m³.

6.2.2. Naknadni taložnici

Ispred naknadnih taložnika nalazi se razdjelno okno u kojem se otpadna voda ravnomjerno raspoređuje na sve naknadne taložnike. Naknadni taložnici su kružnog tlocrta (slika 6-3.). Zgrtači mulja duljine su promjera taložnika. Povratni mulj se kontrolirano odvodi prema razdjelnim oknima biospremnika, a višak mulja se crpkama potiskuje prema strojnim zgušnjivačima mulja. Plivajući mulj se odvodi zajedno s viškom mulja na daljnju obradu. Osnovna obilježja naknadnih taložnika (12 komada) su (Tedeschi et al. 2015):

- promjer taložnika je 50,0 m,
- dubina vode uz rub je 3,6 m,
- dubina vode na dvije trećine staze protoka iznosi 4,2 m.



Slika 6-3. Naknadni taložnici (ZOV 2009)

6.2.3. Izlazna crpna stanica CUPOVZ

Pročišćena otpadna voda se gravitacijski odvodi i ispušta u glavni odvodni kanal gravitacijom do razine vode od 104,8 m. Kod više razine vode ispust se automatski zatvara te se pročišćena voda precrpkuje u glavni odvodni kanal pomoću izlazne crpne stanice. Obilježja izlazne crpne stanice (3+1 crpka) su (Tušar et al. 2009):

- maksimalan dotok iz uređaja je 30.510 m³/h,
- kapacitet jedne crpke iznosi 12.600 m³/h,
- visina dizanja crpki je 3,8 m.

6.3. Obrada mulja na CUPOVZ

Za obradu viška mulja iz prethodnog i naknadnog taložnika na CUPOVZ su primjenjeni procesi prethodnog zgušnjavanja, anaerobne stabilizacije, naknadnog zgušnjavanja te strojnog odvodnjavanja mulja. Obrada mulja se temelji na sedmodnevnom radu uređaja tijekom 24 sata na dan. Početak izgradnje prethodnih taložnika, biološkog dijela i obrade mulja bio je u prosincu 2004. godine. Prva etapa biološkog pročišćavanja i obrade mulja (25%) započela je probno u listopadu 2006. godine, druga etapa (50%) u prosincu 2006. godine, treća etapa (75%) u srpnju 2007. godine, a posljednja četvrta (100% prvog razdoblja) u rujnu 2007. godine (Tedeschi et al. 2015).

Mulj iz prethodnih taložnika se zgušnjava u prethodnim gravitacijskim zgušnjivačima pomoću zgrtača mulja i miješalica. Višak mulja iz naknadnih taložnika se zgušnjava strojno. Karakteristika prethodnog gravitacijskog zgušnjivača (2 komada) su (Tedeschi et al. 2015):

- promjer zgušnjivača je 24,0 m,
- dubina punjenja zgušnjivača je 4,4 m,
- vrijeme zadržavanja otpadne vode u zgušnjivaču je 2,2 dana.

Karakteristike strojnog trakastog gravitacijskog zgušnjivača su (Tedeschi et al. 2015):

- broj strojeva za odvodnjavanje je 4+1 kom.,
- kapacitet jednog stroja iznosi 145 m³/h.

Nakon stabilizacije, mulj se ponovno zgušnjava u zgušnjivačima uz pomoć miješalica. Naknadni zgušnjivači koriste se i kao skladišni spremnici za odvodnjavanje mulja. Naknadni zgušnjivači (2 komada) imaju sljedeće obilježja (Tedeschi et al. 2015):

- ukupan obujam je 4,342 m³,
- vrijeme zadržavanja otpadne vode u naknadnom zgušnjivaču iznosi 2,2 dana,
- promjer zgušnjivača je 24,0 m,
- dubina punjenja zgušnjivača je 4,4 m.

Odvodnjavanje mulja se obavlja centrifugama, uz prethodno poboljšanje svojstava mulja, dodavanjem polimera. Kako bi se postigla zahtijevana količina suhe tvari mulja od najmanje 30%, na izlazu iz centrifuga, dodaje se vapno. Stanica za odvodnjavanje sadrži 3(+1) centrifugalnu crpku. Kapacitet jedne centrifuge crpke je 55 m³/h (Tedeschi et al. 2015).

