



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
METALURŠKI FAKULTET

UNIVERSITY OF ZAGREB  
FACULTY OF METALLURGY

**doc. dr.sc. Anita Štrkalj**

# **ONEČIŠĆENJE I ZAŠTITA VODA**



**Sisak, 2014.**

# SADRŽAJ

<b>1. UVOD</b>	1
<b>2. VODA KAO ESENCIJALNI IZVOR ŽIVOTA</b>	2
<b>3. VODA KAO SASTAVNICA EKO SUSTAVA</b>	5
<b>4. RAZLIČITI TIPOVI VODA U PRIRODI</b>	6
4.1 Atmosferske vode	7
4.2 Površinske vode	7
4.3 Podzemne vode	7
<b>5. MJERE ZAŠTITE VODA</b>	9
<b>6. METODE OBRADE PITKIH VODA</b>	11
6.1 Dezinfekcija vode	13
6.2 Filtracija vode	16
6.3 Koagulacija i flokulacija	18
6.4 Uklanjanje željeza i mangana	20
6.5 Uklanjanje organskih tvari	21
<b>7. PRIPREMA VODE ZA INDUSTRIJU</b>	22
7.1 Metalurška industrija	25
7.2 Naftna industrija	29
7.3 Kemijska industrija	30
7.4 Prehrambena industrija	32
7.5 Tekstilna industrija	34
7.6 Industrija celuloze i papira	34

<b>8. OTPADNE VODE</b>	35
8.1 Sanitarne vode	36
8.2 Industrijske vode	37
8.3 Oborinske vode	38
<b>9. PROČIŠĆAVANJE OTPADNIH VODA</b>	40
9.1 Mehanički procesi pročišćavanja	43
9.2 Fizikalni procesi pročišćavanja	45
9.3 Kemijski procesi pročišćavanja	47
9.4 Fizikalno - kemijski procesi pročišćavanja	48
9.4.1 Ultrafiltracija i reverzna osmoza	48
9.4.2 Adsorpcija na aktivnom ugljenu	48
9.4.3 Ionska izmjena	49
9.5 Biološki procesi pročišćavanja	50
9.5.1 Uklanjanje dušika i fosfora	59
<b>LITERATURA</b>	61

# 1. UVOD

Ova skripta namijenjena je studentima Metalurškog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu koji slušaju kolegij Onečišćenje i zaštita voda. Glavni cilj kolegija je upoznavanje studenata s važnošću zaštite prirodnih voda kao i izvorima onečišćenja.

Voda predstavlja osnovu života. Odnosno čovjek, biljke, životinje, pa i mikroorganizmi, trebaju vodu za normalno odvijanje i održavanje životnih funkcija. U današnje doba, voda je sastavni dio svakog segmenta ljudskog djelovanja. Nezamjenjiv je resurs jer se u domaćinstvima koristi za piće, pranje i pripremu hrane, u poljoprivredi za navodnjavanje, a u industriji ima važnu ulogu u gotovo svim industrijskim procesima.

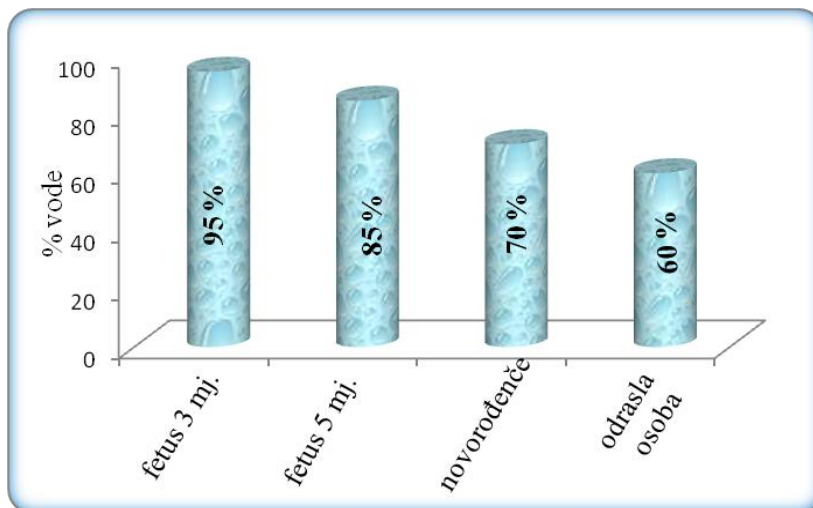
Rastom čovječanstva, raste i potrošnja čiste vode te se stvaraju sve veće količine otpadne vode zagađene različitim organskim i anorganskim zagađenjima. Sve do nedavno vladala je višestoljetna iluzija o neiscrpnosti vodnih resursa, te se u takvim uvjetima razvio nemaran odnos prema korištenju vodnih resursa, a nastao je i koncept minimalnih ulaganja za pročišćavanje korištenih voda i općenito za zaštitu voda. Veći dio korištenih voda se ne pročišćava prije upuštanja u vodotoke, te na taj način onečišćuju vodne mase i smanjuju resurse pitke vode. Iz tog razloga je osiguravanje dovoljne količine pitke vode postao jedan od važnijih svjetskih problema.

Raspoložive količine vode za piće u Hrvatskoj su statistički vrlo velike. Hrvatska raspolaže s blizu 5.600 m<sup>3</sup> vode po stanovniku godišnje što bi trebalo biti dovoljno za sve potrebe, svih stanovnika. Međutim, tako nije u svim zemljama zbog siromaštva, slabe naseljenosti, zagađenosti i sl.

Iz tog razloga skripta daje opći pregled o rasprostranjenosti vode na Zemlji, tipovima voda, upotrebi, zagađenju, ali i metodama kojima se može adekvatno pročistiti otpadna voda.

## 2. VODA KAO ESENCIJALNI IZVOR ŽIVOTA

Od najstarijih vremena pa sve do danas voda predstavlja najcjenjeniju tvar u prirodi. Kod živih bića omogućava osnovne fiziološke potrebe poput probave hrane, reguliranja tjelesne temperature, te izbacivanja štetnih tvari iz organizma. Upravo zbog ovih funkcija smatra se da je voda izvor života. Kod odraslih osoba voda zauzima 60 % tjelesne mase dok kod djece ili fetusa zauzima i znatno više. Na slici 1 je prikazan udio vode u organizmu fetusa različite starosti, novorođenčeta i odrasle osobe.



Slika 1. Udio vode u organizmu fetusa različite starosti, novorođenčeta i odrasle osobe

Voda u organizmu odrasle osobe nije jednako raspoređena u svim tkivima. Najviše vode nalazi se u krvi (85 %) i bubrezima (82 %), zatim u mišićima (75 %), mozgu (74 %) i jetri (79 %). Najmanje vode nalazi se u kostima (22 %).

Zbog različitih klimatskih okolnosti, zagađenja i nedovoljne zaštite pitkih voda, a u nekim dijelovima i zbog prevelike gustoće stanovnika poseban je problem nedostatak pitke vode. U tablici 1 prikazana je godišnja obnovljiva masa vode, te potrošnja po stanovniku i kućanstvima razvrstano prema kontinentima.

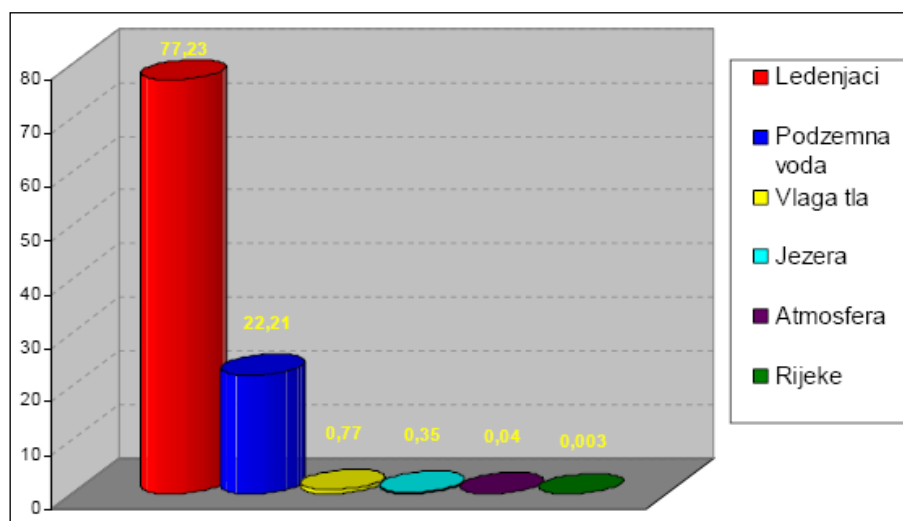
Tablica 1. Godišnja obnovljiva masa vode, te potrošnja po stanovniku i kućanstvima

KONTINENT	OBNOVLJIVA VODENA MASA, km <sup>3</sup> /g	UKUPNA POTROŠNJA, km <sup>3</sup>	POTROŠNJA PO STANOVNIKU, m <sup>3</sup>	POTROŠNJA PO KUĆANSTVU, %
Europa	3110	455	625	14
Azija	13190	98	542	6
Afrika	4225	10	199	7
Sjeverna Amerika	5960	608	1451	9
Južna Amerika	10380	106	332	18
Australija	1965	17	586	19

Pitka voda najlošije je kvalitete u Africi, gdje se s takvom vodom opskrbljuje više od 50 % stanovništva.

Zbog sve većih onečišćenja predviđa se smanjenje zaliha pitkih voda za trećinu i to već u sljedećih 15 godina. Smanjenje kvalitete pitkih voda uzrokuje pojave zaraza, pa čak u konačnici i povećanu smrtnost. Prema podacima Ujedinjenih naroda 2025. godine bi svaki treći stanovnik Zemlje mogao biti izložen akutnom problemu nedostatka vode. Već danas 1,1 milijarda ljudi, oko 1/6 svjetskog stanovništva, nema mogućnosti pristupa čistoj vodi za piće. Više od 2,6 milijardi ljudi ne raspolaže nikako ili s nedovoljno sanitarnih prostorija. Svaki dan umire više od 6000 ljudi (od toga 4000 djece ispod 5 godina) od infekcija koje se pojavljuju zbog prljave vode i nedostatka ili nedovoljno izgrađenog kanalizacijskog sustava.

Prema nekim procjenama na zemlji ima oko  $1.4 \cdot 10^9$  km<sup>3</sup> vode, od čega 97 % otpada na morsku vodu, 2 % otpada na ledenjake na Sjevernom i Južnom polu. Od ukupne slatke vode (slika 2) može se koristiti samo 1 % budući da je voda u obliku ledenjaka nedostupna za korištenje. Prirodni izvori pitke vode danas se sve više cijene budući da globalni problem nejednolike raspoređenosti vode u prirodi postaje sve veći s porastom broja ljudi na Zemlji i povećanjem potrošnje vode.



Slika 2. Raspored slatke vode na Zemlji

Potrebna količina vode za ljudsku potrošnju obuhvaća direktno konzumiranu vodu za piće, potrebe u svakodnevnom životu za hranu, higijenu (potrošnja vode po domaćinstvu), kao i za ostale potrebe kao što su poljoprivreda, industrija i uslužne djelatnosti. Potrošnja vode je stoga, ne samo mjera za količinu vode koja je u direktnoj potražnji, nego i za količinu koja se mora pročistiti.

Otprilike 22 % potrošnje vode u svijetu otpada na industriju i energetski sektor. Ovaj udio varira ovisno od strukture privrede i vezan je za dohodak i blagostanje. On počinje s 10 % u zemljama s niskim i srednjim dohotkom, pa ide do 59 % u zemljama s visokim dohotkom. U Europi se preko pola raspoložive vode troši u industriji i za proizvodnju energije. Industrija koristi vodu za hlađenje, za obradu, za čišćenje i odстранjivanje otpada.

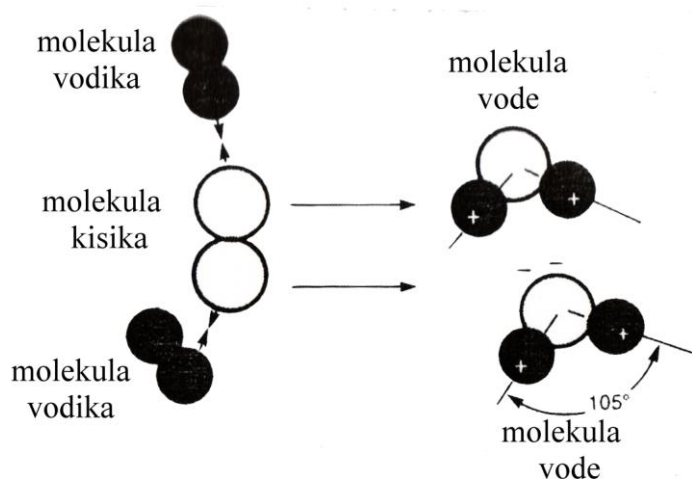
Voda se pojavljuje u sva tri agregatna stanja: plinovito, tekuće i čvrsto. Pri atmosferskom tlaku između 0 i 100 °C voda je tekuća, iznad 100 °C u obliku pare, a ispod 0 °C u obliku

leda. Na 4 °C voda je najgušća sa specifičnom težinom koja iznosi 1 kg/l. Zagrijavanjem ili hlađenjem vodi se povećava volumen. Zagrijavanjem 100 ml vode od 4 °C na 100 °C volumen vode će se povećati na 1043,4 ml, a hlađenjem 0 °C volumen će se povećati na 1090 ml. Pri atmosferskom tlaku točka vrenja vode je na 100 °C. Smanjivanjem tlaka snižava se i temperatura vrenja vode. U tablici 2 prikazane su promjene u temperaturi vrenja vode ovisno promjeni atmosferskog tlaka.

Tablica 2. Promjene u temperaturi vrenja vode ovisno promjeni atmosferskog tlaka

TLAK, mm Hg	TEMPERATURA, °C
760	100
637	95
92,5	50
23,8	25
4,6	0
0,5	25

Promjene svojstava vode posljedica su njenog kemijskog sastava. Po sastavu voda predstavlja spoj vodika i kisika (slika 3).



Slika 3. Spajanje vodika i kisika u molekulu vode

S lijeve i desne strane atoma kisika smješten je po jedan atom vodika pod kutom od 105 °. Ovako građena molekula vode je asimetrična. Osim toga, molekula vode se smatra bipolarnom zbog toga što je pozitivno naelektrizirana na strani vodika te negativno naelektrizirana na strani kisika. Molekule vode međusobno se spajaju na taj način da vodik jedne molekule vode privlači kisik druge molekule vode. Povezivanje je vodikovom vezom. Posljedica vezanja vodikovom vezom je ta što molekule vode ne mogu lako napustiti površinu vode. Privlačne sile su znatno veće nego kod drugih sličnih kemijskih spojeva. Zbog ove činjenice vodena para je dobar medij za prijenos energije (ima veliku količinu energije) u industrijskim pogonima.

