

# Pročítavanje otpadnih voda

---

Jendričko, Vedrana

Undergraduate thesis / Završni rad

2015

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Karlovac University of Applied Sciences / Veleučilište u Karlovcu**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:128:163396>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-29**



**VELEUČILIŠTE U KARLOVCU**  
Karlovac University of Applied Sciences

Repository / Repozitorij:

[Repository of Karlovac University of Applied Sciences - Institutional Repository](#)



zir.nsk.hr



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

VELEUČILIŠTE U KARLOVCU  
ODJEL SIGURNOSTI I ZAŠTITE

Vedrana Jendričko

PROČIŠĆAVANJE OTPADNIH VODA

ZAVRŠNI RAD

Karlovac, 2015.

VELEUČILIŠTE U KARLOVCU  
ODJEL SIGURNOSTI I ZAŠTITE NA RADU  
STRUČNI STUDIJ SIGURNOSTI I ZAŠTITE NA RADU

Vedrana Jendričko

PROČIŠĆAVANJE OTPADNIH VODA

ZAVRŠNI RAD

Mentor:

Dr. sc. Zlatko Jurac, prof. v.š.

Karlovac, 2015. godina

# VELEUČILIŠTE U KARLOVCU

## STRUČNI STUDIJ SIGURNOSTI I ZAŠTITE

Studij: Stručni studij Sigurnosti i zaštite

Usmjerenje: Zaštita na radu

### ZADATAK ZAVRŠNOG RADA

Student: Vedrana Jendričko

Matični broj: 0416610652

Naziv teme: Pročišćavanje otpadne vode

Opis zadatka:

1. Uvod
2. Značajke prirodnih voda
3. Nastajanje otpadnih voda
4. Pročišćavanje otpadnih voda (načini)
5. Zakon o vodama ( čiste, otpadne )
6. Zaključak

Zadatak zadan:

02 /2015

Rok predaje rada:

05 /2015

Predviđeni datum obrane:

05 /2015

Mentor:

Dr.sc. Zlatko Jurac ,prof. v. š.

Predsjednik ispitnog povjerenstva:

Dr. sc. Nikola Trbojević , prof. v. š.

## PREDGOVOR

Veliku zahvalnost dugujem svom mentoru Dr.sc. Zlatku Jurcu, prof. v.š. koji mi je pomogao svojim savjetima pri izradi ovoga diplomskog rada, i što je uvijek imao strpljenja i vremena za brojne upite. Posebnu zahvalnost iskazujem cijeloj svojoj obitelji koja me je uvijek podržavala i upućivala na pravi put.

## Sažetak

Obuhvaća sve vode koje su upotrebom promijenile svoj prvobitni sastav tj. svoje fizikalne, kemijske i biološke karakteristike. Otpadne vode su sve potencijalno onečišćene tehnološke i kućanske, oborinske i druge vode. One također sudjeluju u hidrološkom ciklusu, odnosno, voda se nakon upotrebe kanalizacijskim sistemom odvodi na tretman, to jest pročišćavanje i vraća u prirodni okoliš.

Zavisno od svojstva otpadnih voda i potrebnog stupnja njihovog pročišćavanja:

- a) mehaničko ili prethodno (primarno) pročišćavanje,
- b) biološko ili naknadno (sekundarno) pročišćavanje,
- c) fizikalno – kemijsko (tercijarno) pročišćavanje

## Summary

It covers all the waters that are changed by using its original composition ie. Their physical, chemical and biological karakteristike. Waste water are all potentially contaminated technological and household, rain and other water. They also participate in the hydrological cycle and water after use sewerage system drains to the treatment, that is treatment and returned to the natural environment.

Depending on the properties of waste water and the necessary degree of their purification:

- a) mechanical or above (primary) treatment,
- b) biological or later (secondary) treatment,
- c) physical - chemical (tertiary) treatment.

## Sadržaj:

1. UVOD.....	1
2. ZNAČAJKE PRIRODNIH VODA.....	2
2.1.1. Podijela vode.....	4
2.1.2. Oborinske vode.....	4
2.1.3. Površinske vode.....	4
2.1.4. Podzemne vode.....	5
2.2. Biološke značajke vode.....	6
2.2.1. Ekološki sustavi.....	6
2.2.2. Kakvoća vode prema mikroorganizmima indikatorima.....	8
2.3. Izvori onečišćenja vode.....	9
2.4. Prosesi u vodnom sustavu.....	11
2.4.1. Otopljeni kisik.....	13
2.4.2. Potrošnja kisika u vodnom sustavu.....	14
2.4.3. Biokemijska potrošnja kisika.....	16
2.4.4. Eutrofikacija i uzroci.....	17
2.5. Zaštita kakvoće vode.....	19
2.5.1. Ispuštanje otpadnih voda u prijemnike manje osjetljivog područja.....	21
2.5.2. Ispuštanje otpadnih voda u druga područja.....	21
3. NASTANAK OTPADNIH VODA.....	22
3.1.1. Sanitarne vode.....	23
3.1.2. Industrijske vode.....	25
3.1.3. Oborinske vode.....	26
4. PROČIŠĆAVANJE OTPADNIH VODA.....	27
4.1. Mehaničko pročišćavanje.....	28
4.2.1. Rešetanje.....	28
4.2.2. Usitnjavanje.....	30
4.2.3. Taloženje.....	30
4.2.4. Flotacija.....	31
4.2.5. Neutralizacija.....	31

4.3. Biološko pročišćavanje.....	32
4.3.1. Biološki bazeni za obradu otpadnih voda.....	33
4.3.2. Obrada otpadnih voda u septičkim jamama.....	36
4.3.3. Prokapnik.....	38
4.3.4. Lagune.....	40
4.3.5. Obrada s aktivnim muljem.....	41
4.3.6. Uklanjanje fosfora i dušika.....	44
4.4. Fizikalno-kemijski postupci.....	45
4.4.1. Ionska izmjena.....	45
4.4.2. Ultrafiltracija.....	46
4.4.3. Reverzna osmoza.....	46
4.4.4. Adsorpcija na aktivnom ugljenu.....	46
5. ZAKON O VODAMA.....	48
5.1.1. Granične vrijednosti emisija otpadnih voda.....	50
5.1.2. Ispuštanje tehnoloških i drugih voda.....	51
5.1.3. Uzorkovanje i ispitivanje satava vode.....	52
5.1.4. Odluka o odvodnji otpadnih voda.....	52
5.1.5. Kontrola ispravnosti građevina za odvodnju otpadnih voda.....	53
6. ZAKLJUČAK.....	54
7. LITERATURA.....	55



## 1.UVOD

Voda je najrasprostranjenija kapljevina i najvažnije polarno otapalo koje otapa kapljevine, plinove i mnogobrojne krutine. Zbog polarnosti posjeduje izvrstan kapacitet da otapa različite vrste tvari. Molekula vode ( $H_2O$ ) sastoji se od dva atoma vodika i jednog atoma kisika. Bitan je sastojak živih organizama (maseni udio vode do 90%) i nužna je za život svih živih organizama. Znanstvenici tvrde da se živa bića najvećim dijelom sastoje od vode i da ona čini tri četvrtine (više od dvije trećine) ukupne površine Zemlje. Na snimkama Zemlje iz Svemira može se uočiti da je velik dio Zemljine površine pokriven vodom, oko 70%. Pod utjecajem Sunčeva zračenja površinska voda neprekidno se isparuje u atmosferu (tzv. kruženje vode u prirodi), gdje se kondenzira (stvarajući kišne ili snježne oblake u atmosferi) i u obliku oborina (kiša, snijeg, tuča, rosa, inje i magla) vraća na Zemlju, prenoseći tako velike mase vode na kontinente, i to zovemo globalni hidrološki ciklus, pa u mnogome utječe na klimu. U troposferi voda čini 80% stakleničkih plinova i prouzročuje zadržavanje topline, te porast globalne temperature. Najjednostavnija podjela vode jest podjela na slatke (~4% na Zemlji) i slane. Većina je voda na Zemlji slana (mora, oceani). Dobro je poznata i podjela vode na tekućice rijeke i stajaćice (npr. jezera, bare, močvare). Ledenjaci zauzimaju posebno mjesto gdje je voda u krutom obliku.

Osim za piće, pripremu hrane i za pranje, voda se uvelike koristi za navodnjavanje poljodjelskoga tla. Voda kao dobro otapalo opskrbljuje biljke mineralnim tvarima i nužna je za fotosintezu, a u ljudskom organizmu kao glavni sastojak tjelesnih tekućina opskrbljuje sve organe hranjivim sastojcima i uklanja otpadne tvari iz organizma. Voda je osnovni sastojak svih živih organizama. U nekih organizama čini i 99% njihove mase, u čovjeka oko 70%. Svi biološki procesi odvijaju se isključivo u vodenoj sredini, iako postoje organizmi koji mogu dugotrajno preživjeti stanje potpune dehidracije. Metabolizam, rast i razmnožavanje takvih organizama počinju tek nakon rehidracije. Biološke makromolekule (bjelančevine, nukleinske kiseline, polisaharidi) sadrže čvrsto vezanu vodu, koja je nužna za njihovu biološki aktivnu konformaciju. Voda nije samo otapalo u kojem funkcioniraju enzimi nego i izravni metabolit; supstrat je u svim hidrolitičkim, a nusprodukt u mnogim biosintetskim reakcijama. Živi organizam neprekidno uzima i otpušta vodu, što se naziva ciklusom vode. Vodeni organizmi izmjenjuju vodu difuzijom. Kod kopnenih biljaka ta se izmjena odvija pretežno fizikalnim mehanizmima (kapilarne sile u korijenu; transpiracija).

Kopnene životinje i čovjek moraju piti vodu ili ju pribaviti hranom koja sadrži vodu. Vodu gube mokraćom, izmetima, disanjem i znojenjem. Znojenje je u mnogih organizama dio procesa termoregulacije. Ključni je uvjet održivoga razvoja održavanje čistoće vode u prirodnim spremištima i vodotokovima. Sprječavanje zagađivanja voda najvažniji je dio zaštite okoliša (provodi se aerobna obradba otpada i ispitivanje kakvoće vode). Količine pitke vode na zemlji nažalost su smanjene.

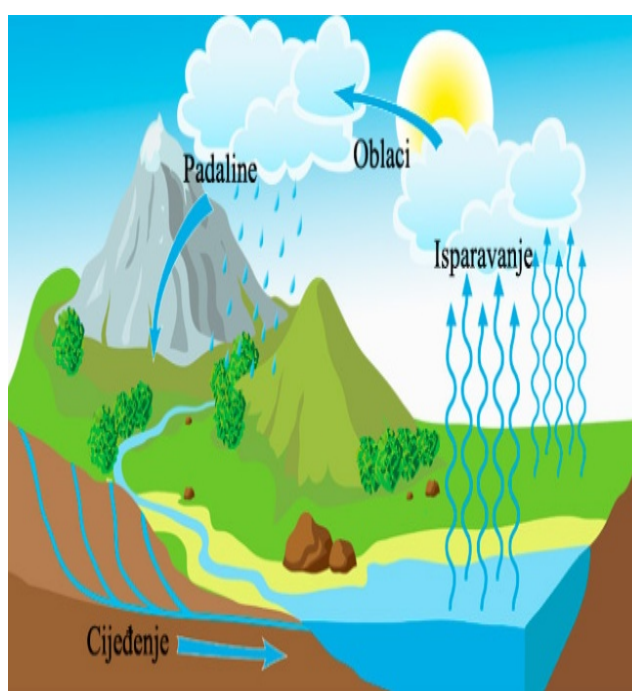
Poznato je da bez vode nema života. Ta bezbojna tekućina znači život kako za ljude tako i za biljni i životinjski svijet. Starogrčki filozofi smatrali su vodu početkom svega. Stoga nije pretjerano reći da je voda sam život i zato nema cijenu. Ponekad ni sami nismo svjesni vrijednosti toga blaga, ali i mnoštva čimbenika koji sutra to blago mogu pretvoriti u bezvrijednu tekućinu ako ne budemo dovoljno odgovorni i razumni. Svjetski dan voda obilježava se svake godine 22. ožujka.



Slika 1. Voda

## 2. ZNAČAJKE PRIRODNIH VODA

Vodeni resursi na Zemlji obnavljaju se kruženjem vode. Procjenjuje se da ukupna količina vode na Zemlji iznosi  $1.386 \cdot 10^6 \text{ km}^3$ . Od te količine 97,5 % čine mora i oceani a 2,5 % slatke vode. Od raspoloživih zaliha slatkih voda 1,74 % je zaleđeno. Sve druge tekućice i stajaćice čine samo 0,76 % ukupne mase vode na Zemlji, od čega je tek manji dio ekonomski i ekološki prihvatljiv za uporabu. Dok voda kruži u prirodi, mijenja svoj sastav. Odnos vode i ljudskih aktivnosti je presudan, pa se voda može smatrati osnovnim elementom socio-ekonomskog razvoja svake ljudske zajednice. Ta međuovisnost uključuje niz egzistencijalnih, bioloških, socijalnih i gospodarskih funkcija, ali i nepovoljnih utjecaja kao što su poplave, suše, pojave epidemija hidričnih bolesti.