Stabilizacija mulja se provodi procesom anaerobne razgradnje u grijanim digestorima. Tijekom procesa stabilizacije oko polovina organskih tvari se pretvara u vodu, ugljikov dioksid i plin metan, koji se koristi za proizvodnju električne energije. Anaerobna stabilizacija se provodi na temperaturi od 37°C. Mulj se zagrijava na izmjenjivačima topline, koji koriste toplinsku energiju nastalu tijekom pretvorbe energije iz bioplina u električnu. Digestori su građeni od armiranog betona u jajolikom obliku. Sadašnji izgled digestora postignut je izvedbom aluminijske stožaste oplata. Kako bi se osigurao učinkoviti rad digestora, osim grijanja mulja predviđeno je i miješanje mulja unutar digestora. Osnovna obilježja digestora (4 komada) su (Tedeschi et al. 2015):

- odabrano vrijeme zadržavanja mulja je oko 18 dana,
- obujam jednog digestora je oko 8,840 m³.



Slika 6-4. Postrojenje za obradu mulja (ZOV 2009)

U procesu anaerobne stabilizacije mulja odvaja se bioplin. Toplinska energija, koja nastaje hlađenjem generatora, koristi se za zagrijavanje digestora i zgrade obrade mulja. Bioplin, koji nastaje u digestorima, provodi se preko plinovodnog sustava do skladišta plina. Iz skladišta se bioplin transportira do energane kombiniranog ciklusa. Modul energane kombiniranog ciklusa osigurava upotrebu bioplina i prirodnog plina čime se omogućuje korištenje potrebne energije i u slučaju nestanka vanjske električne energije (Tedeschi et al. 2015).

U budućnosti se planira dogradnja uređaja za treći stupanj pročišćavanja u kojem će se smanjivati ukupni dušik i fosfor. Za uklanjanje ukupnog dušika primjenjivat će se proces nitrifikacije-denitrifikacije. Ukupna količina fosfora će se smanjivati i procesom kemijskog obaranja, primjenom željeznog-klorida kao sredstva za obaranje (Tedeschi et al. 2015).

7. ZAKLJUČAK

Voda je jedan od najvažnijih resursa za život na Zemlji. Njezina zaštita i očuvanje je bitan uvjet razvoja i opstanka ljudske zajednice. Za ljudsko zdravlje važno je imati pristup kvalitetnoj vodi i održavati kvalitetu svih vodenih ekosustava. S napredovanjem urbanizacije povećavaju se i količine otpadnih voda. Otpadne vode su sve vode koje su upotrebom promijenile svoj prvobitni sastav, tj. svoje fizikalne, i/ili kemijske i/ili biološke karakteristike.

Najvažnija odluka u procesu upravljanja obradom otpadnih voda je izbor mjesta i način ispusta kao i stupanj pročišćavanja otpadnih voda. Zakonom su propisane maksimalne dozvoljene vrijednosti koje, prije ispuštanja, otpadne vode moraju zadovoljiti. Važno je provoditi obradu otpadnih voda na odgovarajući način prije ispuštanja vode u ekosustave. Odabir obrade otpadne vode ovisi o sastavu i vrsti otpadnih voda. U postrojenjima za obradu otpadnih voda koriste se razni fizikalni, biološki i kemijski procesi da bi se poboljšala kakvoća vode.

Izvori otpadnih voda mogu biti iz kućanstava, industrija i oborinske vode. Obradena voda, koja izlazi iz uređaja za pročišćavanje otpadnih voda u okoliš, naziva se efluent, dok je mulj ono što ostaje na uređajima na pročišćivanje i zahtijeva posebnu obradu što je opisano u ovom diplomskom radu.

Zbog nemara u prošlosti, u budućnosti se mora više ulagati u obradu otpadnih voda kao i izgradnju modernih uređaja za pročišćivanje radi očuvanja sveukupne biološke raznolikosti i održivog korištenja prirodnih resursa.