### 3. VODA KAO SASTAVNICA EKO SUSTAVA

Oko 75 % zemlje pokriveno je vodnim ekosustavima, što je vrlo važno za ljudski i životinjski svijet. Svaki ekosustav sastoji se od biotopa (životno stanište) i biocenoze (životne zajednice). Za normalno funkcioniranje ekosustava važno je nekoliko čimbenika: temperatura, svjetlo, atmosferski plinovi, anorganske soli te prvenstveno voda i vlaga. Voda i vlaga međusobno povezuju sve dijelove ekosustava jer tvari potrebne za život u organizmu mogu kružiti samo otopljene. Biljke i životinje površinskog sloja mora lebde u moru, pa ih valovi i morske struje raznose. To su planktonski organizmi. Manji dio pučinskih životinja može aktivno plivati vlastitom snagom organa za kretanje. To su plivajuće ili nektonske životinje. Na morskom dnu žive brojne nektonske životne zajednice. Ako se vrste pokreću vlastitom snagom radi se o vagilnim organizmima, a ako su vrste pričvršćene za podlogu radi se o sesilnim vrstama. Na slici 4 prikazana je podjela vodenog ekosustava.



Slika 4. Podjela vodenog ekosustav

Vodeni sustavi rijeka i jezera koriste se za svakodnevni normalan život stanovništva. Iz tog razloga je kvaliteta vode od presudnog značenja. Stvaranje velikih količina otpadnih voda za ekosustav znači povećavanje hranjivih tvari, prirast organizama, a to može izazvati eutrofnost stanje (razvoj primarnih proizvođača organske tvari uslijed povećanog prihranjivanja). Osim toga za normalno funkcioniranje vodenog ekosustava bitna je i količina kisika. Količina kisika u vodi ovisi o atmosferskom tlaku i solima otopljenima u vodi, temperaturi, ali i mikroorganizmima koji su sastavni dio ekosustava. Mikroorganizmi troše kisik na disanje dok ga neki troše i na razgradnju organskih tvari koje koriste za rast i razmnožavanje.

Kada se u vodeni sustav ispusti određene količine organske tvari, kao što je već rečeno mikroorganizmi ju razgrađuju i pri tome se smanjuje količina kisika u vodenom ekosustavu. Biokemijska potrošnja kisika (BPK) je podatak koji je potrebno redovito mjeriti i kontrolirati jer ukazuje na količinu kisika koja se u određenom vremenu potroši na razgradnju organske tvari pomoću mikroorganizama.



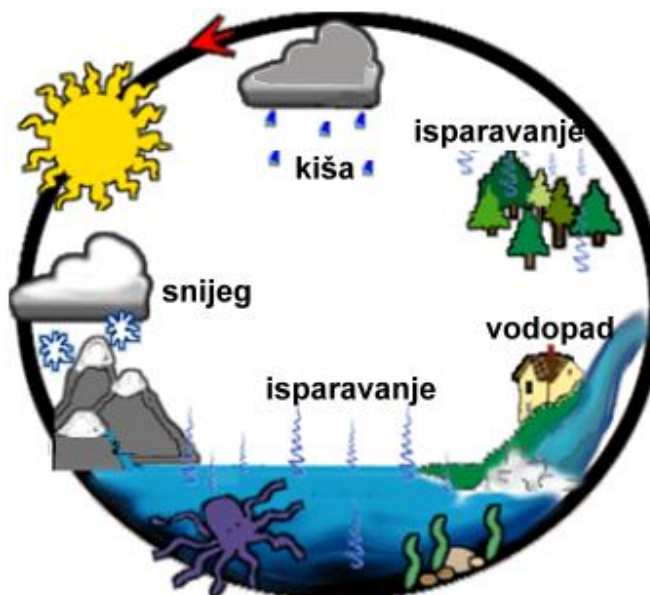
## 4. RAZLIČITI TIPOVI VODA U PRIRODI

U prirodi se voda nalazi kao atmosferska (oborinska), površinska i podzemna. U tablici 3 prikazana je raspodjela vode na zemlji.

Tablica 3. Raspodjela vode na zemlji

LOKACIJA	KOLIČINA $10^3$ , $\text{km}^3$
ATMOSFERSKE VODE	13
POVRŠINSKE VODE	
OCEANI	1 359 400
KOPNO:	26 431,7
rijeke	1,7
slatka jezera	125
slana jezera	105
voda u biomasi	50
ledenjaci, glečeri	26 000
PODZEMNE VODE	7 150

Kruženjem vode u prirodi ona neprestano prelazi iz jedne skupine u drugu. Na slici 5 prikazano je kruženje vode u prirodi.



Slika 5. Kruženje vode u prirodi

## 4.1 Atmosferske vode

Atmosferske vode nastaju od svih vrsta oborina koje padaju na zemlju (kiše, snijega ili drugih oborina). Često se još nazivaju oborinske ili padalinske vode. Ove vode sadrže plinove apsorbirane iz atmosfere, prašinu i malu količinu bakterija. U atmosferskoj vodi ne nalaze se otopljeni minerali.

Atmosferske vode nastaju kada se topli zrak zasićen vodenom parom diže s površine zemlje pri čemu se polako hladi sve dok ne dođe do kondenzacije vodene pare. Kao jezgra za stvaranje kapljica vode u oblacima služe čestice prašine. Porastom kapljica vode, raste i njihova težina te uslijed toga kapljice padaju na zemlju. Agregatno stanje kapljica koje će pasti na zemlju ovisi o temperaturi. Kada se kondenzacija vodene pare odvija pri 0 °C nastaje tuča, a ako je temperatura 0 °C na cijelom putu kapljica kroz atmosferu nastaje snijeg. U slučaju kada se zemlja jače hladi od zraka nastati će rosa, a ako se donji slojevi zraka (oni koji su bliže zemlji) ohlade više od površine zemlje nastati će magla.

Sastav atmosferskih voda ovisi o mjestu padanja budući da ove vode prolaskom kroz atmosferu otapaju plinove i zagađuju se čađom i prašinom iz atmosfere. Zdravstvena ispravnost ovih voda je najčešće takva da se mogu konzumirati za piće (zdravstveno su ispravne), ali su bez okusa jer ne sadrže otopljene minerale.

U krajevima gdje je veća količina padalina ove vode se sakupljaju na posebnim površinama i koriste za različite namjene. Sakupljena atmosferska voda poznata je pod imenom kišnica.

## 4.2 Površinske vode

Površinske vode teku po površini zemlje ili na njoj stoje ovisno da li se govori o vodama tekućicama ili stajaćicama. Ove vrste voda su u obliku potoka, rijeka, jezera i mora.

Površinske vode nastaju iz atmosferskih voda i voda koje se u zemlju sliju s površine. Za razliku od atmosferskih voda okus površinskih voda je znatno bolji jer je ova voda u stalnom kontaktu sa zemljom pri čemu otapa dio mineralnih tvari. Međutim, treba obratiti pozornost na činjenicu da su površinske vode u direktnom i konstantnom dodiru sa zemljom te mogu u većoj ili manjoj mjeri biti zagađene. Zagađenja su uglavnom u obliku fekalija. Posebno svojstvo površinskih voda je samočišćenje, tzv. autopurifikacija. U slučaju da se površinske vode zagade organskim tvarima, u vodi će se razviti velike količine bakterija i drugih vrsta mikroorganizama koje će uz ili bez prisustva zraka provoditi mineralizaciju. Mineralizacija u ovom slučaju predstavlja razgradnju organskih onečišćenja. Ukoliko se postupak odvija u prisustvu kisika obavljati će ga aerobni mikroorganizmi, mineralizacija će se odvijati brzo i bez neugodnog mirisa. Anaerobni proces mineralizacije je relativno spor uz razvijanje neugodnog mirisa.

## 4.3 Podzemne vode

Podzemne vode nalaze se ispod površine zemlje. Nastaju od padalina, vode iz vodenih tokova i kondenzacije vodene pare u zemlji. Mogu se prema načinu kretanja podijeliti na:

- vode temeljnice i
- pukotinske kraške vode.

Vode temeljnice miruju ili se vrlo sporo kreću u sitnozrnatom materijalu. Nalaze se na velikim dubinama u slojevima propusnog materijala, tzv. vodonosnim slojevima. Vodonosni slojevi nalaze se na nepropusnim slojevima koji se obično sastoje od ilovače, gline, lapora ili njihovih smjesa te kamenja (sedimentnog i eruptivnog). Vode, atmosferske ili površinske, s površine zemlje ulaze u vodonosni sloj, kroz njega prolaze i zaustavljaju se na nepropusnom sloju. Vode temeljnice kreću se vrlo sporo kroz vodonosni sloj i na taj način se mehanički i biološki čiste. Vode koje su zagađene organskim onečišćenjima moraju proći proces biološkog pročišćavanja. Ovakvo zagađene vode trebaju dovoljno dugo prolaziti kroz vodonosni sloj kako bi se osiguralo dovoljno vremena za mikrobiološku aktivnost, oksidaciju i mineralizaciju. Vode temeljnice se po tvrdoći znatno razlikuju od atmosferskih i površinskih voda. Tvrde su od spomenutih voda, a tvrdoća im se povećava što su više u kontaktu s materijalom kroz koji su protjecale. Dubina voda temeljnica također igra važnu ulogu u kvaliteti ovih voda. Na većim dubinama ove vode su ujednačenije temperature i s manje bakterija. Ponekad se bez obzira na izuzetna svojstva ove vode ne mogu upotrijebiti za piće zbog toga što sadrže znatne količine željeza koje je potrebno ukloniti. Općenito rečeno, vode temeljnice su u zdravstvenom pogledu najbolje i najpouzdanije za konzumaciju i kad god je to moguće treba ih se koristiti u vodovodnim sustavima.

Postoji nekoliko vrsta voda temeljnica: arteške, mineralne i ljekovite vode.

Arteškim vodama nazivaju se vode koje su u vodonosnom sloju pod tlakom. Ovakve vode nakupljaju se na nepropusnom sloju 60 do 300 metara ispod propusnog sloja. Budući da su arteške vode pod tlakom, bušenjem propusnog sloja izbijaju na površinu. Mineralne vode predstavljaju vode koje sadrže više od 500 mg minerala u litri vode. Osim minerala sadrže i ugljikov (IV) oksid koji ovakvoj vodi daje kiselkast okus. Ljekovite vode sadrže sumpor, jod ili neke druge elemente. Ovakve vode obično imaju temperaturu višu od običnih voda, a temperatura može biti i do 40 °C.

Pukotinske kraške vode ulaze u tlo kroz pukotine u kamenju i dalje teku. Kraške vode teku kroz šupljine i korita i kreću se mnogo brže od voda temeljnica. Brzina kretanja je nekoliko stotina metara pa čak i kilometar na dan. Zbog svog brzog protjecanja nemaju mogućnost biološkog pročišćavanja. Prema svojstvima i kvaliteti površinske kraške vode najsličnije su površinskim vodama. Vrlo često su mutne (ili obojene) i sadrži dosta organskih tvari. Budući da ova voda zbog brzog protjecanja nije imala mogućnost pročišćavanja smatra se neispravnom za piće.

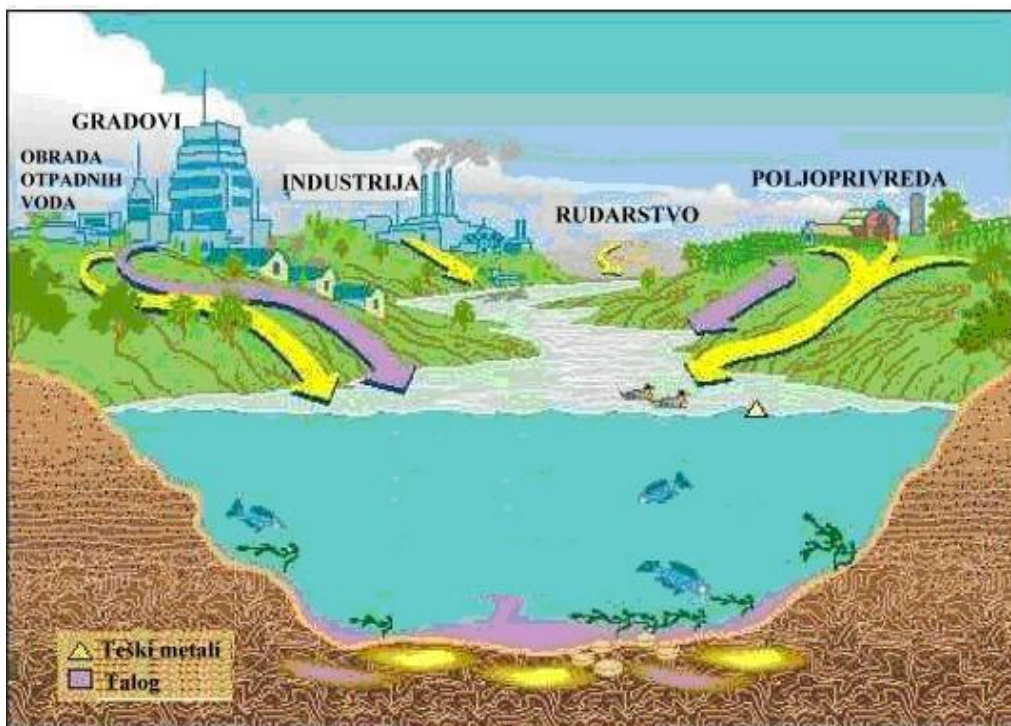
U tablici 4 prikazane su vrste primjesa koje sadrže vode u prirodi.

Tablica 4. Vrste primjesa koje sadrže vode u prirodi

<b>VRSTA VODE</b>	<b>OTOPLJENI PLINovi</b>	<b>OTOPLJENE SOLI</b>	<b>PRODUKTI LOKALNOG ZAGAĐENJA</b>
<b>Atmosferska</b>	N <sub>2</sub> , CO <sub>2</sub> , O <sub>2</sub>	-	SO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> S, NH <sub>3</sub> , HCl, prašina, čađa
<b>Podzemna</b>	CO <sub>2</sub>	Ca(HCO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> , Mg(HCO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> , CaCO <sub>3</sub> , MgCO <sub>3</sub> , CaSO <sub>4</sub> , MgCl <sub>2</sub> , CaCl <sub>2</sub> , NaCl, Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , SiO <sub>2</sub> itd.	-
<b>Površinska</b>	CO <sub>2</sub> , O <sub>2</sub>	Ca(HCO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> , Mg(HCO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> , CaCO <sub>3</sub> , MgCO <sub>3</sub> , CaSO <sub>4</sub> , MgCl <sub>2</sub> , CaCl <sub>2</sub> , NaCl, Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , SiO <sub>2</sub> itd.	Organske i anorganske tvari

## 5. MJERE ZAŠTITE VODA

Kretanjem u prirodi površinske i podzemne vode su u kontaktu s mineralima koji mogu sadržavati teške metale i radioaktivne izotope. Spomenute tvari zagađuju vodu. Zagađenje radioaktivnim izotopima nije često, a intenzitet zagađenja nije velik. Jača zagađenja podzemnih i površinskih voda nastaju umjetnim putem prilikom istjecanja voda iz znanstveno istraživačkih ustanova koje u svom radu koriste radioaktivne izotope kao i iz zdravstvenih ustanova i industrije (slika 6). Osim toga, zagađenje radioaktivnim izotopima moguće je prilikom kvara na uređajima s radioaktivnim izotopima ili uređajima za dekontaminaciju voda. Ovakva vrsta zagađenja je kratkotrajna.