Slika 2. Kruženje vode u prirodi

Svoje značajke voda mijenja u cijelom prirodnom hidrološkom ciklusu, a osobito tako što ispire atmosferu i teče preko poljodjelski, industrijskih, prometnih, urbanih i drugih površina, kao i otjecanjem kroz podzemlje i površinskim tokovima. Promjena kakvoće oborinski voda u većem dijelu hidrološkog ciklusa u urbanim sredinama, kao i voda upotrijebljenih za razne namjene moguće je kontrolirati prije svega izgradnjom kanalizacijskog sustava. Osnovni zadatak toga sustava je da skuplja sve otpadne vode i odvodi na uređaj za njihovo pročišćavanje gdje se kontrolira kakvoća vode koje se ispuštaju u prirodne vodne sustave.

### **2.1.1. Podjela vode**

Prema nastanku odnosno pojavi voda se obično djeli na oborinsku, površinsku i podzemnu. Voda se često dijeli i prema kakvoći, koja je kriterij za njezinu upotrebljivost, pa se tako razlikuju voda za piće, tehnološka voda, rashladna voda i na kraju otpadna voda kao rezultat njezina korištenja. Kakvoća vode ustanovljuje se analizom. Podjela vode na takav način ima i svoje praktično značenje jer svaka vrsta vode ima svoje specifičnosti.

### **2.1.2. Oborinske vode**

Bitan su sastav hidrološkog ciklusa. Dugo se mislilo da je oborinska čista voda, ali danas je poznato da se već pri prolasku kroz atmosferu oborinska voda obogati prvim sastojcima nečistoće. To mogu biti plinovi, krute čestice, aerosoli i mikroorganizmi koji lebde u atmosferi pokretani vjetrom i zračnim strujama. Oborinske vode na području naselja i industrijskih pogona nisu čiste vode njihova kakvoća vezivanja je ispiranje zraka iznad naselja kao i ispitivanje taloga i površina preko kojih voda otječe.

### **2.1.3. Površinske vode**

Površinske vode dijele se u dvije skupine to su morska voda i kontinentalna voda koja se dalje dijeli na tekućice – rijeke i potoke te na stajaćice – jezera, akumulacije. Površinske vode nastaju od oborinske vode pripadajućeg sljevnog područja te iz podzemnih dotoka. Onečišćenje uglavnom prouzroče otpadne vode kao što su gradska voda, industrijska voda i voda koja ispire poljodjelske i prometne površine te odlagališta otpada. Za sve površinske vode bitno je da se ustanovi kolika je sposobnost njihova samopročišćavanja, koja omogućuje da se odvijanjem prirodnih procesa razgradi u prvom redu organska tvar i na taj način voda opet zadobije svoju prvobitnu kakvoću. To je presudno onda kada se određuju tehnologija i stupanj pročišćavanja otpadnih voda koje će se ispustiti u površinski vodni sustav.

#### 2.1.4. Podzemne vode

Nastaju od vode koja ponire s površine tla, odnosno od oborinske i površinske vode koja prodire kroz šupljine između čestica tla ili kroz pukotine stijena. Prema podrijetlu šupljine ili pore dijele se na primarne i sekundarne. Primarne pore nastale su istodobno sa stijenom kao šupljine zaostale između istaloženih zrna, a sekundarne pore nastaju pucanjem stijena. Ponirući kroz tlo, voda dolazi u dodir s česticama tla i u sebe prima razne sastojke, što ovisi o geološkim uvjetima, ali i o ljudskim aktivnostima na području sljeva. U podzemne vode se ubrajaju i vodena para kondenzirana u porama tla-vadozna voda, kao i kondezat u stijenama-juvenilna voda. Kakvoća odnosno sastav podzemne vode u velikoj mjeri ovisi o kemijskom sastavu geoloških formacija i otopljivosti stijena kroz koje prolazi voda. Na krškom području podzemne vode su pukotinske, to znači da ne postoji zemljani sloj kroz koji bi se podzemna voda pročistila na prirodan način. Sastav i kakvoća ovih voda općenito se smatraju dobrima i ona se najčešće iskorištava u vodoopskrbi ali prije dobro proučiti kemijski sastav. Sadrže veće količine  $\text{CO}_2$  što vodu čini agresivnom, vrlo često se povećana količina željeza i mangana-demanganizacija, deferzacija, veće količina netopivi soli –tvrda voda, povećani opseg luminskih kiselina zbog čega je voda obojena potrebno je smanjiti kiselinu.

## 2.2. Biološke značajke vode

### 2.2.1. Ekološki sustavi

Ekološki sustav ili ekosustavi, bez obzira na to da li je posrijedi kopneni ili vodeni ekosustav, čine životno stanište(biotop) i životna zajednica(biocenoza). Između biotopa i biocenoze vlada dinamička ravnoteža, što omogućuje samoregulaciju tj. Ne dopušta da se otkloni budi ekstremni.Među živom i neživom prirodom neprestalno teče izmjena tvari i energije.

Osnovni činitelji svih kopnenih ili vodenih ekosustava su živi organizmi određene genske predpozicije.Zajedničko im je da se u svim ekosustavima pojavljuju u tri osnovne vrste:

- Kao proizvođači-producenti(zelenebiljke-proces fotosinteze-autotrofi).alge,cijanobakterije
- Kao potrošači-konzumenti(biljožderi,mesožderi-heterotrofi)
- Kao mikroorganizmi –razlagači reducenti –hrane se mrtvom organskom tvari

Živi organizmi se pojavljuju kao populacija biljaka,životilja,ljudi i mikroorganizama.Nasuprot njima su abiotski neživi dijelovi ekosustava, a to je određena struktura prostora sa svojim značajkama i vremenskim uvjetima

**Temperatura**-potrebna da bi se mogle odvijati životne aktivnosti,viša temperatura ubrzava te aktivnosti, a pri nižoj temperaturi one se usporavaju ili prestaju sasvim

**Svjetlo** – glavni izvor svijetla u biosferi je Sunčevo zračenje, ujedno izvor energije za primarnu produkciju – fotosintezu. Energija u ekosustavu teče u skladu s prvim i drugim zakonom termodinamike. To znači:

Da se energija iz jednog oblika može pretvoriti drugi oblik,ali se ne može uništiti niti proizvesti ponovo

Da se energija ekosustava pri svakoj pretvorbi degradira u toplinsku energiju (proces disanja u ekosustavu)

**Voda i vlaga-** bitan su dio ekosustava jer međusobno povezuju sve njegove dijelove. Sve tvari potrebne za život u organizmu mogu kružiti samo otopljene. Voda sudjeluje u regulaciji tjelesne temperature. Veliki dio tijela biljke i životinje sagrađen je od vode. Gubitak vode nadoknađuje se pijenjem ili kroz kožu (osmozom), hranom ili kod životinja tvarnom izmjenom.

**Atmosferski plinovi** su bitni abiotički čimbenici životnih zajednica. Među takve plinove spadaju : Kisik –koji je potreban za oksidaciju hranjivi tvari,pri čemu se oslobađa energija koja je organizmima potrebna za obavljanje njihovih životnih funkcija,organizmi kisik primaju iz zraka, u kojem ga ima 20,99 % ili iz vode u kojoj ga ima oko 70 mg/L

**Ugljikov dioksid**-kojeg u zraku ima svega 0.03% i koji je bitan za fotosintetske procese odnosno koji je nezamjenjiv, također je bitan u vodenoj sredini, jer u dodiru s vodom nastaje ugljična kiselina koja otapa vapnenac, dio ugljične kiseline veže se za kalcijev karbonat i tvori kalcijev bikarbonat, koji je topiv u vodi, povećavanjem urbanizacije te porastom industrije i prometa povećava se količina ugljikova dioksida u zraku, a to ima nepovoljne učinke na zelene biljke

**Sumporovodik-** koji nastaje razgradnjom bjelančevina, a nalazi se u dubljim slojevima voda stajačica i u vodama optrećenim otpadnim tvarima

**Anorganske soli** – potrebne su živim organizmima, nazivaju se biogene ili hranjive soli i sudjeluju u obnavljanju tijela i pri obnavljanju životnih aktivnosti, živom svijetu potrebne su natrijeve, magnezijeve, kalcijeve ,željezne silicijeve soli

### 2.2.2. Kakvoća vode prema mikroorganizmima indikatorima

Životne zajednice pojedinih ekosustava sastavljene su od više vrsta jedinki različite brojnosti. Biološkim istraživanjima ustanovljuje se da se utjecaj promjena u vodnom sustavu u vremenu između dvaju ispitivanja. Pritom se kao biološki pokazatelji najčešće primjenjuju:

- Organizam indikator
- Stupanj saprobnosti

Uz kakvoću vode povezuje se i pet indeksa saprobnosti:

- **I oligosaprobne vode** – veoma čiste vode namjenjene vodoopskrbi stanovništva
- **II. B –mezasaprobne vode**-slabo onečišćene, prevladavaju zelene alge, vode u kojima je stupanj onečišćenja uglavnom posljedica odvijanja prirodnih procesa, u vodama te skupine najveće je bogatstvo organizama prema vrstama, takve vode podobne su za rekreativnu uporabu a manje za iskorištavanje u vodoopskrbi
- **III. Mezasaprobne vode** –onečišćene vode, prevladavaju modrozeleno zelene bakterije te filamentozne zelene i modrozeleno zelene alge, u takvim vodama onečišćenje dovodi do promjena životnih zajednica
- **IV. Polisaprobne vode**-veoma onečišćene vode prisutne bakterije Thiobacillus
- **V. Eurosaprobne vode**-otpadne vode ali i vode koje se pojavljuju u malim tokovima pri velikim naseljima, procesi su anaerobni, vodni sustav tvore jedna bakterija ali nema producenata



### 2.3. Izvori onečišćenja vode

Onečišćenje vode je svaka fizikalna, kemijska ili biološka promjena kakvoća vode koja štetno djeluje na žive organizme ili vodu čini neupotrebljivom za određenu namjenu.

Prirodne vode mogu biti onečišćene na različite načine i zbog toga imati različit utjecaj na biološko-ekološke značajke vodnog sustava. Tvari koje se ispuštaju u prirodne vodotoke su potencijalni izvor onečišćenja. Mogu potjecati od više različitih izvora, u vodi se pojavljuju kao:

Netopive tvari:

Netopive tvari(suspenzije, taloživa tvar, koloidno raspršena i plivajuća tvar) nisu podložne daljnjoj razgradnji, ali nisu ni otrovne. Njihov je utjecaj indirektno negativan jer onemogućuje prodor svijetla. To smanjuje proizvodnju u ekosustavu a time i količinu kisika. Drugi bitan utjecaj je ugrožavanje dišnog sustava viših organizama jer se talože na ribljim škragama, što smanjuje respiracijske mogućnosti i izaziva uginuće riba. Plivajuće tvari na vodenoj površini stvaraju opnu te onemogućuju prirodni pristup kisiku iz atmosfere u vodu.

Topive tvari:

Najčešće su anorganske tvari. One se rijetko zastupljene u visokim koncentracijama jer ni organizmi ni ekosustavi nisu prilagođeni na njih, odnosno topive tvari uništavaju život. Određeni broj organizama priviknuo se na četiri anorganske tvari pa one mogu biti zastupljene u većim koncentracijama. To su soli(kalcijev klorid), željezo, sumpor(sumporna voda) i karbonati (karakteriziraju tvrdoću vode).

Organske tvari:

Visoko molekularni organski spojevi koji potječu od ljudi, biljaka i životinja. To su ugljikohidrati, bjelančevine i masti. Izvori onečišćenja tim tvarima su u gradskoj otpadnoj vodi, u industrijskim otpadnim vodama i iz prirodnog okoliša.

Toplinsko onečišćenje:

Fizikalno onečišćenje toplinom. Posljedica je ispuštanja toplih voda, najčešće rashladnih voda iz industrijskih ili energetske objekata. Slično kao i svjetlo, temperatura utječe na sve značajke ekosustava i to tako što ubrzava sve ekološke procese.

Otrovne tvari:

Teške kovine, Hg, Cu, Pb, Cd, Zn u prirodne vode dospjevaju zbog ispiranja zemljišta i otapanja minerala, ali najviše iz industrijskih otpadnih voda. Otrovnost tvari su sve tvari koje i u malim količinama znače opasnost za ljudsko zdravlje.

Radioaktivne tvari:

U vodu dolaze zbog kemijskih i biokemijskih procesa, ugrađuju se u biomasu hranidbenog lanca, a posljedica toga jesu mutageni i genetska oštećenja.

Mikroorganizmi:

U prirodnim vodama nalaze se mikroorganizmi koji dolaze u otpadnim vodama i hrane se organskim tvarima iz njih. Otpadne vode sadrže brojne organske i anorganske tvari koje su u mnogim heterotrofnim mikroorganizmima dobar izvor ugljika i energije.