8. LITERATURA

1. GLANCER-ŠOLJAN, M., DRAGIČEVIĆ, T. L., ŠOLJAN, V., BAN S., 2002. Biotehnologija u zaštiti okoliša – Interna skripta, Zagreb: Prehrambeno-biotehnološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu.
2. HAMMER, M. J., HAMMER, M. J. Jr., 2004, Water and wastewater technology 5th ed., Upper Saddle River, N.J, Prentice Hall/Pearson Education International.
3. HOGAN, C. M., 2014, Water pollution. ed. Mark MacGinley, Encyclopedia of Earth, National Council for Science and the Environment, Washington DC
4. JURAC, Z., 2009. Otpadne vode, Karlovac: Veleučilište u Karlovcu.
5. MALUS, D., 2007. Zaštita voda. Nastavni materijali, Građevinski fakultet, Zagreb.
6. MAYER, D.: 2004. Voda od nastanka do upotrebe, Zagreb, Prosvjeta.
7. MAYER, D., 1993. Kvaliteta i zaštita podzemnih voda, Zagreb: Hrvatsko društvo za zaštitu voda i mora.
8. SHI, H., 2002., Industrial Wastewater-Types, Amounts and Effects, Point sources of pollution: Local effects and its control– Vol. I, Beijing, Encyclopedia of Life Support Systems.
9. ŠTRKALJ, A., 2014. Onečišćenje i zaštita voda. Nastavni materijali, Metalurški fakultet, Sisak.
10. TEDESCHI S., VOUK, D., MALUS D., PAVIĆ, A., 2015., Pročišćavanje otpadnih voda grada Zagreba, Zagreb: Građevinski fakultet.
11. TEDESCHI S., 1997., Zaštita voda, Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet.
12. TUŠAR, B., 2009. Pročišćavanje otpadnih voda, Zagreb: Geotehnički fakultet.
13. TUŠAR, B., 2007. Uređaji za pročišćavanje otpadne vode, Zagreb: Hrvatska vodoprivreda.
14. TUŠAR, B., PAVIĆ, A., TEDESCHI S., 2009., Centralni uređaj za pročišćavanje otpadnih voda u Zagrebu (CUPOVZ), Stručni članak, Zagreb: Hrvatske vode, 69/70 241-250.
15. VIŠIĆ, K., VOJNOVIĆ, B., PUŠIĆ T., 2015., Problematika zbrinjavanja i pročišćavanja otpadnih voda - zakonski propisi Tekstil 64 (3-4) 109-121.
16. VOUK, D., MALUS D., TEDESCHI S., 2011., Zagreb: Sveučilište u Zagrebu Građevinski fakultet, GRAĐEVINAR 63 4, 341-349.
17. Narodne novine (2019) Zakon o vodama (NN 66/2019), Zagreb

Internet izvori

1. Alfalaval - Industrial water and waste treatment, 2014.
URL:<https://www.alfalaval.com/industries/water-waste-treatment/industrial-water-and-waste-treatment/> (29.05.2019.)
2. WHO - Safer water,better health, 2008.
URL:https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/43840/9789241596435_eng.pdf?sequence=1 (03.07.2019.)
3. HUBER - Rotamat, 2019a.
URL:<https://www.huber-technology.com/products/screens-and-fine-screens/rotamatr-screens/huber-rotary-drum-fine-screen-perforated-plate-screen-rotamatr-ro2-rpps-star.html> (29.05.2019.)
4. HUBER - Vormax, 2019b.
URL:<https://www.huber.de/products/grit-separation-and-treatment/circular-grit-traps/huber-vortex-grit-chamber-vormax.html> (05.06.2019.)
5. LOVECO - TrashMax, 2008.
URL:<http://loveco.hr/?p=126> (29.05.2019.)
6. Pravilnik o graničnim vrijednostima emisija otpadnih voda (NN 80/2013, 43/2014, 27/2015 i 3/2016)
URL:https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2013_06_80_1681.html (10.05.2019.)
7. USGS - How Much Water is There on Earth?, 2014.
URL:<https://water.usgs.gov/edu/earthhowmuch.html> (10.05.2019.)
8. USGS - The Water Cycle, 2015.
URL:<https://water.usgs.gov/edu/watercycle.html> (10.05.2019.)
9. Enciklopedija - Zagađivanje, 2018.
URL: <http://www.enciklopedija.hr/Natuknica.aspx?ID=66665> (02.07.2019.)
10. ZOV – Projekt centralnog uređaja za pročišćavanje otpadnih voda grada Zagreba, 2008.
URL:<http://www.zov-zagreb.hr/hr/projekti/projekt-centralnog-uredaja-za-prociscavanje-otpadnih-voda-grada-zagreba/> (05.06.2019.)
11. ZOV - Mehaničko pročišćavanje otpadnih voda, 2009.
URL:<http://www.zov-zagreb.hr/hr/projekti/mehanicko-prociscavanje-otpadnih-voda/> (05.06.2019.)

IZJAVA

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno na temelju znanja stečenih na Rudarsko-geološko- naftnom fakultetu služeći se navedenom literaturom.

Mrvoje Tomić