Slika 6. Mogućnost zagađenja podzemnih voda

Zagađenju površinskih i podzemnih voda potrebno je posvetiti veliku pažnju zbog mogućnosti ugrožavanja izvora pitkih voda. To je razlog zbog kojeg je potrebna stalna primjena svih mjera zaštite od zagađenja radioaktivnim izotopima. Osim toga obavezna je stalna kontrola radioaktivnosti svih voda sa slivnog područja izvora za opskrbu pitkom vodom pa čak i samih pitkih voda.

Zagađenje voda teškim metalima događa se iz sličnih razloga kao i zagađenje radioaktivnim izotopima. Ovo zagađenje je puno češće jer je veća mogućnost da minerali koji su u kontaktu sa površinskim i podzemnim vodama sadrže teške metale. Osim toga, sve više industrijskih otpadnih voda sadržava teške metale.

Postupak pročišćavanja voda zagađenih radioaktivnim izotopima i teškim metalima prilično je složen. Koncentracije ovih elemenata u zagađenim vodama vrlo su male, a neki radioaktivni elementi vrlo teško se detektiraju. To su i najčešći razlozi zbog kojeg je uklanjanje spomenutih elemenata zahtjevan proces.

U slučaju kada je voda zagađena radioaktivnim izotopima koji imaju kratko vrijeme poluraspada pročišćavanje je relativno lako. Dovoljno je zagađenu vodu ostaviti da odstoji određeno vrijeme. Nakon isteka vremena poluraspada moguće je vodu ponovno koristiti. Međutim, kod stabilnih izotopa potrebno je primijeniti adekvatan način pročišćavanja voda. Pri tome treba odabrati postupak koji će biti efikasan za uklanjanje pojedinih radioaktivnih izotopa budući da samo neki postupci mogu određene izotope u potpunosti ukloniti.

Najčešće korištene metode za uklanjanje radioaktivnih izotopa i teških metala su: taloženje, koagulacija, filtracija, omekšavanje, adsorpcija, ionska izmjena i destilacija.

Taloženje je postupak koji se može koristiti samo za radioaktivne izotope koji imaju kratko vrijeme poluraspada ili su u vodi u lebdećem obliku.

U slučaju kada se taloženje kombinira s koagulacijom dobiju se puno bolji rezultati pročišćavanja. U ovom procesu vodi sa suspendiranim radioaktivnim izotopima dodaju se koagulant pri čemu se stvaraju pahuljice koje se lako talože. U slučaju kad su radioaktivni izotopi u otopljenom stanju, izdvajanje radioaktivnih izotopa je znatno sporije i ovisi o kemijskim svojstvima i koncentraciji izotopa, ali i o vrsti i količini koagulanata. Kao koagulant najčešće se koriste aluminijev sulfat u kombinaciji s kalcijevim karbonatom i željezov(III)klorid s kalcijevim karbonatom.

Filtracija se najčešće odvija kroz pijesak. Postupak je vrlo efikasan posebno ako se koriste pahuljice koje su apsorbirale radioaktivne izotope.

Upotrebom kemikalija za mekšanje vode također je moguće ukloniti radioaktivne izotope.

Tvari koje imaju veliku specifičnu površinu poput ugljena, gline i praha nekih metala (željeza, bakra, aluminijska itd.) imaju dobra adsorpcijska svojstva te se mogu vrlo efikasno koristiti za uklanjanje radioaktivnih izotopa, ali i teških metala postupkom adsorpcije.

Ionska izmjena je također jedan od postupaka kojim se vrlo uspješno uklanjaju i radioaktivni izotopi i teški metali iz zagađenih voda. Budući da kationski ionski izmjenjivači dobro uklanjaju jednu vrstu radioaktivnih izotopa, a anionski drugu vrstu u novije vrijeme prakticira se upotreba kombiniranih ionskih izmjenjivača. Na ovaj način može se ukloniti gotovo 99 % radioaktivnih izotopa.

Unatoč visokom postotku uklanjanja upotrebom ionskih izmjenjivača, danas je ipak najefikasniji postupak destilacija. Nedostatak ove metode je neophodno uklanjanje taloga iz isparivača i sa stjenki uređaja za destilaciju.

Upotrebom bilo kojeg od navedenih postupaka pročišćavanja vode zagađene bilo teškim metalima ali i radioaktivnim izotopima dolazi do nastanka mulja koji je radioaktivan, a samim time i opasan otpad. Posebnu pažnju treba posvetiti načinima zbrinjavanja ovog otpada kako bi se spriječilo ponovno zagađenje voda.

## 6. METODE OBRADE PITKIH VODA

Pitkim vodama smatraju se vode bez okusa i mirisa, pH vrijednosti od 6,5 do 8,5, sa 0,5 mgN/L za amonijak, 50mg N/L za nitrata, 0,1 mg N/L za nitrite i 250 mg/L klorida. Pitke vode u svom sastavu smiju sadržavati 20 živih bakterija po mL vode, izraslih na kompletnoj podlozi pri 37 °C, i 100 bakterija po mL izraslih na 22°C, ali te bakterije nikako ne smiju biti patogene, te mikroorganizmi koji indiciraju fekalno onečišćenje.

Pitke vode mogu se podijeliti na:

- vodu za piće iz javnih vodoopskrbnih sustava,
- prirodnu mineralnu vodu,
- izvorsku vodu,
- stolnu vodu i
- soda-vodu.

Na slici 7. prikazano je porijeklo pitkih voda.



Slika 7. Porijeklo pitkih voda

Podzemne i površinske vode najčešće se koriste kao vode za piće iz javnih vodoopskrbnih sustava. Budući da ove vode prolaze ili su u direktnom doticaju sa zemljom njihova fizikalno-kemijska svojstva su često promjenjiva i ovise o vanjskim čimbenicima (temperatura, količina oborina...). Ovo se naročito odnosi na površinske vode i podzemne vode kraških područja. Povišena količina štetnih primjesa (saprofitna i patogena mikroflora) uklanja se iz podzemnih i površinskih voda i na taj način spomenute vode postaju pogodne za upotrebu kao vode za piće iz javnih vododopskrbnih sustava. Uklanjanje štetnih primjesa provodi se dezinfekcijom, najčešće kemijskim preparatima (npr. klor i klorni preparati).

Voda koja potječe iz prirodnih ležišta koja su zaštićena od onečišćenja naziva se prirodnom mineralnom vodom. Ova vrsta vode dobiva se iz jednog ili više prirodnih ili bušenih izvora. Prirodna mineralna voda je bakteriološki ispravna s posebnim organoleptičkim i fizikalno-kemijskim svojstvima. Sadrži prirodno otopljene mineralne tvari i tvari u tragovima. Zbog svog sastava, prehrambeno-fiziološkim učincima i prirodnom čistoćom ima blagotvoran učinak na ljudski organizam. Prirodna mineralna voda ne smije se prerađivati niti dezinficirati. Dozvoljeno je samo uklanjanje željeza aeracijom i taloženjem. Na tržište dolazi u bocama i može biti obogaćena jedino s CO<sub>2</sub>.

Izvorska voda može biti priznata kao izvorska tek kada su provedena hidrogeološka, fizikalna, kemijska i mikrobiološka ispitivanja. Ova vrsta vode potječe iz podzemnih ležišta zaštićenih od bilo kojeg oblika onečišćenja. Sastav i temperature izvorske vode moraju biti konstantni i u skladu s prirodnim promjenama. Prerada izvorske vode kemijskim sredstvima kao i dezinfekcija kod izvorskih voda nisu dopuštene. U slučaju kada se izvorska voda radi dopreme na tržište puni u boce dozvoljeno je uklanjanje željeza i sumpornih spojeva dekantiranjem ili filtracijom uz prethodnu oksidaciju.

Od vode za piće iz javnih vodoopskrbnih sustava moguće je proizvesti stolnu vodu. Postupak proizvodnje sastoji se od reverzne osmoze uz naknadni dodatak dozvoljenih tvari. Dozvoljene tvari poboljšavaju organoleptička svojstva vode. Dozvoljeno je dodavanje deset tvari i to: natrijev klorid, kalcijev klorid, natrijev karbonat, kalcijev karbonat, natrijev hidrogenkarbonat, magnezijev karbonat, natrijev sulfat, magnezijev sulfat, natrijev fluorid i ugljikov dioksid. Budući da se stolna voda proizvodi od vode za piće iz javnih vodoopskrbnih sustava zdravstveno je ispravna.

Soda-voda je voda proizvedena impregnacijom vode za piće iz javnih vodoopskrbnih sustava ugljikovim dioksidom te napunjena u specijalne boce.

Pitka voda, ukoliko nije mikrobiološki ispravna, može biti izvor različitih infektivnih bolesti. Ponekad su moguće epidemije izazvane vodom zbog izostanka obrade ili nepravilne obrade sirove vode. Vodom se mogu prenositi dizenterija, trbušni tifus, paratifus, kolera i sl. Vodom se mogu također prenositi stočne zarazne bolesti i jajašca parazita od kojih pored životinja obolijevaju i ljudi. Uklanjanje uzročnika zaraznih bolesti postiže se tzv. pripremom vode za piće.

Najčešće metode koje se koriste za pripremu voda su:

- dezinfekcija,
- filtracija,
- koagulacija i flokulacija i
- uklanjanje željeza i mangana.

## 6.1 Dezinfekcija vode

Dezinfekcija (raskuživanje) vode provodi se radi smanjivanja broja mikroorganizama koji bi mogli izazvati bolesti. To je proces koji osigurava zdravstvenu ispravnost vode. Dezinfekcija se ponekad provodi i kao preventivna mjera u slučaju kada se voda transportira ili skladišti, pri puštanju u rad novih objekata, po završetku popravaka vodovodnih mreža i objekata, te za vrijeme posebnih okolnosti (rat, poplave, potresi).

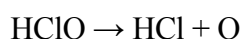
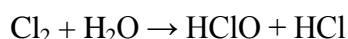
Dezinfekcija se može provesti samo u bistroj vodi. Vrlo malo zamućenje ometa proces dezinfekcije što rezultira neuspješnosti odvijanja ovog procesa. Metode dezinfekcije mogu biti fizikalne i kemijske. U novije vrijeme sve češće se koristi kombinacija fizikalnih i kemijskih metoda.

Prema mehanizmu djelovanja metode dezinfekcije vode mogu se podijeliti na:

- metode s fizikalnim djelovanjem (toplina),
- metode s kemijskim sredstvima (klor, brom, ozon),
- metode zračenjem (UV-zračenje, radioaktivni izotopi),
- metode membranskom tehnologijom.

Metode s fizikalnim djelovanjem najčešće podrazumijevaju primjenu topline. Da bi ova metoda dezinfekcije bila uspješna dovoljno je vrenje vode najmanje 20 minuta. Ovaj način, osim što je najjednostavniji smatra se i najučinkovitijim. Nažalost, danas se koristi vrlo rijetko i to za male količine vode budući da je visoka cijena energije potrebne za zagrijavanje.

Metode dezinfekcije kemijskim sredstvima najčešće podrazumijevaju upotrebu elementnog klora i njegovih spojeva (klorov dioksid, kalcijev i natrijev hipoklorit, kalcijev klorid, kolamini i sl.). Ovo je danas najrašireniji i gospodarski najprihvatljiviji proces dezinfekcije vode. Dodatkom klora u vodu odvijaju se sljedeće kemijske reakcije:



Nastala hipokloritna kiselina je oksidacijsko sredstvo. Dezinfekcijska moć pripisuje se ili hipokloritnoj kiselini ili slobodnom radikalu kisika koji se stvara kao rezultat velikog afiniteta klora prema vodiku. Proces dezinfekcije klorom ovisi o pH vrijednosti. Pri nižim pH vrijednostima dezinfekcija je učinkovitija. Uzrok tome je disocijacija hipokloritne kiseline pri višim pH vrijednostima pri kojima dolazi do stvaranja hipokloritnog iona ( $\text{ClO}^-$ ) koji je mnogo slabije dezinfekcijsko sredstvo od hipokloritne kiseline.

Prilikom dodavanja klora i njegovih spojeva vodi, dio klora se troši na oksidaciju organskih tvari prisutnih u vodi, uključujući i mikroorganizme, kao i na oksidaciju željeza i mangana prisutnih u vodi. Svaka „sirova“ voda sadrži organske tvari koje pri oksidaciji troše određenu količinu klora. Dezinfekcijska sposobnost spojeva na bazi klora ovisi o količini aktivnog klora u njima. Pod pojmom aktivni klor podrazumijeva se količina hipokloritne kiseline koja se oslobađa dodatkom dezinfekcijskog sredstva u vodu. Doza klora koju je potrebno dodati vodi da bi se izvršili postupci dezinfekcije predstavlja zbroj potrebe vode za klorom i rezidualnog klora. Doza klora se izražava u mg/L klora kojeg je potrebno dodati vodi.



doza klora = potreba za klorom + rezidualni klor

Pod pojmom potreba vode za klorom podrazumijeva se količina klora (mg/L), kojeg je potrebno dodati vodi do pojave rezidualnog klora. Rezidualni klor predstavlja koncentraciju klora koja je zaostala u vodi kao višak nakon reakcija klora s tvarima koje se mogu oksidirati u vodi, tj. nakon završenog procesa dezinfekcije vode. Zakonski dozvoljena koncentracija rezidualnog klora u vodi kreće se do 0,5 mg/L kod normalnih uvjeta, a 0,5-0,8 mg/L u posebnim uvjetima. Smatra se da je 30 minuta dovoljno vrijeme za dezinfekciju vode. Nakon 30 minuta potrebno je odrediti koncentraciju rezidualnog klora u vodi. Ako se nakon vremena od 30 minuta u vodi ne nalazi minimalno 0,1 mg/L, proces dezinfekcije nije dobro proveden te je potrebno postupak ponoviti. Ponavljanje se obavlja tako dugo dok se nakon isteka vremena od 30 minuta po dodatku klora ne utvrdi minimalno 0,1 mg/L rezidualnog klora.

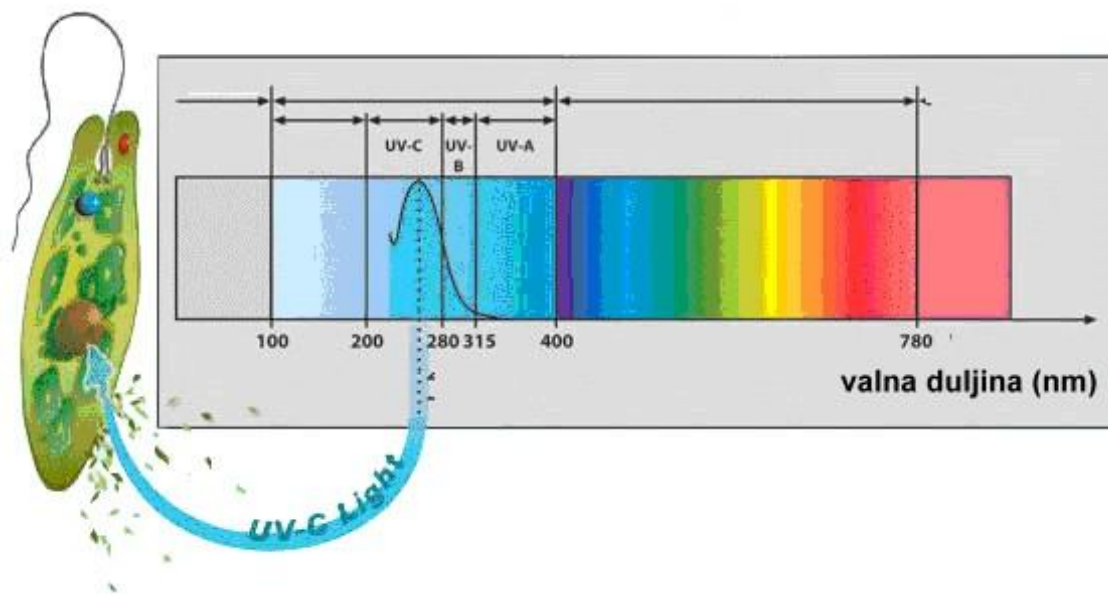
Iako je dezinfekcija klorom danas najrašireniji proces pripreme vode za piće ovaj proces ima i nekoliko nedostataka. Najčešće su to relativno brzi gubitak slobodnog klora, neugodan miris po kloru i mogućnost nastajanja nepoželjnih spojeva prilikom dezinfekcije (trihalometani, klorfenoli itd.).