## 2. 4. Procesi u vodnom sustavu

Vodni sustav rijeka i jezera su vode kojima se naselja uzduž njih koriste za vodoopskrbu, ali istodobno i kao prijemnik otpadnih voda iz tih istih naselja. Kakvoća te vode prosuđuje se na temelju prilika u tome vodnom sustavu, odnosno prilike u vodotoku određuju stupanj pročišćavanja otpadni voda prije ispuštanja

Otpadna tvar unesena u vodni sustav podložna je nizu fizikalnih, kemijskih, i bioloških procesa. Njihov intezitet ovisi o cijelom nizu čimbenika, u prvom redu o vremenu i temperaturi, ali i nizu drugih parametara koji dovode do toga da u vodnom sustavu uspostavi dinamička ravnoteža

Otpadna tvar koja dolazi u vodni sustav, u odnosu na upravljanje može se općenito podijeliti u dvije skupine:

- Nekontrolirane veličine (raspršene izvore)
- Kontrolirane veličine (točkaste izvore)

To znači da je na neku otpadnu tvar moguće utjecati teško ili nikako, a kontrola također zahtjeva i znatna financijska sredstva. Druge otpadne tvari mogu se staviti pod kontrolu.

Prvu skupinu-nekontrolirane veličine obuhvaća:

- Unutarnje taloženje organske i anorganske tvari te mulja što ga vodni tok sa sobom donese s drugih područja
- Vanjsko ispiranje okolnog terena oborinama i površinskim otjecanjem, pri čemu se oborine ne smije smatrati čistom vodom jer one pri prolasku kroz slojeve atmosfere, često iznad industrijskih područja gdje se otpadna tvar slobodno ispušta u atmosferu, onečište otopljenim plinovima i suspendiranom tvari

Oborine postaju površinsko otjecanje vode i dalje ispiru površinu, koja također može biti onečišćena na više načina:

Umjetnim gnojivima koja se raspršuju radi povećavanja prinosa kada je riječ o poljodjelskim površinama, kao i herbicidima, pesticidima i slično radi zaštite poljodjelskih kultura. Uljima i fenolima, kada je riječ o prometnicama, koji kapaju iz motornih vozila ili isure u slučaju havarija, kao i teškim kovinama i kloridima od održavanja cesta u zimskom razdoblju. Pijeskom, šljunkom, lišćem kada su posrijedi gradske površine

Kontrola takve otpadne vode to je teža jer su oborine pojava stohastičkog karaktera, a u vodni sustav dolaze na više mjesta i mogu se smatrati raspršenim izvorom uzduž vodnog toka

### **2.4. 1. Otopljeni kisik**

Kisik u vodi nastaje otapanjem iz atmosfere te procesom fotosinteze. Počinje se u vodi otapati nakon što u nju dospije zrak tj. Dodirom zraka i vodene površine i nastavlja se otapati sve do točke zasićenja. Količina kisika otopljena u vodi ovisi o temperaturi vode, odnosno povećavanjem temperature vode smanjuje se količina kisika u vodi. Osim toga, količina ovisi o atmosfersku tlaku i solima otopljenim u vodi.

Kisik je bitan za život velikog broja vodenih organizama. Zbog toga se za procijenu stanja vode mjeri količina kisika koji se otopi pri određenoj temperaturi te se računa postotak zasićenosti kisika u odnosu na maksimalnu moguću koncentraciju kisika za zadanu temperaturu i atmosferski tlak.

Kada je atmosferski tlak konstantan, odnos kisika otopljena u slatkim vodama i temperature trebao bi biti zasićenje pri zadanoj temperaturi i iznosi bi 100 %

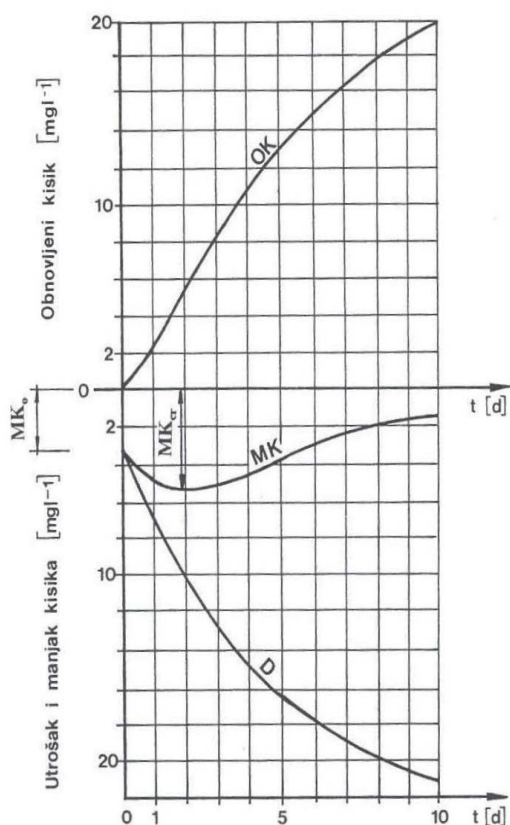
Vrijednosti niže od 100-postotnog zasićenja kisikom mogu biti prouzrokovane slabim prozračivanjem nižih slojeva vode. To je slučaj kada su dubine velike ili ako je razgradnja organske tvari u vodnom sustavu povećana. Moguće je i to da zasićenje kisikom bude veće od 100% to je supersaturacija vode kisikom, koja se pojavljuje kada su procesi fotosinteze vrlo intenzivni. Kisik se otapa na granici između tekuće i plinovite faze. Otapanje je veće što je površina vode veća, odnosno što je rasprskavanje vode veće.

## 2.4.2. Potrošnja kisika u vodnom sustavu

Potrošnju otopljenog kisika prozrokuje disanje mikroorganizama nastenjenih u ekosustavu, kao i mikroorganizmi razlagači koji kisik troše tijekom razgradnje organske tvari prijeko potrebne za njihov rast i razvoj.

Kada se kisik otopljen u vodnom sustavu potroši aktivnošću bakterija ili na drugi način, pojavljuje se potreba da se on obnovi otapanjem iz zraka. Stupanj reaeracije uglavnom ovisi o manjku kisika otopljenog u vodi. Reaeracija bude sporija kada je sadržaj kisika otopljenog u vodi veći, odnosno jednaka je nuli onda ako je voda zasićena.

Kada se u vodni sustav ispusti određena količina organske tvari, zbog djelovanja mikroorganizama dolazi do potrošnje kisika u vodi, odnosno sadržaj otopljenog kisika postupno se smanjuje do neke vrijednosti, koja ovisi o odnosu čiste vode prema organskoj tvari odnosno o kakvoći vode.



Primjer odnosa otopljenog kisika u prijemniku i vremena ispuštanja otpadnih voda u taj prijemnik grafički je predložen dijagramom na slici. Na osi apscisa je prikazano vrijeme,  $t$ , u danima, gdje početna točka predstavlja trenutak kada se otpadne vode ispuštaju u recipijent. Os ordinata na gornjem dijelu dijagrama prikazuje obnovljeni kisik u prijemniku, a krivulja (OK) toga dijela dijagrama prikazuje ukupnu količinu obnovljenog kisika od trenutka ispuštanja otpadnih voda u prijemnik do proizvoljnog trenutka

Slika 3. Otopljeni kisik u prijemniku

Prva krivulja, zvana krivulja deoksigenacije (D), toga dijela dijagrama prikazuje ukupnu količinu otopljenog kisika koja je do nekog trenutka utrošena procesom razgradnje organske tvari (BPK), uključujući i pretpostavljeni manjak kisika (MKO) prije ispuštanja otpadnih voda u prijemnik (zbog razgradnje organske tvari koja je već prisutna u prijemniku). Zato ova krivulja ne počinje na osi ordinata s vrijednošću nula.

Druga krivulja, zvana krivulja manjka kisika (MK), toga dijela dijagrama prikazuje koliki je manjak kisika u prijemniku u bilo koje vrijeme od trenutka ispuštanja otpadnih voda. Dobije se kao razlika krivulje (OK) i (D). Sukladno količini i stupnju zagađenja otpadnih voda i brzini obnavljanja kisika ova će krivulja imati pliće ili dublje sedlo

Prema tome, najgore stanje u prijemniku je u trenutku kada MK krivulja dosiže najnižu točku, odnosno kritični manjak kisika (MKcr).

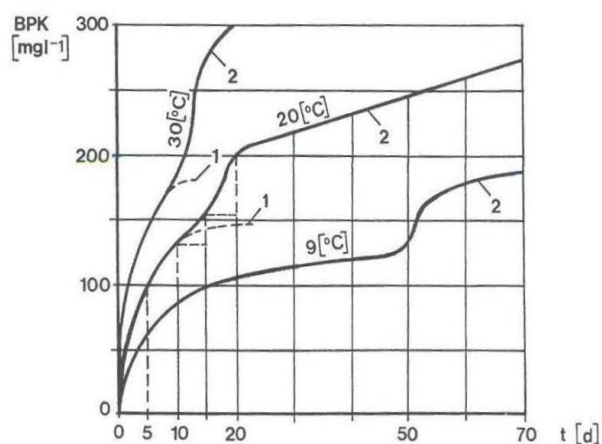
Ova krivulja ujedno ukazuje da u pogledu manjka kisika najgore stanje u prijemniku nije na mjestu ispuštanja otpadnih voda, nego nizvodno.

### 2.4.3. Biokemijska potrošnja kisika

Ukupna biokemijska potrošnja kisika (BPK) je količina kisika potrebna za potpunu razgradnju organske tvari.

Radi kvantificiranja opterećenja otpadnih voda organskom tvari za praktične je potrebe uveden pokazatelj petodnevnne biokemijske potrošnje kisika (BPK5).

BPK5 se određuje tako da se relativno mala količina otpadne vode razrijedi u znatno većoj količini destilirane vode bogate otopljenim kisikom. Ta se smjesa stavi u bocu u kojoj nema zraka i drži u njoj 5 dana na temperaturi 20 [°C]. Nakon toga se odredi koliko je otopljenog kisika potrošeno, te se ta količina izrazi u miligramima kisika na litru otpadne vode. BPK ovisi o većem broju faktora: vrsti i broju mikroorganizama koji se nalaze u vodi, vrsti otpadne tvari i vrsti biokemijske razgradnje, ponudi hranjivih tvari za mikroorganizme, koncentraciji kisika, trajanju ispitivanja, vremenu potrebnom za razvoj mikroorganizama na otpadnim organskim tvarima, temperaturi i osvjetljenju, opterećenosti bioloških procesa zbog prisutnosti spojeva koji djeluju otrovno i inhibicijski. Dvije najvažnije veličine su vrijeme ispitivanja (inkubacija) i temperatura, koja uobičajeno iznosi 20 °C Najčešće se određuje BPK5 (vrijeme inkubacije 5 dana) i BPK20 (vrijeme inkubacije 20 dana).



Slika 4. Dijagram biokemijske potrošnje kisika za tri različite temperature vode



Na dijagramu možemo uočiti:

- (1.) da se otopljeni kisik troši brže što je viša temperatura vode,
- (2. ) da se proces oksidacije organske tvari odvija u dvije faze. Prva faza, u kojoj dolazi do oksidacije ugljikove tvari (dekarbonizacija), traje relativno kratko, a druga faza, u kojoj dolazi do oksidacije dušikove tvari (nitrifikacija), traje puno dulje. Utvrđeno je da je BPK svakog dana prve faze kod iste temperature u određenom odnosu s BPK ma kog drugog dana prve faze i s ukupnim BPK prve faze. Time je dobivena mogućnost uvida u stanje koje će se u prijemniku događati tokom vremena

#### **2.4.4. Eutrofikacija i uzroci**

Znači niz biogeokemijskih i ekoloških procesa koji dovode do stvaranja većih količina organske tvari nego što ih trofični kapacitet neprilagođen ekosustavu može potrošiti ili nepovratno ukloniti iz sustava. Pojava eutrofikacije u akumulacijama i jezerima jako je opsan jer sam proces ima nepovratni karakter

Dovođenjem većih količina otpadnih tvari, u prvom kroz ispuste otpadnih voda iz naselja i industrijskih pogona te poljodjelskih površina, u poluzatvorene i zatvorene vodne sustave kao što su jezera, akumulacije i morski zaljevi povećava se znatno količina hranjivi soli u ekosustavu. Time se povećava i proizvodnja primarne organske tvari, ponajprije fitoplanktona, što može dovesti do toga da vodni sustav poporima eutrofnu stanje

Ako se zanemari napredovanje prirodne eutrofikacije, jer ona teče sporo i ljudskom oku gotovo je neprimjetna, pod utjecajem ljudskih aktivnosti povećavaju se izvori biogenih elemenata pa eutrofikacija brže napreduje. Biogeni elementi dodaju se pri ispuštanju otpadnih voda u naseljima, zatim vodom s poljodjelskih površina (otopljena velika količina mineralnih gnojiva), iz nekih industrijskih voda, iz oborina ispiranjem atmosfere.