Ozon je jako oksidacijsko i dezinfekcijsko sredstvo i predstavlja najbolje kemijsko sredstvo za dezinfekciju vode. Raspadanjem ozona oslobađa se atom kisika koji djeluje na mikroorganizme i organske tvari. Kod dezinfekcije ozonom (ozonizacija) važnu ulogu ima temperatura. Proces ionizacije je učinkovitiji kod što niže temperature. Prednosti ozonizacije su višestruke, poput mogućnosti potpune dezinfekcije vode, dolazi do inaktivacije virusa, razgradnje i oksidacije organskih tvari prisutnih u vodi, uklanja se mangan i željezo taloženjem iz vode, poboljšava se okus i miris vode, uklanja se boja vode, uklanjaju se fenoli i klorfenoli iz vode, kao i svi spojevi koji se mogu oksidirati ozonom (npr. nitriti), ne mijenja se mineralni sastav vode niti se ne stvaraju trihalometani.

I kod procesa ozonizacije bitna je rezidualna doza koja bi trebala iznositi 0,4 mg ozona/L najmanje 4-5 minuta. Ova vrijednost upućuje na dobro proveden postupak dezinfekcije ozonom.

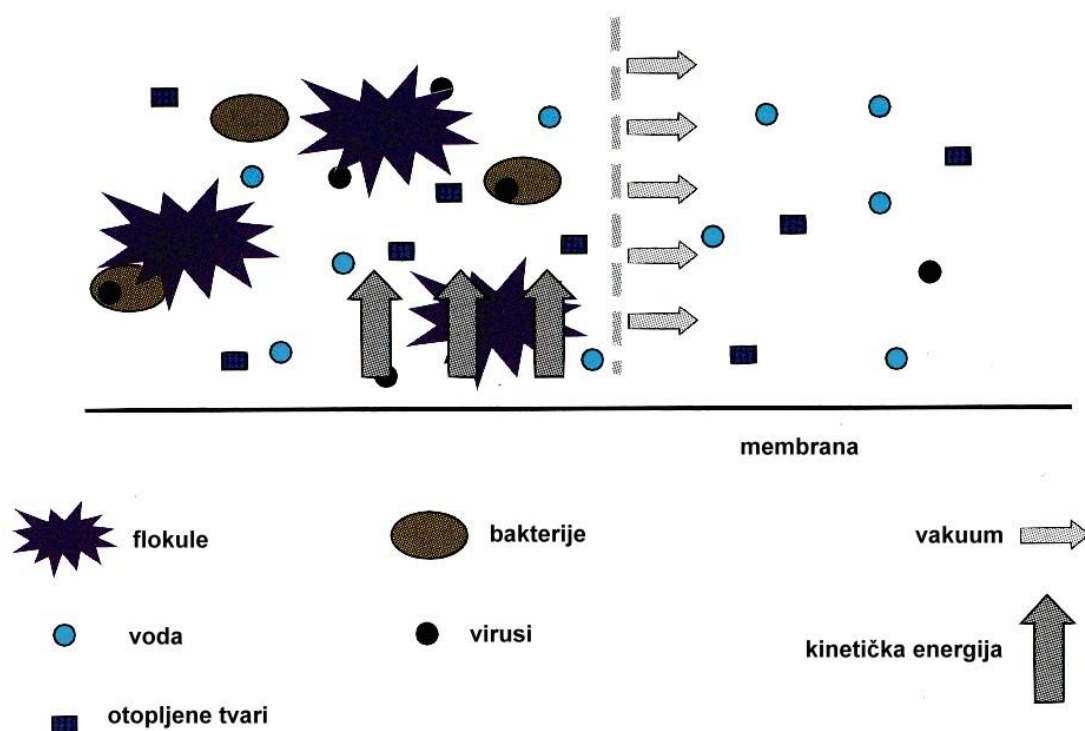
Dezinficiranje vode može se provesti i ozračivanjem vode ultraljubičastim (UV) zrakama. Ovim načinom voda se dezinficira u roku od svega nekoliko sekundi jer UV zrake izazivaju nepoželjne biokemijske procese u mikroorganizmima, a u konačnici i njihovu smrt. Za UV zračenje koriste se kvarcne tzv. Ortutove lampe. Lampe se postavljaju u struju vode ili izvan nje. Pri dezinfekciji vode UV zračenjem najčešće se koriste zračenja sljedećih valnih duljina: UV-A: 320-400 nm, UV-B: 280-320 nm i UV-C: 100-280 nm. Zrake valne duljine 200-295 nm imaju najjače baktericidno djelovanje s maksimumom djelotvornosti oko 260 nm, zračenje bi se trebalo provoditi u UV-C spektru (slika 8). UV-C zračenje ne ubija samo bakterije, već i sporogene oblike i patogene protozoe.

Ovom metodom dezinfekcije u vodu se ne dodaju kemikalije, ne mijenjaju se svojstva vode i njen kemijski sastav, mala je potrošnja energije, kratko vrijeme dezinfekcije (20-30 s) i jednostavno je rukovanje. Međutim, ne postoje pouzdani pokazatelji za kontrolu učinka dezinfekcije te nemogućnost održavanja koncentracije reziduala sredstva za dezinfekciju vode u svrhu sprečavanja naknadne kontaminacije vode. Iz tog se razloga metoda kombinira s dodatkom potrebne koncentracije rezidualnog sredstva za dezinfekciju, tj. dodatkom potrebnog reziduala klora.



Slika 8. Prikaz spektra zračenja koji se koristi za dezinfekciju vode

Prilikom dezinfekcije vode membranskim procesima koriste se membrane koje djeluju kao selektivne zapreke (slika 9). Dezinfekcija se temelji na razlici u koncentraciji, tlaku ili električnoj napetosti. Najčešće se koristi ultrafiltracija, postupak pri kojem se voda propušta preko membrane promjera otvora 2 do 104 nm. Na ovaj način moguće je ukloniti bakterije, viruse, ali i proteine i pigmente.



Slika 9. Shema djelovanja membrane

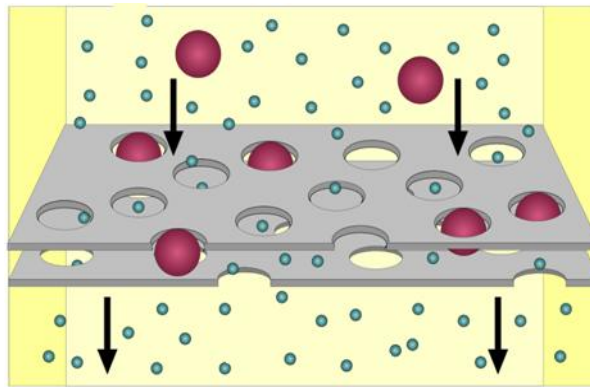
## 6.2 Filtracija vode

Filtracija je jedan od najvažnijih postupaka u tehnologiji pripreme vode. Filtracijom vode uklanjanju se primjese čija se specifična težina malo razlikuje od specifične težine vode prolazom kroz neki porozan ili zrnati materijal. Najčešće se kao sredstvo za filtraciju koristi kvarcni (silikatni) pijesak.

Ovim načinom pripreme vode za piće uklanjaju se čvrste netopljive tvari koje, ovisno o gustoći, plivaju, lebde ili tonu u vodi, a anorganskog su ili organskog podrijetla, flokule nastale procesom flokulacije vode, talozi nastali mekšanjem vode kemijskim taložnim sredstvima i talozi hidroksida, nastali kod uklanjanja željeza i mangana iz vode.

Prilikom filtracije vode na filterima može doći do mehaničkog uklanjanja suspendiranih čestica, taloženja, adsorpcije, ali i kemijskog i biološkog djelovanja filtra.

Mehaničko uklanjanje podrazumijeva zadržavanje čestica na površini filtra i to samo onih čestica koje su veće od pora filtra. Na slici 10 prikazana je postupak mehaničke filtracije.



Slika 10. Postupak mehaničke filtracije

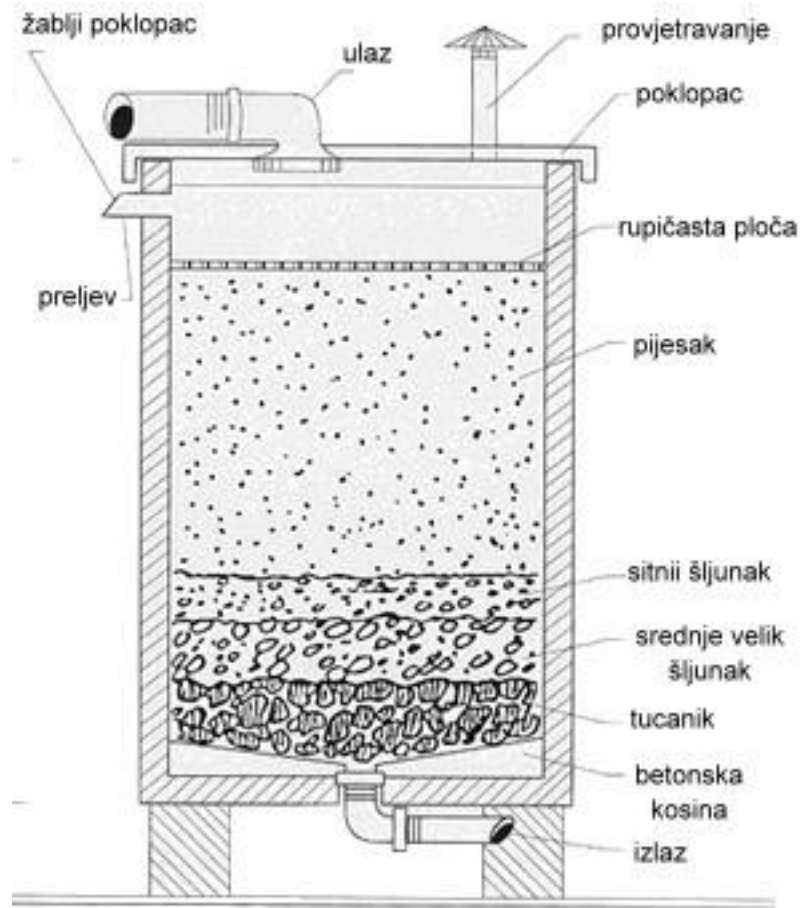
Taložno djelovanje filtra je fizikalni proces taloženja čestica iz vode po filtracijskom materijalu. Taložno djelovanje ovisi o brzini filtracije i visini filtracijskog sloja. Pri adsorpcijskim procesima dolazi do djelovanja površinskih sila. Adsorpcija ovisi o fizikalnim svojstvima čvrstih čestica u stanju suspenzije, ali i o materijalu filtera, odnosno veličini zrna zrnatih materijala.

Kemijsko djelovanje filtra događa se kod kemijski aktivnih filtracijskih masa, kao što su npr. mramor i polupečeni dolomit, koji se upotrebljavaju kod uklanjanja karbonatne kiseline iz vode. Ova se filtracija primjenjuje obično u vodovodnim sustavima za mekane vode koje pokazuju svojstvo korozivnosti radi zaštite cjevovoda od korozije i kod dobivanja vode za piće na brodovima gdje se filtriranjem demineralizirane vode preko mramora vrši remineralizacija vode.

Biološko djelovanje filtra odvija se zadržavanjem mikroorganizama na filtracijskom materijalu.

Proces filtracije odvija se na brzim ili sporim filtrima.

Spori tip filtra radi na principu pročišćavanja vode kao što se to odvija u prirodi pri čemu podzemna voda prolazi kroz slojeve zemlje. Ova vrsta filtra koristi se za pročišćavanje površinskih voda koje sadrže visoku koncentraciju organskih tvari. Budući da se postupak filtracije odvija samo uz djelovanje hidrostatskog tlaka, filtracija je relativno spora. Spora filtracija potrebna je ponajprije zbog razvoja i održavanja kulture mikroorganizama na gornjim slojevima pijeska i zbog vremena potrebnog da mikroorganizmi razgrade organsku tvar iz vode. Na slici 11 prikazan je presjek sporog filtera.



Slika 11. Presjek sporog filtera

Brzi filtri mogu biti otvorenog ili zatvorenog tipa. Zajednička im je svojstvo da se mogu protustrujno prati i da u tu svrhu imaju ugrađene sapnice. Otvoreni brzi filtri napravljeni su od armiranog betona i obično su sastavni dio vodovoda ili industrijskih postrojenja. Zatvoreni brzi filtri napravljeni su iz čelika, cilindričnog oblika, a mogu biti stojeći i rjeđe ležeći. Stojeći tlačni filtri se danas najčešće primjenjuju u pogonima kod pripreme napojne i tehnološke vode.

Tijekom filtracije, sirova ili omekšana voda protječe kroz filter smjerom odozgo prema dolje. Kada otpor u filteru naraste na 0,5-0,6 bara ili kad je filter mutan, pristupa se protustrujnom pranju filtera, tj. smjerom protjecanja vode za pranje odozdo prema gore.

## 6.3 Koagulacija i flokulacija

Procesima koagulacije i flokulacije iz vode se izdvajaju suspendirane, kada je brzina njihovog prirodnog taloženja previše mala da bi se osiguralo efikasno razbistravanje. Vrlo često se pojmovi koagulacije i flokulacije miješaju. Budući da u vodi postoje suspendirane čestice (glina, teški metali, organske čestice, uginuli mikroorganizmi i sl.) koje zajedno s vodom čine nestabilnu koloidnu suspenziju, suspenziju je potrebno destabilizirati. Da bi se destabilizirala koloidna suspenzija treba prvo smanjiti elektrostatsko odbijanje između čestica odnosno neutralizirati naboje na površini čestice. Taj proces naziva se koagulacija (zgušnjavanje) i postiže se dodatkom viševalentnih kationa koji vezanjem na koloidne čestice smanjuju zeta potencijal (tablica 5). Proces koagulacije treba izvesti što brže, uz snažno miješanje, da bi se dodani viševalentni kationi ravnomjerno raspršili u suspenziji prije početka stvaranja taloga hidroksida u procesu flokulacije.

Tablica 5. Kemijska sredstva koji se dodaju u koagulacijskom procesu

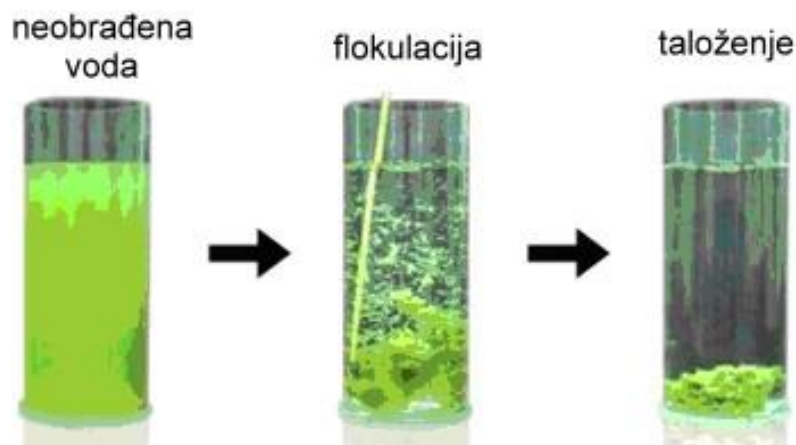
KEMIJSKO SREDSTVO	KEMIJSKA FORMULA	MOLEKULSKA MASA g/mol
Aluminijev sulfat	$\text{Al}_2(\text{SO}_4) \cdot 18\text{H}_2\text{O}$	666,7
Željezov(II)sulfat	$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	778,0
Kalcij hidroksid (gašeno vapno)	$\text{Ca}(\text{OH})_2$	56,0
Željezov(III)klorid	$\text{FeCl}_3$	162,1
Željezov(III)sulfat	$\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$	400,0

Osim viševalentnih kationa, proces koagulacije može se provesti i uz dodatak organskih polimera koji u vodi disociraju i tvore različite makroione.

Pri procesu koagulacije s organskim polimerima može doći do sljedećih interakcija:

- destabilizacije koloida uslijed vezanja makromolekula i koloidnih čestica,
- spajanja destabiliziranih čestica (koagulacija),
- vezanja polimernih lanaca destabiliziranih čestica (ponovna stabilizacija),
- rastavljanja već koaguliranih čestica.

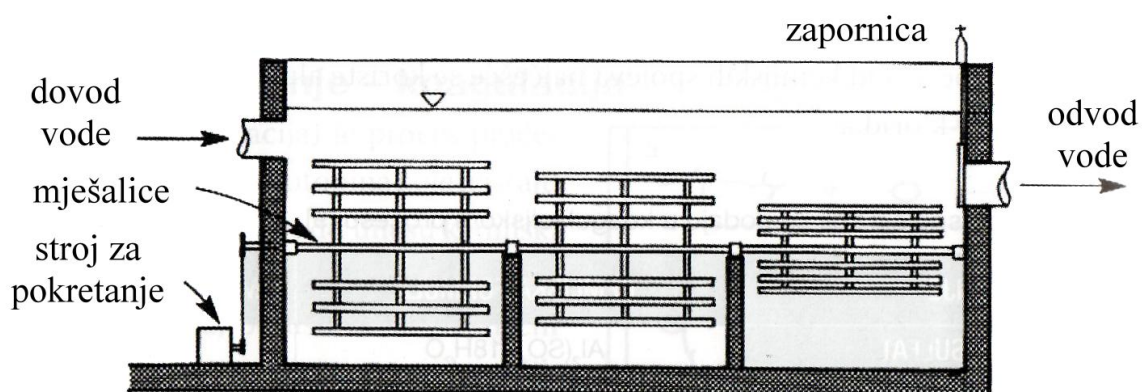
Pod pojmom flokulacija (pahuljičenje) podrazumijeva se povezivanje neutraliziranih koloidnih čestica u veće nakupine koje se nazivaju flokule. Flokulacija se također odvija uz dodatak kemijskih sredstava koja potpomažu flokulaciju. To su najčešće razne vrste kvarca (silikati), bentonit (glina), aktivni ugljen ili umjetni flokulanti. Postoje i mnogi prirodni makromolekulni flokulanti uglavnom proteinskog karaktera, kao što su: želatina, albumin, tutkalo, ekstrakt kaktusa, ekstrakt morskih algi, tvari lanenog sjemena. Na slici 12 prikazan je izgled vode prije i nakon postupka flokulacije.



Slika 12. Izgled vode prije i nakon postupka flokulacije

Izbor optimalne vrste i količine sredstava za flokulaciju vrlo je zahtjevan i ovisi o vrsti vode. Pravilan odabir moguć je samo na osnovu eksperimentalnih (laboratorijskih) podataka. Vrijeme potrebno za flokulaciju vode ovisi o kvaliteti vode, sadržaju koloidnih čestica, temperaturi, pH vrijednosti i količini dodanog sredstva za flokulaciju. Međutim, općenito se može reći da se vrijeme potrebno za koagulaciju mjeri u sekundama, a za flokulaciju u minutama.

Flokulacijski proces odvija se u reaktorima koji se sastoje od primarne i sekundarne reakcijske zone. U primarnoj zoni se vrši intenzivno miješanje, dok u sekundarnoj reakcijskoj zoni dolazi do stvaranja makro-flokula i njihovog taloženja, tj. odvajanja čiste vode na izlazu iz reaktora. Na slici 13 prikazana je shema reaktora za flokulaciju.



Slika 13. Shema reaktora za flokulaciju

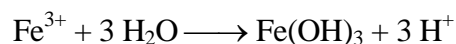
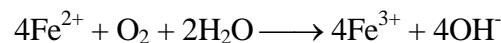
## 6.4 Uklanjanje željeza i mangana

Priprema vode za piće pri kojoj se uklanja željezo i mangan naziva se deferizacija i demanganizacija. Prolaskom vode siromašne otopljenim kisikom kroz slojeve tla otapaju se mangan i željezo. Koncentracije željeza i mangana u vodi koje su veće od 0,3 mg/L za željezo, odnosno 0,5 mg/L za mangan mijenjaju organoleptička svojstva vode za piće te ih je nužno ukloniti.

Koji će se postupak deferizacije primijeniti, ovisi o količini i obliku, u kojem je željezo u vodi prisutno. Najčešće je željezo u podzemnim vodama prisutno u dvovalentnom obliku i to kao željezov hidrogenkarbonat, a rjeđe kao željezov sulfat. Također, željezo može biti vezano u koloidnoj formi na organske spojeve (npr. kao željezni humat) što je i njegov najčešći oblik u površinskim vodama ili u močvarama.

Željezo vezano u koloidnoj formi uklanja se oksidacijom, s jakim oksidacijskim sredstvima poput ozona i vodikovog peroksida. Željezo koje je u vodi prisutno u obliku karbonata ili sulfata uklanja se oksidacijom sa zrakom (aeracija). Ovaj postupak se odvija u dvije faze: oksidacija  $\text{Fe}^{2+}$  u  $\text{Fe}^{3+}$  i odvajanje filtracijom flokula željeznog oksihidrata.

Aeracija podrazumijeva raspršivanje vode u sitne kapljice kako bi se povećao dodir sa zrakom. Pri tome se željezo u reakciji s kisikom oksidira i s vodom stvara hidroksid koji koagulira u pahuljice i lako taloži iz vode. Ovaj kemijski proces može se prikazati preko sljedećih kemijskih reakcija:



Na slici 14 prikazan je spremnik za aeraciju i taloženje željeza.

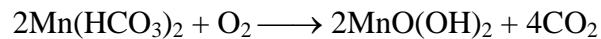


Slika 14. Spremnik za aeraciju i taloženje željeza

Ovako istaložen željezo hidroksid uklanja se filtracijom kroz filter od tučenca, šljunka i koksa.

Brzina oksidacije ovisi o koncentraciji dvovalentnih željeznih iona i kisika, kao i o pH vrijednosti vode.

Zajedničko odvajanje željeza i mangana nije uvijek moguće, iako su ovi elementi sličnih kemijskih svojstava. Mangan je najčešće prisutan kao  $\text{Mn}(\text{HCO}_3)_2$ , a rjeđe kao sulfat ili humat. I mangan se uklanja oksidacijom kisikom iz zraka prema reakciji:



Da bi uklanjanje mangana iz vode bilo učinkovito pH vrijednost mora biti iznad 9. Dodatak natrijevog hidroksida ili kalcijevog oksida (vapna) postiže se tražena pH vrijednost. Pri uklanjanju mangana,  $\text{MnO}_2$  djeluje katalitički na stvaranje taloga te ga treba istaložiti po pješčanom filtru. U tu svrhu može poslužiti otopina  $\text{KMnO}_4$  koja će pri kontaktu s pijeskom i zrakom istaložiti sloj  $\text{MnO}_2$  po zrnima pijeska.

Osim kemijske oksidacije zrakom, moguće je provesti i biološku oksidaciju željeza i mangana. Biološka oksidacija je naročito pogodna pri uklanjanju mangana jer je kemijska oksidacija kisikom spora ili zahtijeva povećanje pH vrijednosti. Biološka oksidacija se provodi pomoću mikroorganizama (uglavnom iz skupine *Siderocapsa*) koji oksidiraju i željezo i mangan. Mikroorganizmi djeluju u posebnom pješčanom filtru.

## 6.5 Uklanjanje organskih tvari

Uslijed prirodnog raspadanja ili djelovanja čovjeka vode mogu sadržavati određene količine organskih tvari. Većina organskih tvari u površinskim vodama potječe od mikrobne razgradnje biljnog materijala.

Organske tvari nisu poželjne u vodi zbog negativnog utjecaja na boju, miris i okus vode, mogu izazvati biološko kvalitativne promjene u sustavima za opskrbu vodom, mogu smetati pri procesima obrade, smetaju pri uklanjanju željeza i mangana iz vode, prekursori su nastajanja halogeniranih organskih spojeva prilikom procesa dezinfekcije vode, te mogu biti toksične ili kancerogene.

Sve do nedavno se smatralo da organske tvari u vodi utječu samo na boju, okus i miris vode, međutim ta svojstva posjeduje samo mali dio ukupnih organskih tvari. U posljednje vrijeme postoji sve više dokaza da su pojedini dijelovi organskih tvari toksični ili kancerogeni ili to postaju kao rezultat kemijske međureakcije u vodenom okolišu. Uklanjanje organskih tvari provodi se taloženjem uz prethodnu koagulaciju.



## 7. PRIPREMA VODE ZA INDUSTRIJU

Vode koje se upotrebljavaju u industriji koriste se za različite svrhe pa se i međusobno razlikuju po svom sastavu.

Zahtjevi koji se postavljaju uglavnom se odnose na tvrdoću vode. Tvrdoću vode čine razne molekularne primjese, koje imaju katione kalcija i magnezija. Ovi kationi se vežu na anione i čine mineralne soli koje stvaraju tvrdoću vode. Ovisno o tome u kojem su obliku vezani kalcij i magnezij, razlikuje se karbonatna, nekarbonatna i ukupna tvrdoća.

Karbonatnu tvrdoću vode čine soli kalcija i magnezija i to kalcijev hidrogenkarbonat, magnezijev hidrogenkarbonat i magnezijev karbonat. Zagrijavanjem vode koja sadržava navedene soli ova tvrdoća može se ukloniti budući da se soli kalcija i magnezija raspadaju zagrijavanjem. Nekarbonatnu tvrdoću vode čine sulfati, kloridi, nitrati i druge soli kalcija i magnezija. Ova tvrdoća se često naziva stalnom budući da se spomenute soli ne mogu ukloniti zagrijavanjem. Ukupna tvrdoća jednaka je zbroju karbonatne i nekarbonatne tvrdoće, odnosno čine ju sve soli kalcija i magnezija. Tvrdoća vode izražava se količinom kalcijevog karbonata (kalcijevog oksida) i označava stupnjevima tvrdoće. U praksi se primjenjuju njemački, francuski, engleski i američki stupnjevi tvrdoće. Spomenuti stupnjevi tvrdoće mogu se definirati na sljedeći način:

Jedan njemački stupanj ( $^{\circ}\text{N}$ ) predstavlja 10 mg CaO/1 L vode

Jedan francuski stupanj ( $^{\circ}\text{F}$ ) predstavlja 10 mg CaCO<sub>3</sub>/1 L vode

Jedan engleski stupanj ( $^{\circ}\text{E}$ ) predstavlja 10 mg CaCO<sub>3</sub>/0,7 L vode

Jedan američki stupanj ( $^{\circ}\text{A}$ ) predstavlja 17 mg CaCO<sub>3</sub>/1 L vode

U tablici 6 prikazani su odnosi između pojedinih stupnjeva tvrdoće.

Tablica 6. Odnosi između pojedinih stupnjeva tvrdoće

Stupanj tvrdoće	1 $^{\circ}\text{N}$	1 $^{\circ}\text{F}$	1 $^{\circ}\text{E}$	1 $^{\circ}\text{A}$
1 $^{\circ}\text{N}$	1	1,79	1,25	1,04
1 $^{\circ}\text{F}$	0,57	1	0,70	0,58
1 $^{\circ}\text{E}$	0,80	1,43	1	0,83
1 $^{\circ}\text{A}$	0,96	1,72	1,20	1

Obzirom na ukupnu tvrdoću, vode se dijele na:

- meku (5-10  $^{\circ}\text{N}$ , stupanj tvrdoće 1),
- srednje tvrdu (10-15  $^{\circ}\text{N}$ , stupanj tvrdoće 2),
- tvrdu (15-25  $^{\circ}\text{N}$ , stupanj tvrdoće 3),
- jako tvrdu (iznad 25  $^{\circ}\text{N}$ , stupanj tvrdoće 4).

Poželjno je da voda koja se koristi u industriji bude meka, odnosno da sadrži što manje soli kalcija i magnezija. Tvrde vode uzrokuju čitav niz problema na industrijskim postrojenjima jer je uslijed njihovog korištenja moguće nakupljanje tzv. kamenca. Na slici 15 je prikazana cijev zapunjena kamencom zbog korištenja tvrde vode.



Slika 15. Cijev zapunjena kamencem

Upravo zbog visokih industrijskih zahtjeva vrlo je teško napraviti podjelu tipova vode za industriju. Najčešće se podjela radi prema količini otopljenih soli u vodi. Prema ovom načinu vode za industriju moguće je podijeliti na:

- dekarboniziranu,
- omekšanu i
- demineraliziranu.

Dekarbonizirana voda je voda kojoj je uklonjena karbonatna tvrdoća odnosno točnije,  $\text{HCO}_3^-$  ion. Dobiva se procesom dekarbonizacije koji može biti termička dekarbonizacija, dekarbonizacija vapnom u vrućem ili hladnom, dekarbonizacija kiselinom ili dekarbonizacija slabo kiselim ionskom izmjenom. Dekarbonizirana voda se upotrebljava kao rashladna voda.

Omekšana voda predstavlja vodu koja nema ukupne tvrdoće odnosno  $\text{Ca}^{+2}$  i  $\text{Mg}^{2+}$  soli. Danas se dobiva gotovo isključivo mekšanjem neutralnom ionskom izmjenom, a upotrebljava se za napajanje kotlova niskog i srednjeg tlaka i općenito kod svih procesa gdje postoji opasnost taloženja kamenca.