Slika 5. Eutrofikacija

Pod djelovanjem biogenih soli procesi su vrlo intenzivni i odigravaju se po vertikali na cijeloj dubini vodenog sloja, kao i na samom dnu. Biljni i životinjski svijet množi se prekomjerno i pri uginuću prouzrokuju veliku količinu organske tvari koja biva podložna razgradnji i truljenju. Zbog toga što se povećava primarna proizvodnja, voda postaje mutna, smanjuje se dubina prodiranja svjetlosti, potrošači viših redova odnosno sekundarni proizvođači razvijaju se sporije nego primarni potrošači, nastaje manjak potrošnje pa velike mase fitoplanktona odumiru i talože se na dnu. Na dnu se počinje razgrađivati organska tvar, to je posljedica povećavanja potrošnje kisika sve do anaerobne razgradnje. U procesima anaerobne razgradnje stvaraju se plinovi i mulj čije pahuljice, nošene plinovima, isplivavaju na površinu. Kada se pojavi eutrofikacija, osjetljive zajednice napuštaju ekosustav, a u njemu ostaju tek neke manje vrste, kojima hranjiva tvar dolazi u obliku stalnog dotoka. To gotovo uvijek vrijedi za sve eutrofne sustave gdje primarni producenti u prvom redu alge (cvijetanje vode), raste neproporcionalno u odnosu na rast potrošača. To s jedne strane dolazi do smanjenja potrošnje, a s druge strane eksponencijalno povećava se ukupna količina organskih tvari, a time i biorazgradnja.

## 2.5. Zaštita kakvoće sustava vode

Problem kako stanovništvo opskrbiti dovoljnim količinama kvalitetne vode posebno je povezan s kakvoćom vode svih prirodnih voda, s obzirom na to da postoji mnoštvo slučajeva da se otpadne vode u prirodne vodne sustave ispuštaju bez prethodne obrade.

Pod utjecajem prirodnih procesa i oborina otpadne tvari različita podrijetla i sastava dolaze u prirodne vodne sustave i mijenjaju njihovu kakvoću kao i mogućnost iskorištavanja.

Mnogo godina nije se pridavala odgovarajuća pozornost politici gospodarenja vodom u smislu zaštite njezine kakvoće. Prirodni proces s kojim se dosta često računa kao s načinom popravljivanja kakvoće vode jest samopročišćavanje. To je skup svih procesa (fizikalnih, kemijski i bioloških) koji se na prirodan način zbivaju u vodi i kojima se na određenoj dionici vodotoka.

Procesom samopročišćavanja vodotok može ponovo dosegnuti svoju prvotnu kakvoću onda ako je onečišćenje bilo organskog podrijetla i imalo prihvatljivu vrijednost. Mikroorganizmi razgrađuju onečišćenje u stabilne produkte, odnosno u vodik, nitrite, fosfor, ugljikov dioksid. Prema tome glavni proces u samopročišćavanju prirodnih vodnih sustava je mineralizacija organskih tvari biološkim procesima, aktivnošću autotrofni i heterotrofni mikroorganizama, pri čemu je bitna i koncentracija kisika otpljena u vodnom sustavu u kojem se zbiva proces.

Biološku ocijenu kakvoće vode daju određene životne zajednice čiji pripadnici imaju sposobnost razgrađivati otpadnu organsku tvar i na taj način smanjiti onečišćenje, ali istodobno dolazi do promjene životnih zajednica.

Pri ispuštanju otpadnih voda u prirodne prijemnike, osobito u more. Dugi niz godina vjerovalo se da će se razrijeđivanjem otpadnih tvari u velikoj masi vode prijemnika problem riješiti sam od sebe. Tako da otpadne vode iz naselja i industrijskih pogona u vodotoke i u obalno more desetljećima bile ispuštene uz nikakvo ili minimalno pročišćavanje prije ispuštanja. Nakon određenog vremena počele su se uočavati posljedice takve politike gospodarenja vodom. Uočeno je da je prirodna ravnoteža pojedinih dijelova vodnih sustava poremećena, ponajprije zato što su nestali pojedini pripadnici životne zajednice kojih je prije bilo, a pojavili su se neki drugi koji su se prilagodili promjenjenim uvjetima

Povećavanje sposobnosti samopročišćavanja postiže se razrijeđivanjem otpadne vode i naknadnim raspršivanjem. Razrijeđena otpadna voda može se ispuštati samo u one dijelove mora gdje postoji dinamička izmjena morske vode, povoljno strujanje, dovoljna dubina mora prozirnost. Zbog toga otpadne vode nije prikladno ispuštati u poluzatvorene dijelove obalnog mora kao što su zaljevi, uvale i kanali.

Početno hidrauličko razrijeđivanje nastaje strujanjem otpadne vode iz otvora cijevi smještene na dnu mora. Zbog početne izlazne brzine otpadnih voda one se turbulentno miješaju s morskom vodom, a zbog razlike u gustoći tih voda mlaz vodene mješavine usmjeren je na površinu. Kada postoje temperaturne slojevitosti, što je u ljetnom razdoblju često, mješavina se zadržava ispod gornjeg sloja manje gustoće, odnosno isplivati će samo do termokline. Voda može biti onečišćena trajno ili privremeno. Privremeno onečišćenje prouzrokuje različite havarije, kvarovi kao i dotok oborinske onečišćene vode s urbanih područja, prometnica .

#### Norme za ispuštene vode

U pravilniku o graničnim vrijednostima opasnih i drugih tvari u otpadnim vodama donesene su norme ili standardi ispuštene vode kojima se određuje stupanj pročišćavanja, odnosno granične vrijednosti pojedinih pokazatelja otpadne vode koje ne smiju biti prekoračene prije ispuštanja u prijemnike.

Stupanj čišćenja, odnosno granice pojedinih pokazatelja ovisi o veličina naselja i o značajkama prijemnika .Na taj način se određuje masa otopljene tvari koja se u jedinici vremena smije ispustiti u prijemnik. Prema pravilniku komunalne otpadne vode prije ispuštanja u prijemnik trebaju se podvrgnuti II. Stupnju pročišćavanja ili odgovarajućem pročišćavanju. Pri ispuštanju komunalnih otpadnih voda u planinskim predjelima gdje je zbog niskih temepratura teško primjenit biološko pročišćavanje, stupanj pročišćavanja može biti i manji, ali pod uvjetom da se dokaže da pri pročišćavanju manjeg stupnja nema štetnog utjecaja na okoliš.

### **2.5.1. Ispuštanje otpadnih voda u prijemnike manje osjetljivog područja**

Za utvrđena manje osjetljiva područja ispuštanje efluenta iz aglomeracija od 10 000 do 150 000 ES priobalne vode i iz aglomeracije od 2 000 do 10 000 ES u eustuarije, stupanj pročišćavanja može biti manji uz uvjete:

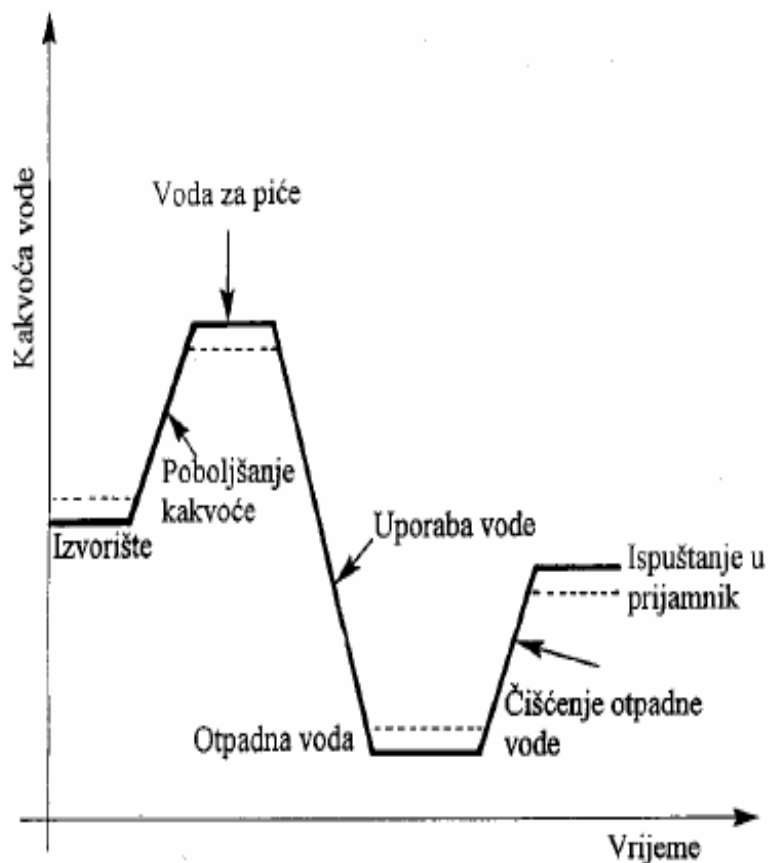
- Barem prvi stupanj pročišćavanja otpadnih voda uz utvrđenu kontrolu,odnosono ako se studijama dokaže da ispuštanje otpadnih voda nakon provedbe planiranog pročišćavanja neće imati štetna utjecaja na vodni okoliš,pojedini dijelovi obalnih voda manje osjetljivim područjem mogu se smatrati onda ako se ne dokaže drugačije
- Komunalne otpadne vode iz sustava javne odvodnje pročišćavanja se odgovarajućim stupnjem pročišćavanja,kod ispuštanja pročišćenih otpadnih voda u vdotoke i estuarije iz aglomeracija s manje od 2 000 ES, kod ispuštanja u obalne vode iz aglomeracije s manje od 10 000ES

### **2.5.2. Ispuštanje otpadnih voda u druga područja**

Kada se komunalne otpadne vode ispuštaju u površinske vode koje imaju utjecaja na vode na teritoriju druge države, kao onda kada se otpadne vode ispuštaju u susjednim državama a to ima utjecaja na hrvatski državni teritorij, potrebno je radi toga da se zaštiti vodni okoliš, dogovoriti se o uvjetima pročišćavanja otpadnih voda.

### 3. NASTANAK OTPADNIH VODA

Ovaj pojam obuhvaća sve vode koje su upotrebom promijenile svoj prvobitni sastav tj. svoje fizikalne, kemijske i biološke karakteristike. Otpadne vode su sve potencijalno onečišćene tehnološke i kućanske, oborinske i druge vode. One također sudjeluju u hidrološkom ciklusu, odnosno, voda se nakon upotrebe kanalizacijskim sistemom odvodi na tretman, to jest pročišćavanje i vraća u prirodni okoliš



Slika 6. Promijena kakvoće vode uporabom

Vode koje se koriste za određenu namjenu u kućanstvu i industriji nazivaju se komunalne vode. Općenito se može reći da se najviše komunalnih voda koristi u poljoprivredi i to 70 %, u industriji 22 %, a u kućanstvu tek 8 %. Nakon upotrebe, komunalne vode sadržavaju mješavinu raznih vodom nošenih onečišćenja, a svojstva im se razlikuju prema mjestu odakle potječu

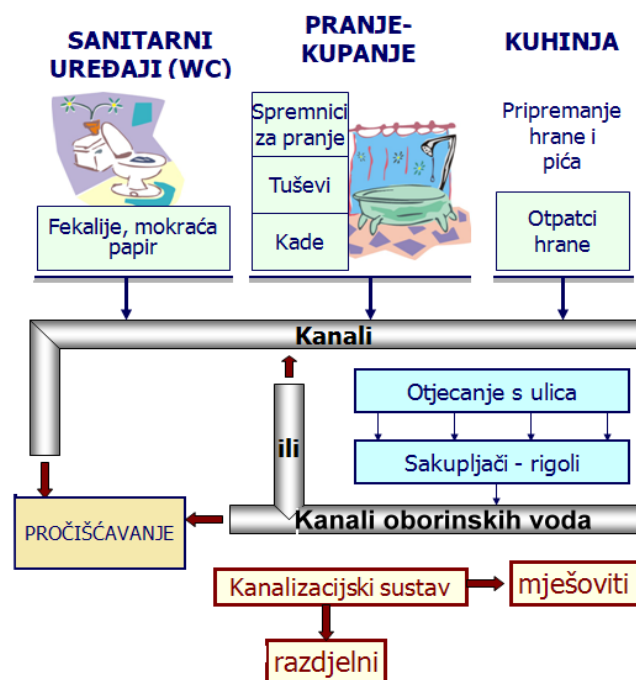
S obzirom na mjesto nastanka komunalne otpadne vode mogu se podijeliti na:

- sanitarne
- industrijske
- oborinske

### **3.1.1. Sanitarne vode**

Otpadne sanitarne vode podrazumijevaju iskorištenu vodu iz kućanstava i sanitarnih čvorova. Sanitarne vode često su i smjesa voda od pranja ulica, javnih objekata, otpadne vode iz uslužnih djelatnosti i obrtničkih radionica. Otpadne vode iz kućanstava uglavnom sadrže otpatke nastale prilikom pripreme hrane, staru i pokvarenu hranu. Zajedno s ovim vodama miješaju se i sanitarne vode iz kućanstava kao i vode od pranja rublja. Otpadne vode iz uslužnih djelatnosti su vode iz ugostiteljstva, različitih servisa, slastičarni, pekara, mesnica i sl..