Demineralizirana voda je voda iz koje su uklonjene sve soli. Koristi se za napajanje kotlova visokog tlaka. Može se proizvesti destilacijom, ionskom izmjenom i membranskim procesom reverzne osmoze pri čemu je proces destilacije zbog cijene energije gotovo sasvim nestao iz upotrebe.

Voda za upotrebu u industriji priprema se na isti način kao i voda za piće uz procese ionske izmjene i reverzne osmoze.

Voda za industrijsku namjenu koristi se u različitim fazama proizvodnog procesa i međusobno se razlikuje po zahtjevima koji se postavljaju vezano uz kvalitetu (ovisno o tome koristi li se takva voda za pranje, razrjeđivanje ili kao sastavni dio gotovog proizvoda).

Međutim, gotovo sve industrije koriste vodu za tri osnovne namjene i to kao:

- vodu za napajanje kotlova (napojna voda),
- kotlovsku vodu i
- vodu za hlađenje (rashladna voda).

Napojna voda je vodom kojom se napajaju parni kotlovi. Za ovu namjenu može se koristiti kišnica, površinske i podzemne vode, ali i povratni kondenzat. Bilo koja od ovih voda može se koristiti ako zadovoljava sljedeće uvjete: voda treba biti potpuno bistra, bez dispergiranih čestica i po mogućnosti bezbojna, ne smije sadržavati željezo, bakar i silikatnu kiselinu, te više od 0,02 mg/L kisika jer uzrokuju koroziju, mora biti bez organskih tvari koje uzrokuju pjenjenje, tvrdoća ove vode treba biti niska (0,02-0,05 °N) kako bi se izbjeglo stvaranje

kamenca, pH vrijednost napojne vode potrebno je održavati između 8 i 9, te osim toga napojna voda ne smije sadržavati ulja koja se lijepe na stjenke kotla i sprječavaju protok topline.

Napojna voda se obrađuje prilikom ulaska u parni kotao ili se obavlja obrada vode u samom kotlu. Obrada se obavlja na sljedeći način:

- priprema napojne vode (mekšanje, dekarbonizacija ili demineralizacija ionskom izmjenom; membranski procesi; flokulacija i filtracija),
- obrada vode u napojnom spremniku (toplinski otplinjavanje),
- obrada kotlovske vode (odsoljavanje kotla, dodatak kemikalija (fosfata, NaOH, za uklanjanje kisika, za sprečavanje pjenjenja),
- obrada povratnog kondenzata (uklanjanje željeza ionskom izmjenom).

Na koji će se od ovih načina provesti priprema vode, da li pojedinačno ili kombinirano, ovisi o sastavu vode, o svojstvima parnog postrojenja, te o rentabilnosti upotrijebljenog načina pripreme vode.

Rashladna voda se prvenstveno koristi za kondenzaciju pare, ali i hlađenje postrojenja u kojima se razvija toplina uslijed proizvodnog procesa. Kod nekih postrojenja moguće je kao vodu za hlađenje koristiti vodu direktno iz rijeka i jezera pri čemu treba voditi računa da takva voda ima dovoljno nisku temperaturu, da ne uzrokuje koroziju i nakupljanje algi u ljetnim mjesecima. U slučajevima kada se koristi riječna voda bez prethodne obrade povećana je mogućnost stvaranja kamenca u cijevima kondenzatora. Ova pojava se može spriječiti povećanjem protoka rashladne vode. U slučaju kada nije na raspolaganju riječna voda ili kad se žele smanjiti troškovi u potrošnji vode primjenjuje se recirkuliranje vode. U recirkuliranoj vodi se postepeno povećava koncentracija soli te se iz tog razloga recirkuliranoj vodi dodaje kloridna kiselina (tzv. zakiseljavanje vode) kako bi se smanjila karbonatna tvrdoća. Općenito se može uzeti (prije svega za plinske turbine) da rashladna voda mora zadovoljavati u kružnom povratnom sustavu uvjete navedene u tablici 7.

Tablica 7. Maksimalno dozvoljene koncentracije za rashladnu vodu u povratnom sustavu

PARAMETAR	VRIJEDNOST
karbonatna tvrdoća (KT)	6 °N (uz dodatak polifosfata do 12 °N)
sulfati	500 mg/L
kloridi	400 mg/L
silikati	200 mg/L
ukupan sadržaj soli	3000 mg/L

## 7.1 Metalurška industrija

Metalurška industrija koristi vrlo velike količine vode, više od bilo koje druge prerađivačke industrije. Najčešće se voda koja se koristi u metalurškoj industriji upotrebljava za hlađenje. U tablici 8 prikazana je potrošnja vode za hlađenje u metalurškoj industriji.

Tablica 8. Potrošnja vode za hlađenje u metalurškoj industriji

PROIZVODNI POGON	POTROŠNJA VODE, L/kg
<b>Visoka peć</b>	33 000
<b>Kisikov konvertor</b>	3 000
<b>SM peć</b>	15 000
<b>Kontinuirano lijevanje</b>	11 000
<b>Čeličana</b>	18 000
<b>Valjaonica</b>	4 000
<b>Proizvodnja cijevi</b>	16 000
<b>Hladno valjane trake</b>	14 000
<b>Toplo valjane trake</b>	66 000
<b>Nusproizvodi koksara</b>	19 000
<b>Sinterirani proizvodi</b>	1 500

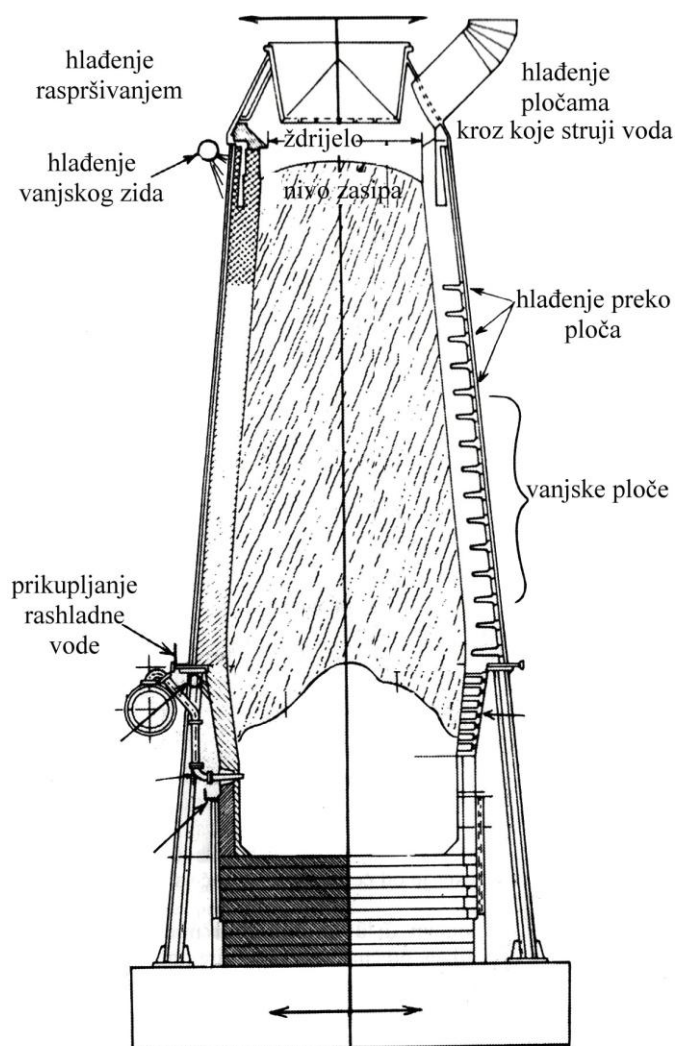
Proizvodnja sirovog željeza u visokoj peći jedna je od metalurških operacija koja iziskuje znatne količine vode. Voda su u ovom procesu koristi isključivo za hlađenje. Suvremena visoka peć troši oko 63 L/s vode za sustav vlastitog hlađenja (slika 16).

Sustav hlađenja visoke peći može biti konstruiran na dva načina – hlađenje plašta peći prskanjem vode po vanjskom zidu peći ili cirkuliranjem vode kroz ploče koje su smještene na zidu peći. Hlađenje zida peći obavlja se kako bi se produljio vijek trajanja vatrostalne obloge unutar peći. U ovom postupku potroši se 1/3 od ukupne količine vode za hlađenje.

Ostatak vode za hlađenje koristi se za hlađenje sapnica kroz koje se upuhuje zrak. Osim navedenog, pri proizvodnji željeza u visokoj peći nastaje znatna količina plinova koji sa sobom nose čvrste čestice rude, koksa i vapna. Ovakav plin mora proći proces pročišćavanja koji se između ostalog obavlja tzv. mokrim filtriranjem. Pri mokroj filtraciji vodom se „ispiru“ čvrste čestice iz plina.

Voda se pri proizvodnji sirovog željeza u visokoj peći koristi i za granulaciju i/ili hlađenje troske.

Priprema vode za hlađenje visoke peći (i ostale operacije u sklopu visoke peći) bazira se na uklanjanju kamenca i mikroorganizama (uzrokuju začepljenje sustava za hlađenje). Voda za hlađenje je u neprestanom kontaktu s metalnim dijelovima zbog čega tijekom pripreme vode treba posebnu pažnju posvetiti dodatku sredstava koje će spriječiti korozijsko djelovanje vode.



Slika 16. Sustav hlađenja plašta visoke peći

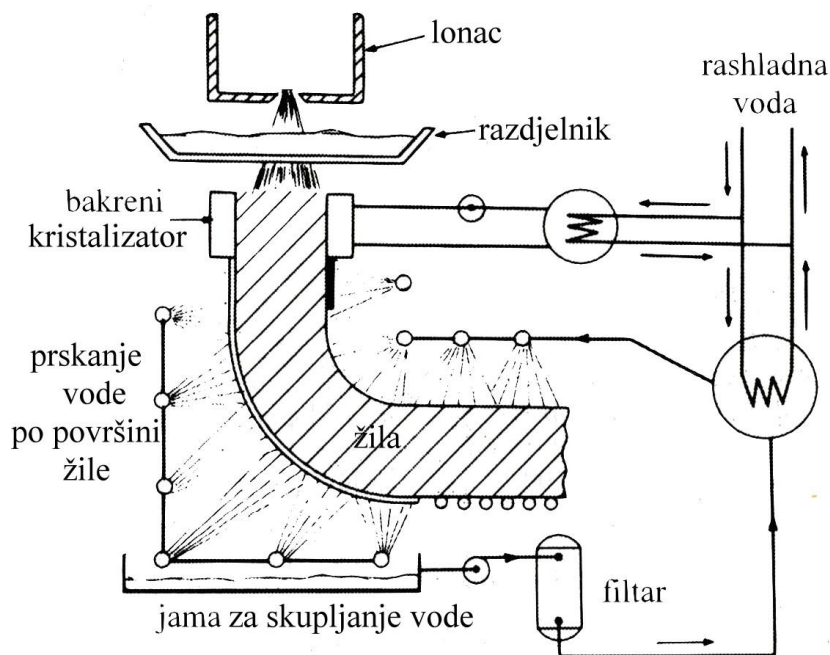
Pri proizvodnji čelika u kisikovom konvertoru voda se koristi za hlađenje sapnica, ali i za hlađenje plinova preko mokrog filtra. Pri korištenju elektro peći za proizvodnju čelika vodom se hladi plašt peći, vrata, svod i nosači elektroda.

Prema anketama provedenim u SAD-u pri proizvodnji čelika potroši se 13 100 000 L/min vode za hlađenje. Prema gruboj procjeni, u integriranoj čeličani, za svaku tonu proizvedenog čelika potroši se 120 tona vode.

U procesu direktne redukcije voda se koristi za hlađenje u brojnim operacijama kao što su hlađenje recikliranog plina, hlađenje proizvoda ili gašenje, ali i za filtraciju plina.

Da bi proces kontinuiranog lijevanja čelika bio dobar između ostalog potrebno je i pravilno hlađenje žile i raspored vode za hlađenje. Tekući čelik najprije dolazi u bakreni kristalizator oko kojeg struji voda za hlađenje (slika 17). Na taj način formira se tanka kruta kora kroz kristalizator, dok je ostatak žile u tekućem stanju. Nakon toga žila izlazi iz kristalizatora i potom se intenzivno hladi prskanjem vode po njenoj površini. Voda koja hladi kristalizator nalazi se u zatvorenom krugu i mora biti omekšana da se spriječi začepljenje sustava. Voda koja hladi žilu direktnim prskanjem po njoj sakuplja se, uklanja se ogorina i potom se odvodi u kanalizaciju.

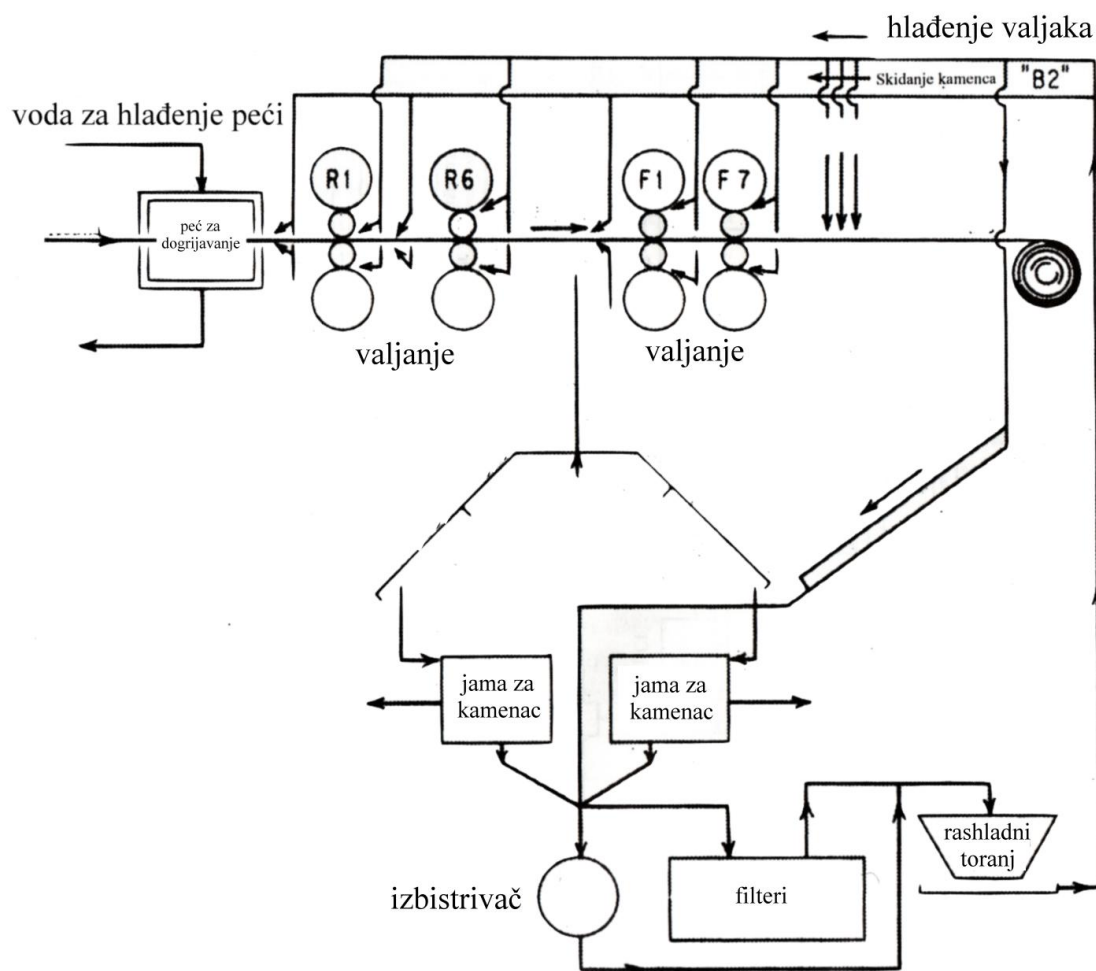
Tvrdoća vode koja se koristi za hlađenje bakrenog kristalizatora nikada ne bi smjela prelaziti  $0,57\text{ }^{\circ}\text{N}$ .