Prema stupnju biološke razgradivosti otpadne sanitarne vode moguće je razvrstati u tri skupine: svježa, odstajala i trula voda. Svježa voda je otpadna voda u kojoj biorazgradnja još nije napredovala. U ovoj vodi je koncentracija otopljenog kisika gotovo jednaka onoj u vodovodnoj vodi. Odstajala voda ne sadrži kisik jer je potrošen tijekom biorazgradnje. Trula voda je otpadna voda u kojoj je biorazgradnja napredovala i odvija se bez prisustva kisika (anaerobno). Trula voda se nastoji izbjeći budući da dovodi do korozije. Uslijed procesa biorazgradnje te upotrebe vode u kupaonicama i kuhinjama temperatura otpadne vode je viša od temperature vodovodne vode. Prosječna temperatura otpadne vode iznosi od 11,6 do 20,5 °C. Upravo zbog porasta temperature ubrzavaju se i biološki procesi, kisik se više troši i povećava se opasnost od truljenja.



Slika 7. Izvori onečišćenja sanitarnom vodom



### 3.1.2. Industrijske vode

Otpadne industrijske vode međusobno se znatno razlikuju ovisno o vrsti industrije, odnosno tehnološkim procesima. U osnovi se ove vode mogu podijeliti u dvije skupine: biološki razgradive (kompatibilne) i biološki nerazgradive (nekompatibilne) vode. Biološki razgradive vode se mogu miješati s gradskim otpadnim vodama i odvoditi zajedničkom kanalizacijom. U ovu skupinu najčešće spadaju vode prehrambene industrije jer sadrže otpadni materijal prehrambenih artikala. Biološki nerazgradive vode potrebno je prije miješanja s gradskim otpadnim vodama prethodno pročititi. Pročišćavanje se obavlja zbog uklanjanja eksplozivnih, korozivnih i zapaljivih tvari (radi zaštite kanalizacijskih cijevi), uklanjanja inhibitora koji sprečavaju rad uređaja za pročišćavanje otpadnih voda i radi kontrole toksičnih tvari koje sprečavaju biološku razgradnju.



Slika 8. Industrijska otpadna voda

### 3.1.3. Oborinske vode

Oborinske vode prolaze kroz atmosferu i isparuju. Pri tome otapaju ili prenose prema površini zemlje sastojke koji su ispušteni u atmosferu. Oborine ili sustavi za navodnjavanje poljoprivrednog zemljišta ne mogu dovesti točnu količinu vode potrebnu za pojedine agrokulture na pojedinim poljoprivrednim zemljištima. Sva dovedena voda se ne može apsorbirati ili ispariti s mjesta dovođenja nego određeni "višak" vode procijediti u dubinu do podzemnih voda ili otječe do obližnjih površinskih voda. Taj višak vode predstavlja poljoprivredne otpadne vode. Poljoprivredne otpadne vode potrebno je odvesti s mjesta nastajanja, dodatno obraditi i što je više moguće ponovo iskoristiti u sljedećem ciklusu navodnjavanja zemljišta. Sastav poljoprivrednih otpadnih voda ovisi o primijenjenoj tehnologiji obogaćivanja zemljišta gnojivom, hranjivim tvarima, primijenjenim herbicidima, poljoprivrednim kulturama koje se uzgajaju na određenim područjima. Otpadne oborinske vode prisutne su i u gradovima. Ova vrsta voda ovisi o mnogo činjenica poput intenziteta i vrste prometa, utjecaja industrije, trajanja kiše i njezine jakost, trajanja sušnog razdoblja i sl. U skupinu oborinskih voda svrstane su i vode koje potječu od topljenja



Slika 9. Prikaz nastanka otpadnih oborinskih voda

#### **4. PROČIŠĆAVANJE OTPADNIH VODA**

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

Kod problema pročišćavanja otpadnih voda od temeljne su važnosti:

- a) količina i svojstva otpadnih tvari
- b) svojstva prijemnika
- c) uvjeti ispuštanja otpadne vode
- d) procesi pročišćavanja otpadnih voda i obrada mulja

Glavni pokazatelj otpadnih voda: krutine, radioaktivne tvari, mikroorganizmi, hranjive soli, otpljeni plinovi, otrovne tvari. Za ispuštanje pročišćenih i nepročišćenih otpadnih voda kao prijemnici se mogu koristiti : prirodni (jezera, mora) i umjetni (kanali, akumulacije). Kod ispuštanja otpadnih voda, kod vodni su sustava od temeljne važnosti dvije skupine to su: hidrauličke i hidrološke (razina vode, pronosu nanosa pojavi leda) i fizikalne, kemijske i biološke (boja, miris, okus, temperatura)

##### **4.1. Vrste pročišćavanja otpadnih voda**

Zavisno od svojstva otpadnih voda i potrebnog stupnja njihovog pročišćavanja:

- a) mehaničko ili prethodno (primarno) pročišćavanje,
- b) biološko ili naknadno (sekundarno) pročišćavanje,
- c) fizikalno – kemijsko (tercijarno) pročišćavanje.

Mehaničko i biološko pročišćavanje se ponekad nazivaju konvencionalno pročišćavanje

## 4.2. Mehaničko pročišćavanje

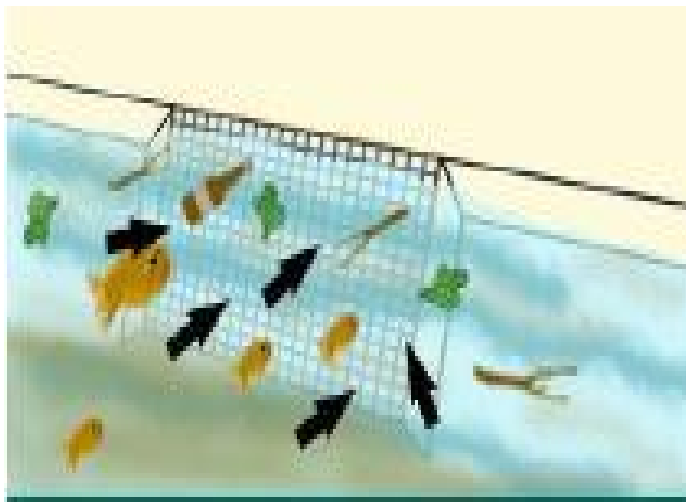
Općenito, mehaničko pročišćavanje otpadnih voda obuhvaća slijedeće faze, slik

- (A) rešetanje i/ili usitnjavanje (dezintegraciju),
- (B) taloženje (u pjeskolovu, PJ) i isplivavanje,
- (C) izjednačavanje (egalizaciju) i/ili neutralizaciju.

Prvu i drugu fazu mehaničkog pročišćavanja redovito susrećemo kod pročišćavanja voda. Treća faza se u načelu primjenjuje za industrijske otpadne vode.

### 4.2.1. Rešetanje

Je proces uklanjanja krupne tvari ( lišća, krpa, stakla, komadića voda radi zaštite crpki i drugih dijelova uređaja za pročišćavanje. Ovaj se proces odvija na rešetkama, čiji učinak ovisi o slobodnom otvoru među rešetkama.



Slika 10. Rešetanje

U kanalizaciji se uglavnom koriste:

- a) grube rešetke, sa slobodnim otvorom 50 do 100 [mm],
- b) srednje rešetke, sa slobodnim otvorom 10 do 25 [mm],
- c) fine rešetke, sa slobodnim otvorom 3 do 10 [mm].

Najveći učinak imaju fine rešetke na kojima se zaustavlja i dio lebdećih tvari.

Učinak pročišćavanja na finim rešetkama iznosi:

- smanjenje BPK<sub>5</sub> za 3 do 10 [%],
- smanjenje lebdećih tvari za 2 do 20 [%],
- smanjenje bakterija za 10 do 20 [%],
- smanjenje KPK za 5 do 10 [%].

Rešetke mogu biti ravne i lučn

Čiste se ručno ili mehanički. Ručno se čiste rešetke na manjim uređajima i na grube uređajima postavljaju kao zaštita srednjih i finih rešetki. Širina rešetke,  $b_r$  [m], definirana je izrazom:

$$b_r = Q(s + e) h v e f$$

gdje su:

- $Q$  – protok, [m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>],
- $s$  – debljina šipke rešetke, [mm],
- $e$  – slobodni otvor među šipkama, [mm],  $h$  – dubina (vode) u kanalu, [m],
- $v$  – brzina vode, [m s<sup>-1</sup>],
- $f$  – stupanj zapunjenja rešetke, [1], (0.8 do 0.9)

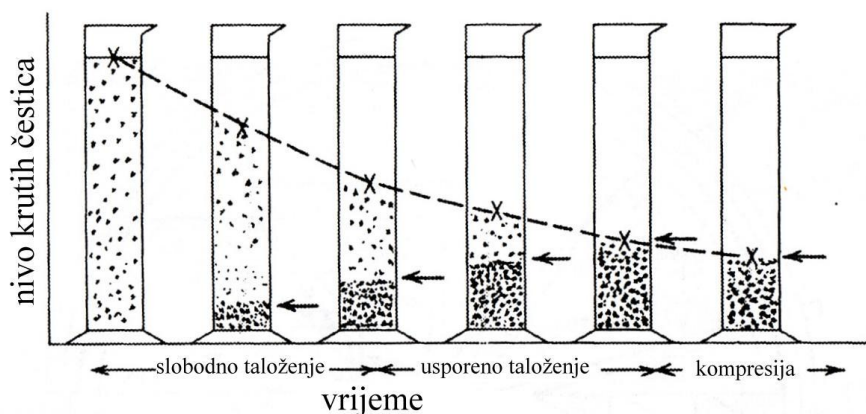
U tehnologiji pročišćavanja otpadnih voda ponekad se umjesto finih rešet suspenzija, koriste *makro(sita)*. Izvode se od nehrđajuće žice ili prorupčanog lim [mm]. Zavisno od konstrukcije, na sitima se zadržava i do 35 [%] lebdećih tvari. (četkama, zrakom ili vodom).

### 4.2.2. Usitnjavanje

Usitnjavanje otpadne tvari je proces koji ili potpuno zamjenjuje rešetanje prolaska otpadne vode kroz grubu rešetku. Krupne otpadne tvari usitne se i isjeku u čestice veličine 3 do 8 [mm] i odvođe do opasnosti od začepljenja crpki i drugih dijelova uređaja. Usitnjavanje otpadne tvari se obavlja usitnjivačima. U praksi se najčešće upotrebljavaju slobodnim prolazom vode

### 4.2.3. Taloženje

Taloženje se kod mehaničkog pročišćavanja primjenjuje za izdvajanje pijeska mineralnog porijekla iz otpadnih voda. To je potrebno radi zaštite rotora crpki, te ostalih dijelova uređaja. Radi orijentacije, kao prosječna vrijednost uzima se količina pijeska (s 50 do 60 p 5 do 12 [dm<sup>3</sup>] po stanovniku na godinu. Građevine u kojima se odvija ovaj proces zovu se pjeskolovi.



Slika 11. Taloženje

Pjeskolovi se izvođe kao taložnici, dakle kao spremnici u kojima se smanjuje broj taloženje zrnatih čestica. Radi sprječavanja istovremenog taloženja i čestica organskih tvari (horizontalna) brzina protjecanja vode kroz pjeskolov oko 0.3 [m s<sup>-1</sup>]. istaložiti sve čestice pijeska promjera većeg od 0.25 [mm].



Slika 12. Pjeskolov

#### 4.2.4. Flotacija

Flotacija je proces u kojem se krute tvari iz tekućina izdvajaju izdizanjem na površinu. Isplivavanje može biti spontano zbog razlike u gustoći (krute čestice imaju manju gustoću od tekućine) ili prisilno upotrebom raspršenog zraka na koji se vežu čestice koje imaju gustoću veću od čestica vode (mastolov).

U bistrenju vode flotacijom otpadna voda je pod tlakom i prezasićenim zrakom. Kada se tlak snizi, zrak formira sitne mjehure koji uzrokuju isplivavanje krutih čestica na površini.

#### 4.2.5. Neutralizacija

To je proces za promijenu vodikovih  $H^+$  iona u industrijskim otpadnim vodama. Ove vode često sadrže kisele i bazične sastojke u količinama u kojima se ne smiju spuštati u prirodne vodne sustave gdje se dopušta ispuštanje otpadnih voda s vrijednošću pH 6 do 9. Najjednostavnija neutralizacija se postiže miješanjem otpadnih voda iz različitih pogona, miješanjem kiselih i bazičnih otpadnih vodama ili dodavanjem reagensa (natrijeve lužine u kisele vode ili sumporne kiseline u bazične vode).

### **4.3. Biološko pročišćavanje**

Veliki dio organskih onečišćenja koja se nalaze u vodi mogu biti u neotopljenom ili u otopljenom stanju. Ukoliko se radi o neotopljenim organskim tvarima, one se uklanjaju jednim od već opisanih postupaka. Otopljene organske tvari moguće je ukloniti samo biokemijskom (biološkom) razgradnjom. Međutim, biološke procese moguće je primijeniti samo tamo gdje su onečišćenja biološki razgradiva i ne sadrže otrovne tvari u kritičnim količinama. Biološki procesi se primjenjuju kako bi se iz otpadnih voda uklonio organski ugljik, te se smanjila količina fosfora i dušika (nitrifikacija i denitrifikacija). Ovu vrstu razgradnje moguće je postići tako da se u biološkom bazenu razvijaju mikroorganizmi, najčešće bakterije koji će organska onečišćenja i hranjive soli koje su raspršene u otpadnoj vodi koristiti za svoj rast. Ovakav proces pročišćavanja identičan je procesu koji se odvija i u prirodnom okolišu.

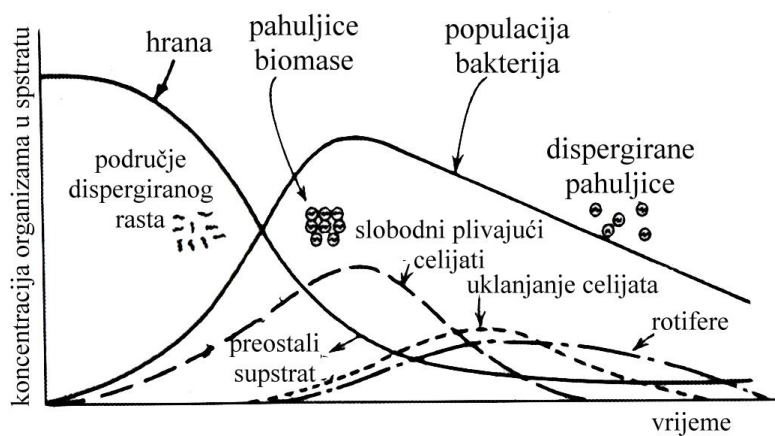




Slika 13. Bazeni za biološko pročišćavanje otpadnih voda

#### **4.3.1. Bazeni za biološko pročišćavanje otpadnih voda**

Budući da se radi o živim organizmima (mikroorganizmi) i umjetno stvorenim uvjetima posebnu pažnju treba obratiti svakom čimbeniku koji utječe na rast i razvoj mikroorganizma. Tako je potrebno u svakom trenutku osigurati dovoljnu količinu hranjivih tvari, te izbjegavati uvjete s naglim promjenama temperature i pH vrijednosti. Populacije bakterija zahtijevaju hranjive tvari koje se sastoje od ugljika, dušika i fosfora. Obično je pravilo da bakterijama pogoduje omjer dušika i fosfora 5:1. Komunalne vode uglavnom sadrže potreban dušik, dok industrijske ne te je za pravilan rast i funkciju bakterija u industrijskim otpadnim vodama najčešće potreban dodatak dušika. Proučavanje ponašanja bakterija tijekom njihovog rasta u ovisnosti o hranjivim tvarima je izuzetno važno. Kada postoji adekvatna opskrba hranjivim tvarima, brzina razmnožavanja bakterija je eksponencijalna. Kada mikrobi cvatu, hrana koju primaju može ograničavati njihov rast (opadanje). Uslijed toga dolazi do promjene u populaciji, kolonije mikroba počinju formirati taložive pahuljice. Daljnjim dovođenjem hrane, bakterije jedu jedna drugu i u ovom slučaju postaju dispergirane i teško taložive.



Slika 14. Faze razvoja mikroorganizama

Temperatura vode je također važan čimbenik u biološkom pročišćavanju. Tijekom pročišćavanja događa se konkurencija između psihofilnih, mezofilnih, fakultativnih i termofilnih mikroorganizama od kojih svatko od njih ima svoje optimalne temperaturne uvjete. Treba naglasiti da se kod svake od ovih skupina brzina metabolizma dvostruko povećava s povećanjem temperature za 11 °C. Ovo ukazuje na jedan od najvećih problema biološke razgradnje promjenama godišnjih doba, ali i izmjenama dana i noći posebno u periodima kada je velika razlika između dnevne i noćne temperature

Promjene pH vrijednosti također utječu na biološku razgradnju otpadne vode. Bakterijama najbolje odgovara pH od 5 do 9. Njihova aktivnost se znatno poremeti u slučajevima kada pH padne ispod 5 ili naraste iznad 10.

U radu s otpadnom vodom koja sadrži organske tvari iz industrijske proizvodnje važno je odabrati i uzgojiti bakterije koji će imati mogućnost razgradnje organskih onečišćenja iz otpadnih voda. Da bi se to postiglo, provodi se aklimatizacija bakterija u periodu od tjedan dana. Tijekom aklimatizacije bakterije su u kontakstu s vodom koja sadrži određena organska onečišćenja te se prati biološka i kemijska potrošnja kisika. Što su ove dvije vrijednosti bliže jedna drugoj to će odabrane bakterije bolje razgrađivati onečišćenja u vodi.

Kategorija mikroorganizama koje se razvijaju za razgradnju otpadnih voda mogu biti aerobne, anaerobne i fakultativne. Anaerobni mikroorganizmi rastu i razvijaju se bez prisustva kisika, aerobnima je neophodan, dok se fakultativni mikroorganizmi mogu živjeti uz kisik, ali i bez njega.

Anaerobni sustavi obično najbolje razgrađuju vode s velikom količinom organskih onečišćenja te pritom proizvode  $\text{CH}_4$ . U tehnološkom sustavu anaeroban proces razgradnje naziva se truljenje.

Razgradnja se odvija u tri faze:

- hidroliza – razgradnja organskih tvari,
- kiselo vrenje – razgrađene organske tvari pretvaraju se u organske kiseline, alkohole, aldehide i sl.,
- metansko vrenje – bakterije stvaraju metan i ugljični dioksid.

U anaerobni reaktor (bazen) voda ulazi bez dodanog kisika pri čemu se naglo smanjuje količina dušika. U slučaju da se razgradnja obavlja u otvorenom reaktoru, uslijed kemijskih procesa unutar reaktora formira se kora koja sprečava dotok kisika, ali i izlaz produkata razgradnje – plinova neugodnog mirisa. Tijekom razgradnje provodi se kiselo i metansko vrenje. Proteinske tvari prisutne u vodi razgrađuju se do amonijaka, a sulfati prelaze u sulfide. Postupak razgradnje otpadne vode anaerobnim postupkom je sporiji od aerobnih postupaka. Vrijeme zadržavanja otpadne vode u reaktoru prilikom anaerobnog pročišćavanja je najmanje desetak dana (pri 34 do 38°C).

#### 4.3.2. Obrada u septičkim jamama

Osim obrade vode u anaerobnim reaktorima, pročišćavanje bez prisustva zraka provodi se u septičkim jamama i dvokatnim taložnicima

Septička jama najčešći je oblik zbrinjavanja sanitarnih otpadnih voda. Pročišćavanje se obavlja tako da se u prvom koraku obavlja taloženje pri čemu se izdvajaju suspendirane tvari, a istaloženi mulj truli postupcima anaerobne razgradnje.

Obično se septičke jame sastoje od dviju ili triju komora. Prva komora je veća i u njoj se provodi taloženje. Druga (i treća) komora su komore u kojima se provodi preljevanje prema zakonu spojenih posuda. Naime, otpadna voda dolazi u prvu komoru, provodi se taloženje, a uslijed povećanja volumena u prvoj komori, dolazi do preljevanja u sljedeće komore. Dotok otpadne vode treba biti tako proveden da osigurava dovoljno dugo zadržavanje vode u pojedinim komorama kako bi se proces razgradnje organskih tvari mogao uspješno obaviti. Organska tvar koja taloženjem pada na dno truli djelovanjem anaerobnih bakterija.

U septičkoj jami se voda zadržava obično 24 sata. Vrijeme zadržavanja otpadne vode ujedno je i osnovna razlika između septičke jame i dvokatnog taložnika. U dvokatnom taložniku otpadna voda ostaje svega jedan sat. Pri tome se suspendirane tvari istalože te voda odlazi na biološko pročišćavanje. Istaložene suspendirane tvari prolaze proces anaerobne razgradnje.

Populacija aerobnih bakterija je najveća. One uz organske tvari i kisik koje koriste za rast i razmnožavanje proizvode tzv. mulj i CO<sub>2</sub>. Aerobni procesi se primjenjuju za razgradnju komunalnih otpadnih voda.

Biološka razgradnja organske tvari ovisi o koncentraciji organskih tvari, količini kisika, količini mikroorganizama, ali i vremenu kontakta mikroorganizama s organskim tvarima. U povoljnim uvjetima mikroorganizmi rastu i razmnožavaju se na način da se jedna stanica dijeli na dvije. U idealnim uvjetima rast i razvoj se odvijaju eksponencijalno, međutim u stvarnim uvjetima to nije tako. Naime, rast mikroorganizama se obično smanjuje zbog smanjenja količine organske tvari, nastanka otrovnih proizvoda ili nekih drugih čimbenika.

Krivulja rasta opisuje rast mikroorganizama u šest faza:

- lag faza,
- faza ubrzanog rasta,
- log faza,
- faza usporenog rasta,
- stacionarna faza
- faza odumiranja

Lag faza se još naziva i faza zadržavanja. U ovoj fazi se mikroorganizmi prilagođavaju se novoj sredini. Neki od mikroorganizama se uspiju prilagoditi, dok manji broj odumire. U ovoj fazi se provodi dijeljenje stanica, međutim ono je vrlo sporo. Trajanje ove faze ne može se procijeniti, ono ovisi o broju, vrsti i starosti mikroorganizama, ali i o sredini u kojoj se nalaze. Faza ubrzanog rasta je faza u kojoj mikroorganizmi intenzivnije rastu da bi na kraju ove faze rast dosegao svoj maksimum. Ova faza ujedno predstavlja prijelaznu fazu između lag i log faze. Log faza je poznata i kao eksponencijalna faza. U ovoj fazi brzina rasta mikroorganizama doseže konstantnu vrijednost. Faza usporenog rasta je prijelazna faza između log i stacionarne faze. U trenutku kada se zbog povećanja broja mikroorganizama smanji koncentracija organske tvari nastupa stacionarna faza. U stacionarnoj fazi se ujedno i povećava količina produkata metabolizma.

Osim toga, stacionarna faza se može utvrditi i na način da se odredi broj živih i mrtvih mikroorganizama. Kada je taj broj izjednačen nastupa stacionarna faza. Do odumiranja mikroorganizama dolazi zbog gladovanja (nedostatak organske tvari) ili trovanja (metaboličkim produktima) stanica. U fazi odumiranja povećava se broj odumrlih stanica budući da je organska tvar potrošena, što znači da organizmi nemaju izvor hrane. Odumrli mikroorganizmi prolaze postupak mineralizacije, što uzrokuje smanjenje volumena biomase.

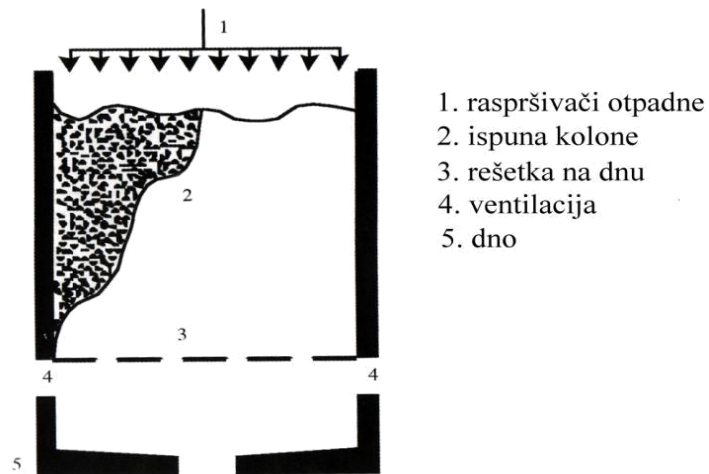
Najčešće upotrebljeni biološki postupci pročišćavanja svrstani su u tri skupine:

- pročišćavanje pomoću bioloških filtara ili prokapnika,
- pročišćavanje u lagunama i
- pročišćavanje sa aktivnim muljem.

#### **4.3.3. Prokapnik**

Prokapnik je najstariji oblik pročišćavanja otpadne vode. Mikroorganizmi rastu pričvršćeni na čvrstu površinu. Prokapnik je najčešće izveden u obliku betonskog spremnika kružnog presjeka. Spremnik na dnu ima rešetku, te ispod rešetke po dva otvora s bočnih strana radi strujanja zraka. Središnji dio prokapnika ispunjen je volumskom ili plošnom ispunom, volumske ispune su zrnati materijali s veličinom zrna od 4 do 10 cm. Plošne ispune su tvrde ili meke ispune, ali mogu biti i folije i tkanine.

Otpadne vode se raspršivačima dovode u prokapnik, odnosno na ispunu. Nakon nekog vremena na ispuni se skupi kultura različitih mikroorganizama (bakterije, gljive, alge, pljesni crvi i sl.). Aeriranje se odvija kroz otvore s bočne strane prokapnika i to prirodnim strujanjem zraka. Prirodno strujanje se postiže zbog razlike u temperaturi unutar prokapnika i izvan njega.