Slika 17. Hlađenje žile pri kontinuiranom lijevanju čelika

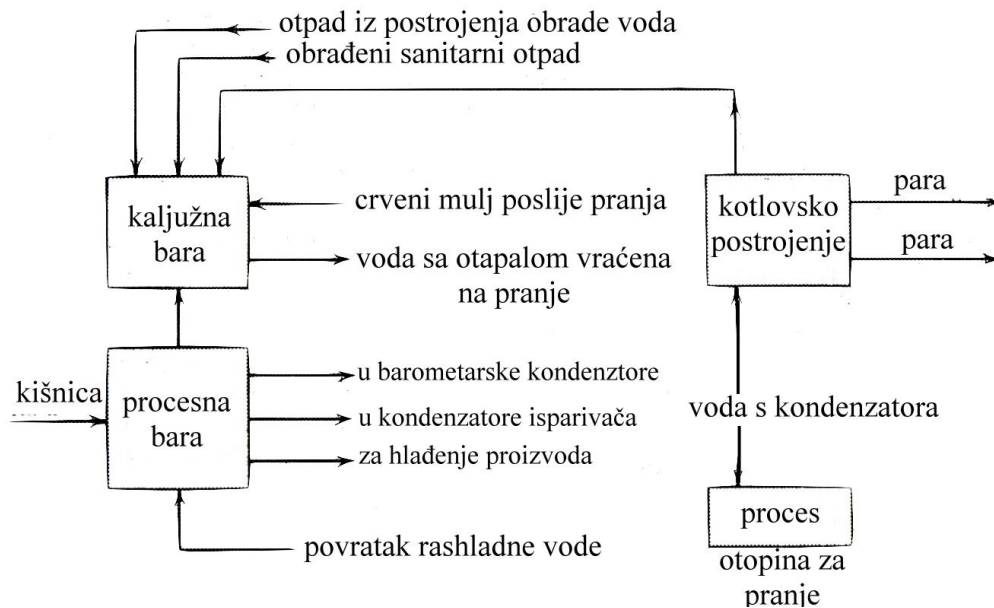
Valjaonice traka koriste vodu na različite načine, ovisno o tome radi li se o toplom ili hladnom valjanju. Pri toplom valjanju voda se koristi za hlađenje vrata i okvira peći u kojima se obavlja zagrijavanje čeličnog uložka (slabova) prije procesa valjanja te za hlađenje namotanih traka. Voda koja se koristi za ovu svrhu mora biti meka uz dodatak sredstva protiv korozije. Pri hladnom valjanju u vodu koja se koristi u procesu valjanja dodaju se maziva radi što boljeg valjanja (slika 18).

U ljevaonicama željeznih ljevova vodu je moguće koristiti u tzv. skruberu radi uklanjanja prašine koja nastaje u procesu lijevanja, za hlađenje peći za taljenje, te za granulaciju troske. Pored toga znatna količina vode troši se pri mokroj regeneraciji ljevaoničkog pijeska iz otpadne tvari, tzv. „svježe“ kalupne mješavine.



Slika 18. Upotreba vode u valjaonici

U proizvodnom procesu dobivanja aluminija voda ulazi kao para ili kondenzat. Najčešće se voda koristi za hlađenje, ali se dio vode može koristiti i kao voda za pranje. Bitno je da se vode koje se koriste za hlađenje budu bez kamenca. Priprema voda za pranje ovisi o njihovoj namjeni, odnosno čistoći proizvoda koji se traži. U slučaju kada je potrebno isprati talog na trihidratnim filtrima može se koristiti kondenzirana voda (iz generatora pare) bez prethodne obrade. Kondenzat se također može iskoristiti za završno pranje crvenog mulja zajedno s povratnom vodom iz bazena za mulj. Povratna voda iz bazena je voda od gravitacijskog nagomilavanja, ali i kišnice (slika 19).



Slika 19. Upotreba vode i pare pri proizvodnji aluminija

U postupku lijevanja aluminija, voda se koristi za hlađenje trajnih (metalnih) kalupa. Zahtjevi za visokom kvalitetom vode za hlađenje koji se ovdje postavljaju puno su stroži nego kod konvencijalnih operacija hlađenja. Voda za hlađenje može biti osigurana preko tornjeva za hlađenje isparavanjem. Ovaj sustav ne osigurava uvijek vodu odgovarajuće kvalitete budući da voda sadrži ugljične komponente iz kalupa koji predstavljaju hranu za mikroorganizme što zahtjeva dodatnu obradu vode. Hlađenje može biti osigurano i preko sustava za prskanje pri čemu nastaje vrlo fini sprej. Na ovaj način voda ispari do suhog i ne ostavlja nikakav trag niti nastaju otpadne vode. Ovaj način hlađenja zahtjeva povećano korištenje vode što ponekad predstavlja nedostatak ovog postupka hlađenja.

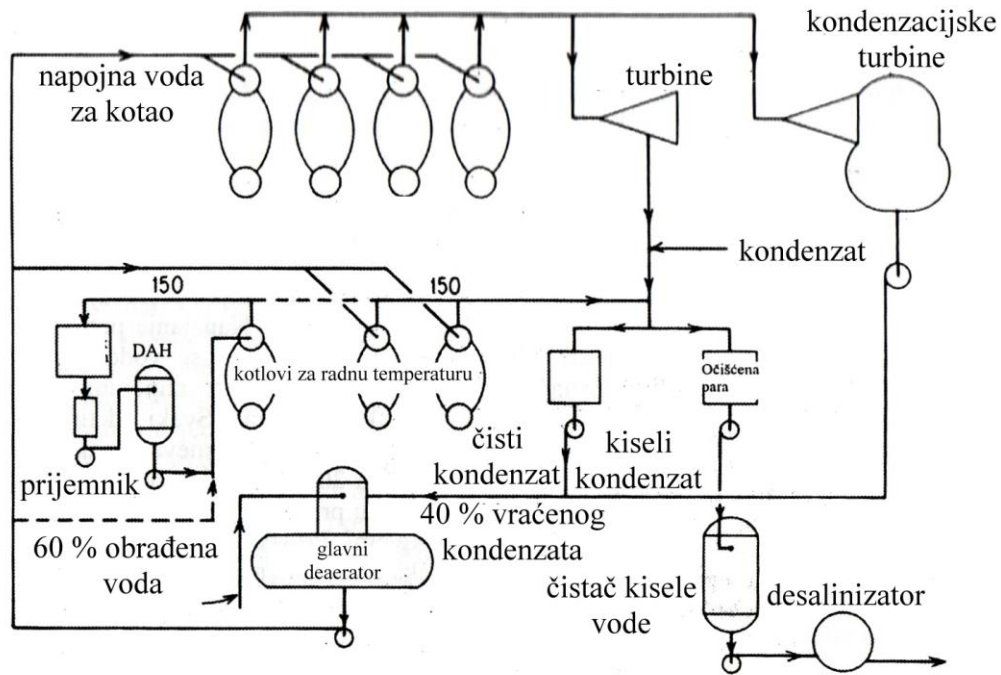
Osim navedene upotrebe vode u proizvodnji aluminija, voda se još može koristiti za hlađenje hidrauličnog ulja, zelenih anoda i kompresora. Voda za hlađenje može također biti potrebna i za hlađenje klorinih komponenti koje se upotrebljavaju za dodavanje klora za deplinifikaciju rastaljenog aluminija.

Aluminijski blokovi valjanjem se prevode u željene oblike koji se isporučuju na tržište. Da bi proces valjanja bio uspješan ingoti se prije valjanja griju na određenu temperaturu i tako ugrijani prolaze između valjaka. Voda koja se koristi u ovom procesu je isključivo voda za hlađenje. Voda se primjenjuje na valjcima za održavanje temperature valjanja. Nakon hlađenja voda reciklira pri čemu se sitni otpaci talože. Pored vode za hlađenje valjaka voda se može koristiti i za hlađenje vrata peći za zagrijavanje blokova, kućišta kompresora i hlađenje nosača itd..

## 7.2 Naftna industrija

U radu rafinerija voda se koristi za grijanje, hlađenje, ali i sam rad rafinerije. Ovisno o fazama u kojima se koristi voda se može uzimati iz različitih izvora pri čemu se može zahtijevati minimalna prethodna obrada voda (filtracija i/ili omekšavanje), a u nekim slučajevima obrada uopće nije potrebna. Na slici 20 prikazana je upotreba vode u rafineriji.





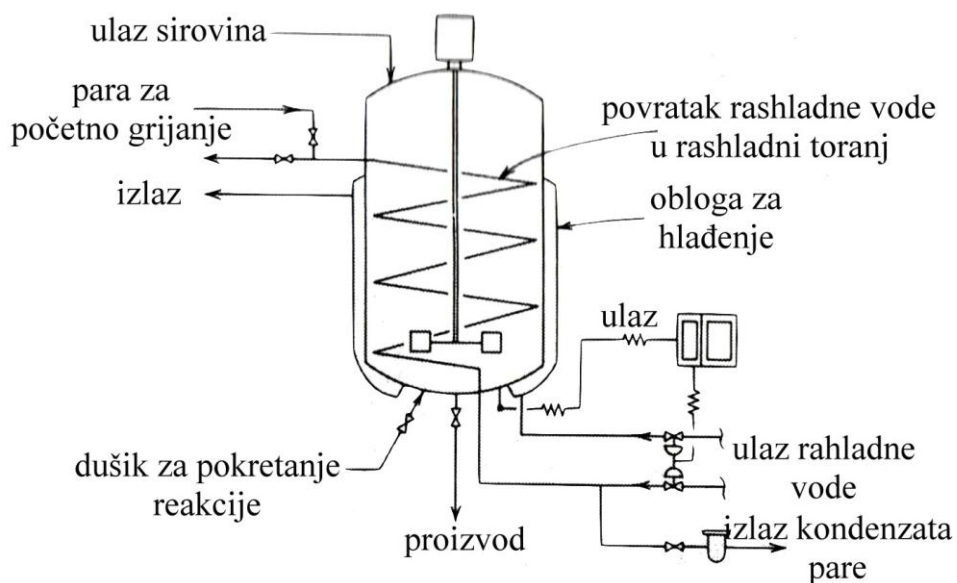
Slika 20. Upotreba vode u rafineriji

Para je glavni izvor energije u rafineriji. Koristi se za pokretanje pumpi i kompresora, za zagrijavanje tokova kapljevina, te za uklanjanje kisele vode. Voda koja se koristi za dobivanje pare u parnim kotlovima zahtjeva prethodnu obradu. Mnoge rafinerije koriste omekšivače i filtre. Posebnu pozornost treba obratiti na uklanjanje ulja budući da je voda za dobivanje vodene pare često i povratna voda iz rafinerije. U parnim kotlovima treba voditi računa i o prevenciji korozije.

Osim toga rafinerija ima znatne potrebe za hlađenjem pogonske opreme. Računa se da 80 do 85 % svih potreba za vodom predstavlja potreba za vodom za hlađenje. Sustav za hlađenje je sličan kao u ostalim industrijama što podrazumijeva recirkulaciju vode i zatvoreni sustav za hlađenje. Posebna obrada vode za ovu namjenu nije potrebna. Dovoljno je konstantna kontrola i sprječavanje korozije.

### 7.3 Kemijska industrija

Kemijska industrija je najraznovrsnija od svih industrijskih djelatnosti. Voda se u kemijskoj industriji najčešće koristi za hlađenje procesne opreme. Mnoge kemijske reakcije razvijaju toplinu, te je reaktore potrebno hladiti kako bi se temperatura reakcije kontrolirala. Druga vrsta kemijskih reakcija iziskuje toplinu da bi se uopće mogle odvijati. Za takvu vrstu reakcija većina kemijskih postrojenja osiguravaju vlastitu vodenu paru koja služi kao sredstvo koje predaje toplinu (slika 21).



Slika 21. Reaktor za izvođenje kemijskih reakcija koji može biti grijan ili hlađen

Druga velika upotreba vode u kemijskoj industriji je u kod procesnih aplikacija, koje podrazumijevaju hidraulične prijenose i klasifikacije, pranje i čišćenje opreme. Određene količine vode mogu biti i dio konačnog proizvoda.

U većini kemijskih operacija postoje proizvodne faze koje podrazumijevaju pripremu sirovina za reakciju kojom se stvara konačni proizvod. Tako se npr. transport tvari može odvijati vodom, topljive tvari se mogu otapati u vodi, plinovi se mogu apsorbirati u vodi kako bi se ubrzala kemijska reakcija i sl..

Više od 10 000 proizvoda nastaje u kemijskoj industriji te se smatra da je ona jedna od najvećih potrošača vode (tablica 9).

Tablica 9. Godišnja upotreba vode u kemijskoj industriji

PROIZVODNJA KEMIKALIJA	POTROŠNJA VODE, L/t	RECIKLIRANJE VODE, L/t	OTPADNE VODE, L/t
Organske kemikalije	$9,034 \cdot 10^{12}$	$16,296 \cdot 10^{12}$	$8,383 \cdot 10^{12}$
Anorganske kemikalije	$4,053 \cdot 10^{12}$	$5,918 \cdot 10^{12}$	$3,591 \cdot 10^{12}$
Poljoprivredne kemikalije	$1,268 \cdot 10^{12}$	$6,943 \cdot 10^{12}$	$0,979 \cdot 10^{12}$
Plastične mase	$2,024 \cdot 10^{12}$	$6,220 \cdot 10^{12}$	$1,911 \cdot 10^{12}$
Guma	$0,785 \cdot 10^{12}$	$2,167 \cdot 10^{12}$	$0,706 \cdot 10^{12}$
Keramika i staklo	$0,869 \cdot 10^{12}$	$1,121 \cdot 10^{12}$	$0,764 \cdot 10^{12}$

## 7.4 Prehrambena industrija

U prehrambenoj industriji, zbog povezanosti sa zdravljem ljudi, pod stalnim su nadzorom kemikalija koje se koriste u proizvodnji hrane, ali i voda. Upotreba vode u prehrambenoj industriji može se prema namjeni podijeliti na vode u proizvodnji šećera, vode za proizvodnju napitaka, vode za preradu voća i povrća, vode za preradu mesa i ribe, vode za preradu zrnate hrane, vode za proizvodnju i preradu masti i ulja i vode za proizvodnju mliječnih proizvoda. U tablici 10 prikazana je potrošnja vode po spomenutim segmentima u prehrambenoj industriji.