1. raspršivači otpadne
2. ispunjena kolona
3. rešetka na dnu
4. ventilacija
5. dno

Slika 15. Shema prokapnika

Razgradnja organske tvari u prokapniku odvija se i aerobnim i anaerobnim postupkom. Gornji sloj mikroorganizama u prokapniku (cca 3 mm) dobro je opskrbljen kisikom i tu se odvija aerobna razgradnja. Ovdje je i količina organskih tvari najveća, što rezultira i najboljim prirastom mikroorganizama. Obzirom na porast mikroorganizama, otežana je difuzija kisika prema dubini prokapnika te se zbog njegovog nedostatka od sredine prokapnika pa do njegovog dna odvija proces anaerobne razgradnje organskih tvari iz otpadne vode.

#### 4.3.4. Lagune

Lagune su mjesta na kojima se odvija pročišćavanje vode u prirodnim uvjetima . To su vodonepropusni zemljani bazeni. Od izuzetne važnosti je kod izgradnje laguna pripremiti tlo da bude nepropusno kako procjedne vode ne bi ugrozile kvalitetu podzemnih voda.



Slika 16. Lagune

U lagunama se odvija pročišćavanje vode s malom količinom mikroorganizama. Iz tog razloga je i zadržavanje vode u lagunama dugo, a količina tvari koja se razgradi u jednom danu je relativno niska. Ovisno o dubini lagune pročišćavanje se odvija aerobnim ili anaerobnim procesima. U lagunama koje su plitke osiguran je dovoljan dotok kisika kroz cijelu lagunu pa je proces razgradnje organskih tvari aeroban. Osim toga u plitke lagune prodire sunčeva svjetlost što omogućava odvijanje fotosinteze kroz cijelu lagunu. U dubokim lagunama na površini se odvija aeroban proces, a u unutrašnjosti anaeroban. Osim biološke razgradnje u lagunama se, zbog dugog zadržavanja vode odvija taloženje, isplivavanje, isparavanje i procjeđivanje



U procesu pročišćavanja otpadnih voda, nakon određenog vremena korištenja laguna u njima se stvori izvjesna količina mulja. Ovaj mulj je nerazgradivi ostatak i iz laguna ga je potrebno ukloniti. Mulj uklonjen iz laguna je bezopasan i moguće ga je koristiti za obogaćivanje poljodjelskih površina. Osim toga, prisutnost mulja u lagunama uzrokuje pojavu neugodnog mirisa i skupljanje i razmnožavanje komaraca te je to još jedan od razloga zbog kojeg je potrebno povremeno uklanjanje mulja. Uklanjanje se obično provodi svakih pet do deset godina.

#### **4.3.5. Obrada s aktivnim muljem**

Pročišćavanje otpadne vode aktivnim muljem je treći način biološkog pročišćavanja otpadne vode. Pročišćavanje otpadne vode aktivnim muljem danas je vjerojatno najrašireniji postupak pročišćavanja. Aktivni mulj razlikuje se od mulja izvađenog iz laguna. Pod aktivnim muljem podrazumijeva se biocenoza sastavljena od aerobnih i fakultativnih anaerobnih mikroorganizama. To su u prvom redu bakterije, ali je osim bakterija prisutna znatna količina i ostalih mikroorganizama, bičaća, trepeljtikaša, ameba, točkaša i sl..

U tipičnom postrojenju za obradu otpadne vode, voda prvo ulazi u komoru (taložnik) gdje se provodi taloženje krupnijih čestica. Takva voda ulazi u biološki reaktor u kojem su suspendirani mikroorganizmi. U reaktor se upuhuje zrak uz miješanje otpadne vode. Na taj način se osigurava dodir mikroorganizama i hranjivih tvari. Smjesa starih i novih mikroorganizama s otpadnom vodom uvodi se u naknadni taložnik. Dio aktivnog mulja vraća se u biološki reaktor, a višak mulja odvozi se na zbrinjavanje

Razlikuje se nekoliko vrsta mulja:

- 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, gumu i dr.). Također sadrži i žive organizme (bakterije, viruse, parazite i dr.).
- biološki mulj iz biološkog reaktora, sadrži uglavnom živu masu bakterija i njihove ostatke, a količina ovisi o vrsti uređaja (tj. o postupku pročišćavanja vode), starosti mulja, unosu zraka i dr.
- tercijarni mulj, koji nastaje kada je u postupcima 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.
- kombinacije muljeva različita podrijetla.

Mulj je potrebno prije odlaganja ili upotrebe adekvatno preraditi. Prerada mulja može se provesti smanjivanjem volumena, stabilizacijom i kondicioniranjem.

Smanjivanje volumena postiže se zgušnjavanjem, koje se može obaviti prije, ali i nakon obradbe i to statičkim ili mehaničkim postupcima. Smanjivanje volumena može se provesti i ocjeđivanjem vode, što se postiže prirodnim postupcima, najčešće na poljima za sušenje mulja ili umjetnim postupcima (vakuum filtri, filtarske preše, trakaste preše, centrifuge). Sušenje je također jedan od adekvatnih postupaka za smanjivanje volumena mulja. Najčešće se provodi tretiranjem s vrućim zrakom.

Stabilizacija mulja sprječava daljnje truljenje mulja i može se provesti kemijski (uz dodatak vapna (postupak nije trajan), klora, ozona i drugih oksidansa), biološki (anaerobna ili aerobna stabilizacija (digestija), kompostiranjem sirova ili trula mulja (s gradskim otpadom ili odvojeno) i toplinski (spaljivanje).

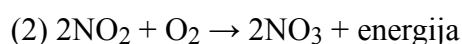
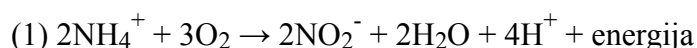
Kondiciranje je postupak pripreme mulja za zgušnjavanje i ocjeđivanje. Provodi se dodatkom sredstva za zgušnjavanje (kemijsko kondicioniranje), toplinom (160 – 210 °C) ili dodatkom inertnih tvari (najčešće pepela).

Ukoliko mulj nije nastao pročišćavanjem otpadnih voda sa znatnijim udjelom industrijske vode (nema teških metala i štetnih tvari) može se kompostirati, sušiti, samljeti i pakirati, uz mogućnost dodavanja fosfora i kalija, te uporabiti u poljoprivredi. Primjenjuje li se u poljoprivredi, a prethodno nije bio podvrgnut postupcima uništavanja mikroorganizama (anaerobnoj stabilizaciji, kompostiranju), mulj treba pasterizirati (grijanjem na 70°C, 20 minuta) ili dezinficirati zračenjem. Energetska vrijednost mulja može se uporabiti u spalionicama otpada, za proizvodnju energije.

#### 4.3.6. Uklanjanje fosfora i dušika

Biološka razgradnja organskih tvari podrazumijeva procese uklanjanja dušika, te uklanjanje fosfora iz otpadnih voda. 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 i poznato je kao proces nitrifikacije, te redukcijom nitrita do plinovitog dušika (denitrifikacija).

Ova dva procesa odvijaju se jedan iza drugog s tim da se nitrifikacija odvija u dva stupnja kao što je prikazano jednadžbama: (1) i (2)



Za provođenje nitrifikacije koriste se autotrofne bakterije, dok se denitrifikacija odvija heterogenim bakterijama. Nitrifikacija započinje kada je zadržavanje otpadne vode tri ili više dana. Proces će se najbolje odvijati ako u otpadnoj vodi ima 2-3 mg/L kisika, te pH od 8 do 9. Za optimalno provođenje bitna je i temperatura, optimalna temperatura odvija se na 20 stupnjeva, a svako snižavanje temperature smanjuje brzinu nitrifikacije. Svakako je dobro osigurati prisutnost ugljikova dioksida, ukloniti otrovne tvari i osigurati koncentraciju organskih tvari.



Slika 17. Reaktor za nitrifikaciju

#### 4.4. Fizikalno-kemijski postupci

Ionska izmjena je proces u kojem neke tvari (najčešće ionske smole) imaju sposobnost zamjene svojih iona s ionima iz otpadne vode. Ionske smole su krute tvari koje mogu biti u obliku kuglica, vlakana cijevi ili membrana. Ionske smole su obično smještene u cilindrične posude preko kojih se propušta otpadna voda. Ionski izmjenjivači se više primjenjuju za pripremu i deionizaciju sirove vode nego za pročišćavanje otpadne vode.



Slika 18. Ionski izmjenjivači

#### **4.4.2. Ultrafiltracija**

Ultrafiltracija je proces filtriranja vode kroz filter (membranu) veličine otvora svega 2 – 104 nm. Ovim postupkom se iz 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 efikasnija provodi se uz razliku tlakova, obično vakuumom. Postupak ultrafiltracije odvija se uz tlak veći od 0,14 MPa

#### **4.4.3. Reverzna osmoza**

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

#### **4.4.4. Adsorpcija na aktivnom ugljenu**

Adsorpcija je jedna od najčešće primjenjivanih i najekonomičnijih metoda za uklanjanje štetnih tvari iz otpadnih voda, te u odnosu na druge metode daje vrlo dobre rezultate. Adsorpcija je proces koji se osniva na sposobnosti da (adsorbensi) neke čvrste tvari mogu na svojoj površini vezati (tj. adsorbirati) molekule plina ili molekule i ione (adsorbat) iz otopine. Pojava adsorpcije posljedica je djelovanja privlačnih sila između čvrste površine i molekula u otpadnoj vodi, a to se očituje pojavom toplinskih efekata za vrijeme procesa. Količina adsorbirane tvari na čvrstoj površini ovisi o specifičnim svojstvima površine, o koncentraciji i pH otpadne vode i o temperaturi.

Kao adsorbens za počišćavanje otpadnih voda najčešće se koristi aktivni ugljen (aktivni ugljik). Najčešći oblici aktivnog ugljika su: granulirani, praškasti i vlaknasti

Prah aktivnog ugljika, općenito ima fine čestice veličine od oko 44  $\mu\text{m}$ , što omogućuje bržu adsorpciju. Granulirani oblik ima veličinu granula od 0,6 do 4,0 mm, tvrd je i otporan na ogrebotine, te je relativno gust. Iako je granulirani ugljik skup u odnosu na prah, on ne uzrokuje velike hidrodinamičke probleme i može se lako regenerirati i koristi ponovno.

Vlaknasti aktiviran ugljik je skuplji materijal, ali ima sposobnost kalupljenja.

Adsorpcijska svojstva aktivnog ugljika ovise, prije svega, o kemijskoj reaktivnosti površine i ukupnoj veličini površine, te volumenu i raspodjeli veličine pora. Površina aktivnog ugljika ima i kiselinska i bazna svojstva što se može pripisati kiselinskim i baznim funkcionalnim grupama koje su prisutne na površini.



Slika 19. Vrste aktivnog ugljika

## 5. ZAKON O VODAMA

Ovim se Zakonom uređuju pravni status voda, vodnoga dobra i vodnih građevina, upravljanje kakvoćom i količinom voda, zaštita od štetnog djelovanja voda, detaljna melioracijska odvodnja i navodnjavanje, djelatnosti javne vodoopskrbe i javne odvodnje, posebne djelatnosti za potrebe upravljanja vodama, institucionalni ustroj obavljanja tih djelatnosti i druga pitanja vezana za vode i vodno dobro

Pojedini izrazi, u smislu ovoga Pravilnika, imaju sljedeće značenje:

1. »Prethodno pročišćavanje« je predobrada 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« je obrada komunalnih otpadnih voda fizikalnim i/ili kemijskim postupkom koji obuhvaća taloženje suspendiranih tvari ili druge postupke 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« je obrada komunalnih otpadnih voda postupkom koji općenito obuhvaća biološku obradu sa sekundarnim taloženjem i/ili druge postupke kojima se postižu zahtjevi iz Tablice 2. iz Priloga 1. ovoga Pravilnika;
4. »Treći stupanj (III) pročišćavanja« je stroža obrada komunalnih otpadnih voda postupkom kojim se uz drugi stupanj pročišćavanja postižu zahtjevi za i/ili fosfor i/ili dušik iz Tablice 2.a iz Priloga 1. ovoga Pravilnika, i/ili mikrobiološke pokazatelje i/ili druge onečišćujuće tvari u cilju zaštite osjetljivih područja, odnosno postizanja ciljeva kakvoće voda prijemnika;
5. »Podmorski ispust« je vodna građevina za ispuštanje otpadnih voda u more na udaljenosti od



obalne crte (najniže plime na kopnu) u pravilu ne manjoj od 500 m i na dubini većoj od 20 m;

Tablica 2. GRANIČNE VRIJEDNOSTI EMISIJA KOMUNALNIH OTPADNIH VODA PROČIŠĆENIH NA UREĐAJU DRUGOG STUPNJA (II) PROČIŠĆAVANJA

POKAZATELJI	GRANIČNA VRIJEDNOST	NAJMANJI POSTOTAK SMANJENJA OPTEREĆENJA
1	2	3
Suspendirane tvari	35 mg/l	90
BPK <sub>5</sub> (20 °C)	25 mg O <sub>2</sub> /l	70
KPK <sub>Cr</sub>	125 mg O <sub>2</sub> /l	75

Tablica 2.a GRANIČNE VRIJEDNOSTI EMISIJA KOMUNALNIH OTPADNIH VODA PROČIŠĆENIH NA UREĐAJU TREĆEG (III) STUPNJA PROČIŠĆAVANJA

POKAZATELJI	GRANIČNA VRIJEDNOST	NAJMANJI POSTOTAK SMANJENJA OPTEREĆENJA
1	2	3
Ukupni fosfor	2 mg P/l (10 000 do 100 000 ES) 1 mg P/l (veće od 100 000 ES)	80
Ukupni dušik (organski N+NH <sub>4</sub> -N + NO <sub>2</sub> - N+NO <sub>3</sub> -N)	15 mg N/l (10 000 do 100 000 ES) 10 mg N/l (veće od 100 000 ES)	70

### 5.1.1. Granične vrijednosti emisija otpadnih voda

Granične vrijednosti emisija otpadnih voda koje se ispuštaju u površinske vode ili u sustav javne odvodnje, utvrđuju se dozvoljenim koncentracijama onečišćujućih tvari i opterećenjima u otpadnim vodama. Kod ispuštanja pročišćenih komunalnih otpadnih voda u površinske vode pored koncentracija onečišćujućih tvari i/ili opterećenja u otpadnim vodama, potrebno je utvrditi i postotak smanjenja opterećenja na uređaju za pročišćavanje otpadnih voda.

Pravne i fizičke osobe mogu ispuštati otpadne vode u okviru propisanih graničnih vrijednosti emisija

Granične vrijednosti emisija propisuju se za grupe, rodove i kategorije onečišćujućih tvari:

1. u tehnološkim otpadnim vodama prije njihova ispuštanja u građevine javne odvodnje ili u septičke jame ili sabirne jame
2. u svim pročišćenim ili nepročišćenim otpadnim vodama koje se ispuštaju u vode
3. u otpadnim vodama koje nisu tehnološke, a ispuštaju se u građevine javne odvodnje, septičke jame i sabirne jame

Ministar pravilnikom propisuje granične vrijednosti emisija otpadnih voda iz stavka 2. točke 1. i 2. ovog članka, uvjete privremenog dopuštenja ispuštanja otpadnih voda iznad propisanih količina i graničnih vrijednosti emisija, kriterije i uvjete prikupljanja, pročišćavanja i ispuštanja komunalnih voda te iznimno dopuštena ispuštanja u podzemne vode

Za otpadne vode koje nisu tehnološke, a koje se pri obavljanju gospodarske djelatnosti ispuštaju u sustav javne odvodnje ili u septičke ili sabirne jame, u količini većoj od 30 prostornih metara (m<sup>3</sup> dnevno, propisom iz stavka 3. odredit će se slučajevi:

- za koje se propisuje jedinstveni fiksni koeficijent pokazatelja onečišćenja
- koji podliježu obvezi iz članka 65. stavka 1. Ovog Zakona

Tehnološke otpadne vode koje se ispuštaju u sustav javne odvodnje podliježu prethodnom pročišćavanju, kojim se:

1. sprječava oštećenje sustava javne odvodnje;
2. ne ometa rad uređaja za pročišćavanje otpadnih voda;
3. osigurava da ispuštanja iz uređaja za pročišćavanje otpadnih voda nemaju štetan utjecaj na okoliš;
4. osigurava uporaba i/ili zbrinjavanje mulja na ekološki prihvatljiv način;
5. osigurava zaštita zdravlja radnika koji rade u tom sustavu.

Granične vrijednosti emisija tehnoloških otpadnih voda, u slučaju razrjeđivanja, određuju se primjenom faktora razrjeđenja. Granične vrijednosti emisija otpadnih voda u izdanim vodopravnim dozvolama i rješenjima o objedinjenim uvjetima zaštite okoliša razmatraju se i usklađuju u vremenskim razmacima, koji ne smiju biti dulji od šest godina

### **5.1.2. Ispuštanje tehnoloških i drugih otpadnih voda**

Pravne i fizičke osobe dužne su koje pri obavljaju gospodarske djelatnosti ili druge poslovne djelatnosti unose, ispuštaju ili odlažu opasne ili druge onečišćujuće tvari u vode, dužne su te tvari prije ispuštanja u građevine javne odvodnje ili drugi prijemnik, djelomično ili potpuno odstraniti u skladu s izdanom vodopravnom dozvolom za ispuštanje otpadnih voda, odnosno riješenjem o objedinjenim uvjetima zaštite okoliša. Jedinice lokalne samouprave dužne su putem isporučitelja ili vodne usluge osigurati skupljanje ili pročišćavanje komunalnih otpadnih voda, prije njihovog izravnog ili neizravnog ispuštanja u vode u skladu s izdanom vodopravnom dozvolom za ispuštanje otpadnih voda. Građevine oborinske odvodnje, kao i građevine oborinske odvodnje s cestovnih i željezničkih prometnica, zračnih luka, luka na unutarnjim vodama, te površina u krugu industrijskih postrojenja i benzinskih crpki projektiraju se i grade tako da opasne i druge onečišćujuće tvari u tim vodama, ne prelaze granične vrijednosti emisija propisanih za otpadne

vode iz članka 60. stavka 2. točke 1. i 2. ovog Zakona ovisno o mjestu ispuštanja.

### **5.1.3. Uzorkovanje i ispitivanje sastava otpadnih voda**

Pravne i fizičke osobe koje su u obvezi imati vodopravnu dozvolu za ispuštanje otpadnih voda prema odredbama ovoga Zakona ili rješenje o objedinjenim uvjetima zaštite okoliša prema posebnim propisima o okolišu obvezni su osigurati redovito uzorkovanje i ispitivanje sastava otpadnih voda te o tome voditi očevidnik.

Djelatnost uzorkovanja i ispitivanja sastava otpadnih voda obavljaju ovlašteni laboratoriji.

Propisom iz članka 60. stavka 3. ovoga Zakona uređuje se i 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 o tome Hrvatskim vodama, pitanja iz stavka 4. ovoga članka i druga pitanja u neposrednoj vezi s prethodnim.

Pravne i fizičke osobe iz stavka 1. ovoga članka koje, tijekom jednoga dana ili u kraćem vremenu u kojem se odvija tehnološki postupak, ispuštaju otpadne vode u prosjeku deset litara u sekundi (10 l/s) dužne su imati, koristiti, održavati u ispravnom stanju, uređaj za mjerenje protoka vode i za automatsko uzimanje uzoraka pri promjeni protoka vode te ga učiniti svakodobno dostupnim vodnom nadzoru, sukladno propisu iz stavka 3. ovoga članka.

### **5.1.4. Odluka o odvodnji otpadnih voda**

Pravne i fizičke osobe dužne su otpadne vode ispuštati u građevine javne odvodnje ili u individualne sustave odvodnje otpadnih voda odnosno na drugi način sukladno odluci o odvodnji otpadnih voda.

Odluka iz stavka 1. ovoga članka mora sadržavati osobito:

1. način odvodnje otpadnih voda s određene aglomeracije, uključivo iz naseljenih mjesta i izvan njih,
2. način odvodnje onečišćenih oborinskih voda koje se ne ispuštaju u sustav javne odvodnje,

3. zemljopisne podatke o mjestima ispuštanja otpadnih voda iz sustava javne odvodnje u tijela površinskih voda, odnosno iznimno o mjestima ispuštanja u tijela podzemnih voda, sukladno propisu iz članka 60. stavka 3. ovoga Zakona,
4. uvjete ispuštanja otpadnih voda na područjima na kojima je i na kojima nije izgrađen javni sustav za odvodnju otpadnih voda,
5. granične vrijednosti emisija otpadnih voda koje nisu tehnološke u građevine javne odvodnje, sabirne i septičke jame,
6. podatke o nadležnostima održavanja sustava javne odvodnje,
7. uvjete održavanja bioloških uređaja za pročišćavanje sanitarnih otpadnih voda, održavanja i pražnjenja sabirnih i septičkih jama,
8. upućivanje na obvezu priključenja na građevine javne odvodnje sukladno odluci o priključenju i općim i tehničkim uvjetima isporuke vodnih usluga.

Odluku iz stavka 1. ovoga članka za područje aglomeracije u granicama jedinice lokalne samouprave donosi njezino predstavničko tijelo.

U slučaju da se aglomeracija prostire na području više jedinica lokalne samouprave, odluku o odvodnji otpadnih voda donosi jedinica područne (regionalne) samouprave.

#### **5.1.5. Kontrola ispravnosti građevina za odvodnju i pročišćavanje otpadnih voda**

Građevine odvodnje i pročišćavanja otpadnih voda moraju se projektirati, graditi i održavati tako da se osigura zaštita voda propisana ovim Zakonom i propisima donesenim na temelju njega.

Vlasnici, odnosno drugi zakoniti posjednici građevina iz stavka 1. ovoga članka dužni su iste podvrgnuti kontroli ispravnosti, a osobito na svojstvo vodone propusnosti, po ovlaštenoj osobi i ishoditi potvrdu o sukladnosti građevine s tehničkim zahtjevima za građevinu.

Fizičke osobe – vlasnici, odnosno drugi zakoniti posjednici malih uređaja za pročišćavanje otpadnih voda dužni su ih održavati posredstvom isporučitelja vodne usluge javne odvodnje ili posredstvom druge osobe ovlaštene sukladno odluci o odvodnji otpadnih voda. Odlukom o odvodnji otpadnih voda urediti će se i rokovi obavezne kontrole ispravnosti.

## 6. ZAKLJUČAK

Voda je izvor života, i sastavni dio živog bića, nalazi se u gotovo svakoj tvari. Najvažnija je čovjekova namirnica, pravi eliksir, zdrava i ljekovita. Čak 70% površine Zemlje pokriveno je vodom, a otprilike 70% ima je u čovjekovom tijelu. Otapalo je i medij kojim se prenosi najveći dio hranjivih tvari i minerala. Gubi se iz organizma preko kože (isparavanje, znojenjem) disanjem, stolicom i mokrenjem. Znaci dehidracije su žeđ, umor, nedostatak energije, suha usta i loša koncentracija. Potrebna je za normalan rad probavnih organa, živčani sustav i metabolizam kože.

Otpadne vode su upotrebom promijenile svoj prvobitni sastav tj. Svoje fizikalne, kemijske i biološke karakteristike. Otpadne vode su sve potencijalno onečišćene tehnološke, oborinske i kućanske. One također sudjeluju u hidrološkom ciklusu, odnosno voda se nakon upotrebe kanalizacijskim sistemom odvodi na tretman, na pročišćavanje i vraća u prirodni okoliš, recipijente. Pročišćavanje otpadnih voda se radi u objektima s postrojenjima za obradu voda. Ovisno od svojstva otpadnih voda i potrebnog stupnja pročišćavanja u tim postrojenjima se primjenjuju: mehaničko ili primarno, sekundarno ili biološko i tercijarno kojeg čine fizikalno-kemijski procesi. Nakon pročišćavanja voda se vraća ponovo u vodotokove, recipijente, a mulj koji je ostao mora se neutralizirati kako ne bi predstavljao opasnost za stanovništvo. Mehaničko pročišćavanje nije dovoljno koristi se sekundarno pomoću filtra ili procesa s aktivnim muljem. Ako su u fluentu prisutni pesticidi, anorganske soli, deterđenti, potrebno je primijeniti i tercijarno fizikalno-kemijsko pročišćavanje. Ovo pročišćavanje je završna obrada otpadnih voda kako bi se zadovoljili zakonski propisi o ispuštanju otpadnih voda u javnu kanalizaciju.

## 7. LITERATURA

- [1] <http://vodovodkotor.com/me/1007/21/Zanimljivosti/>
- [2] <http://www.radost.hr/kvizovi/kruzenje-vode-u-prirodi-13>
- [3] <http://info.grad.hr/res/odbfiles/1823/predavanja/2.6-pi.pdf>
- [4] [http://www.istocar.bg.ac.rs/tic\\_inst/obuka05.html](http://www.istocar.bg.ac.rs/tic_inst/obuka05.html)
- [5] [http://www.ag-metal.net/otpadne\\_vode.html](http://www.ag-metal.net/otpadne_vode.html)
- [6] <http://vvk.hr/upov02.html>
- [7] [http://www.bionica.hr/o\\_nama.html](http://www.bionica.hr/o_nama.html)
- [8] Tušar B., Ispuštanje i pročišćavanje otpadne vode, CROATIA KNJIGA, Zagreb, 2004.
- [9] I. Mijatović ,M.Matošić ,Tehnologija vode, Prehrambeno-bioetnološki fakultet, Zagreb ,2009
- [10] N. Ružinski , Obrada otpadnih voda ,Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2009
- [11] [http://hr.wikipedia.org/wiki/Pro%C4%Di%C5%A1%C4%87%avanje\\_vode](http://hr.wikipedia.org/wiki/Pro%C4%Di%C5%A1%C4%87%avanje_vode)
- [12] [http://www.ag.-metal.net/otpadne\\_vode.html](http://www.ag.-metal.net/otpadne_vode.html)
- [13] <http://www.kravmagazenica.com/voda-izvor-života>
- [14] [http://www.tehnologijahrane.com/knjiga/voda-od\\_nastanka-do-upotrebe](http://www.tehnologijahrane.com/knjiga/voda-od_nastanka-do-upotrebe)
- [15] <http://www.zakon.hr/z/124/Zakon-o-vodama>



