Tablica 10. Potrošnja vode po spomenutim segmentima u prehrambenoj industriji

<b>PROIZVODNI PROCES</b>	<b>POTROŠNJA VODE, L</b>	<b>ISPUST VODE, L</b>
<b>Proizvodnja šećera</b>	545	518
<b>Proizvodnja napitaka</b>	275	226
<b>Prerada voća i povrća</b>	348	324
<b>Prerada mesa i ribe</b>	296	288
<b>Prerada zrnate hrane</b>	218	199
<b>Proizvodnja i prerada masti i ulja</b>	107	89
<b>Proizvodnja mliječnih proizvoda</b>	119	111

Ovi proizvodni procesi se međusobno dosta razlikuju, ali se vode za njihovu namjenu u načelu mogu svrstati u tri kategorije: procesna voda, voda za hlađenje i voda za kondenzatore.

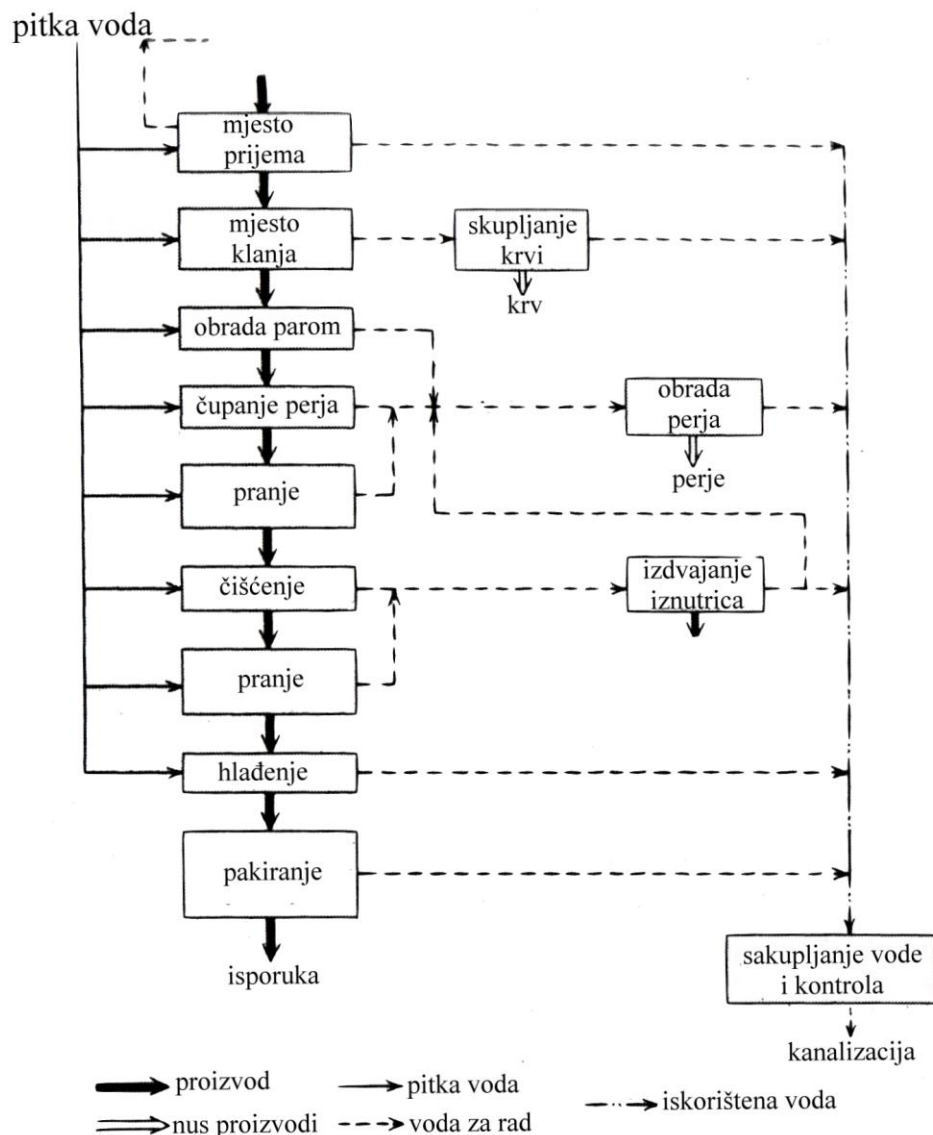
Upotreba procesne vode podrazumijeva pranje sirovina i procesne opreme, prenošenje produkata iz jednog u drugi proizvodni proces, ekstrakciju i razrjeđivanje gotovog proizvoda. Voda za hlađenje koristi se za rad rashladnih uređaja, kondenziranje pare, ili za hlađenje procesne opreme (kompresora, dijelova strojeva i sl.). U slučaju kada je potrebno kuhanje sirovina, najčešće se koristi vodena para. Para se osim navedenog koristi i za zagrijavanje isparivača, pokretanje turbina, ali i za grijanje radnog prostora.

Budući da para često dolazi u kontakt s hranom, postoje stroga ograničenja oko kemikalija koje se koriste u pripremi vode za korištenje u prehrambenoj industriji.

Prvi korak pri proizvodnji šećera je doprema šećerne repe ili trske u tvornicu. Budući da ove sirovine sadrže zemlju i gnojivo s polja potrebno ih je isprati. Osim vode za pranje koja se koristi na samom početku proizvodnog procesa, u cijeloj tvornici najveći dio vode koja se koristi je u obliku pare. Mnoge šećerane koriste kotlove pod tlakom radi proizvodnje električne energije. Voda za hlađenje turbina i kondenzatora može se koristiti kao procesna voda.

Kondenzacija vode pri proizvodnji šećera predstavlja značajan problem zbog velike koncentracije amonijaka, saharoze i invertnog šećera. Ulaskom šećera u kondenzatore stvaraju se uvjeti za koroziju pa je neophodan poseban nadzor sustava kondenzacije.

Kod obrađivanja mesa velike količine vode se koriste prilikom sječenja i prerade mesa. Također se za odstranjivanje masnoće iz mesa koristi voda u tzv. mokrom procesu. Na slici 22 je prikazan dijagram obrade peradi u prehrambenoj industriji.



Slika 22. Dijagram obrade peradi u prehrambenoj industriji

Pri proizvodnji pića i sokova troši se znatna količina vode. Budući da je dio ove vode i sastavni dio gotovih proizvoda posebnu pažnju treba obratiti pripremi vode za ovu namjenu. Voda koja se koristi u gotovom proizvodu mora imati svojstva vode za piće, uz poštivanje standarda koji se odnose na okus gotovog napitka. U industriji sokova voda se omekšava dodatkom vapna kako bi se smanjili tvrdoća i alkalitet budući da alkalije negativno djeluju na kiselinu iz voća. Osim omekšavanja ova voda za spomenutu namjenu se tretira i klorom. Voda se potom filtrira i prolazi proces adsorpcije na aktivnom ugljenu kao krajnji postupak izdvajanja klora i svih ostalih komponenata koje bi mogle negativno utjecati na miris i okus gotovog proizvoda.

Prilikom proizvodnje alkoholnih pića koristi se isključivo vodena para koja je neophodna za procese proizvodnje alkoholnih pića, ali istovremeno koristi i kao sredstvo za čišćenje opreme radi sprečavanja razvijanja mikroorganizama.

Pripremi ambalaže (pranja) u koju se pune gotovi proizvodi također treba posvetiti posebnu pažnju. Najčešće se koristi voda omekšana zeolitima jer to smanjuje potrošnju detergenata i

omogućava brže sušenje boca bez mrlja na površini. Osim toga često se upotrebljava i voda kojoj je dodan klor kako bi se osigurala dovoljna sterilizacija.

Prilikom procesa pasterizacije gotovih napitaka također se koristi voda omekšana zeolitima radi sprečavanja mrlja na ambalaži. Temperatura u postrojenju za pasterizaciju održava se protokom tople vode. U ovom koraku se također koristi i klor kako bi se spriječila mogućnost razvoja i rasta mikroorganizama u slučaju puknuća boca s gotovim proizvodom.

Pri preradi voća i povrća veći dio vode koristi se kao vodena para za blanširanje. Osim toga dio vodene pare koristi se za „kuhanje“ konzervi, ali se i dio vode koristi za hlađenje konzervi.

## 7.5 Tekstilna industrija

U tekstilnoj industriji najviše se pozornosti usmjerava na zrak koji mora biti čist, uz posebnu kontrolu vlažnosti i temperature. Da bi se osigurali zahtjevi vezani uz zrak, nova postrojenja tekstilne industrije projektirana su tako da imaju sustav hlađenja i grijanja zraka vodom u nekoliko nezavisnih jedinica, kako bi se postigla maksimalna efikasnost i smanjili troškovi održavanja. Rashladna voda se cijevima razvodi po cijeloj tvornici radi upotrebe kod čistača zraka u procesu izmjenjivanja topline i malim klima uređajima u kancelarijama. Najveći potrošač hladne vode je uređaj za čišćenje zraka. U ljetnom periodu uređaji za čišćenje zraka koriste hladnu vodu od 5 do 10 °C. U ovom periodu rashladna voda isušuje zrak u tvornici. Ulaskom zraka u čistač zrak sa sobom donosi i nečistoće (ulje, prašina i sl.) koje mogu biti korozivne, ali i hrana za mikroorganizme na što svakako treba obratiti pažnju prilikom pripreme vode za spomenutu namjenu.

## 7.6 Industrija celuloze i papira

Industrija celuloze i papira veliki je potrošač vode. Voda se koristi gotovo u svim operacijama od skidanja kore do gotovog proizvoda. Ovisno o gotovom proizvodu i potrošnja vode prilikom proizvodnje papira se znatno razlikuje. U tablici 11 prikazana je potrošnja vode za proizvodnju samo nekoliko karakterističnih proizvoda od papira.

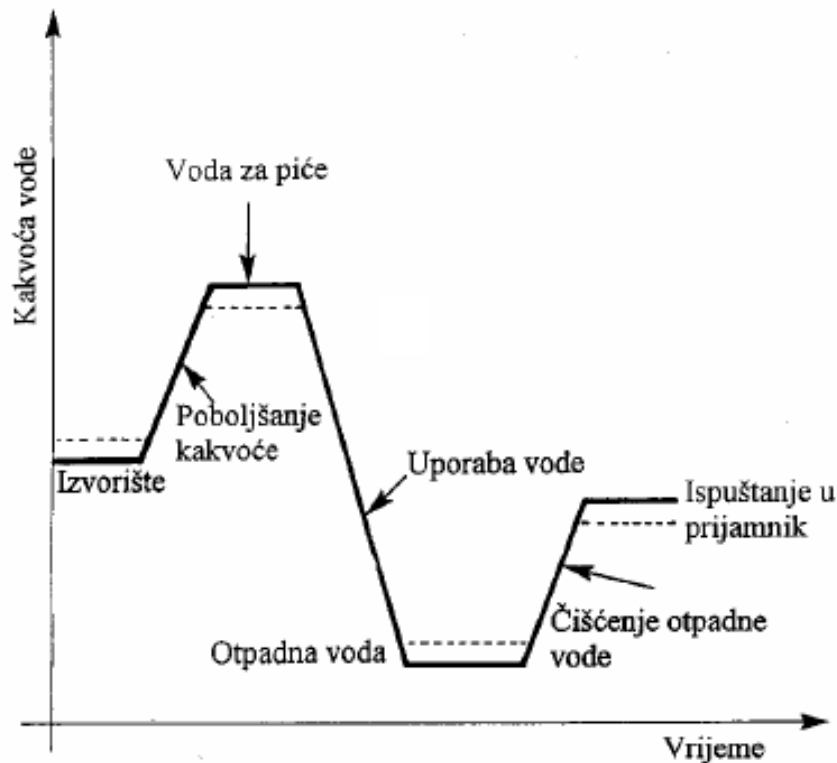
Tablica 11. Potrošnja vode za dobivanje proizvoda od papira

PROIZVOD	POTROŠNJA VODE, L/t
Fini papir	301,54
Knjige	50,40
Svileni papir	63
Kraft papir	21
Karton	33,60

Kao i kod mnogih drugih industrijskih djelatnosti korozija je konstantno prisutna u postrojenjima za pripremu vode, ali i isparivačima i kondenzatorima. Isti problem se javlja i u proizvodnji celuloze i papira. Osim toga konstantna je pojava kamenca u isparivačima gdje se neprestano povećava i koncentracija organskih i anorganskih tvari. Prisutnost organskih tvari znatno povećava i prisutnost mikroorganizama kojima su organske tvari izvor hrane.

## 8. OTPADNE VODE

Vode koje su bile upotrijebljene u određenu svrhu i pri tome se dodatno onečistile zbog čega je došlo do promjene njihovih fizikalnih, kemijskih i bioloških svojstava nazivaju se otpadne vode. Na slici 23 prikazana je promjena kakvoće vode uporabom. Voda se smatra onečišćenom ako je količina otpadnih tvari u njoj veća od količine propisane standardom o kvaliteti vode ili ako se zbog vrste prisutnih otpadnih tvari ne može koristiti za određenu namjenu.



Slika 23. Promjena 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 (slika 24).

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

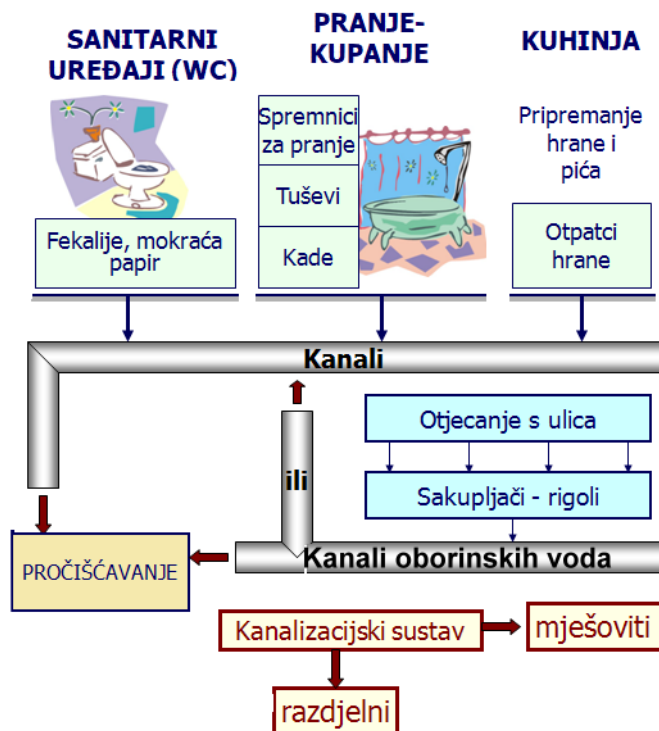
- sanitarne,
- industrijske i
- oborinske.



Slika 24. Izvori onečišćenja voda

## 8.1 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 (slika 25). Otpadne vode iz uslužnih djelatnosti su vode iz ugostiteljstva, različitih servisa, slastičarni, pekara, mesnica i sl..



Slika 25. Otpadne vode iz kućanstva

Otpadne sanitarne vode su opterećene organskim tvarima koje predstavljaju hranu mikroorganizmima, što znači da je moguće ova onečišćenja ukloniti uz pomoć mikroorganizama (biorazgradnja).

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.

## 8.2 Industrijske vode

Otpadne industrijske (slika 26) vode međusobno se znatno razlikuju ovisno 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.

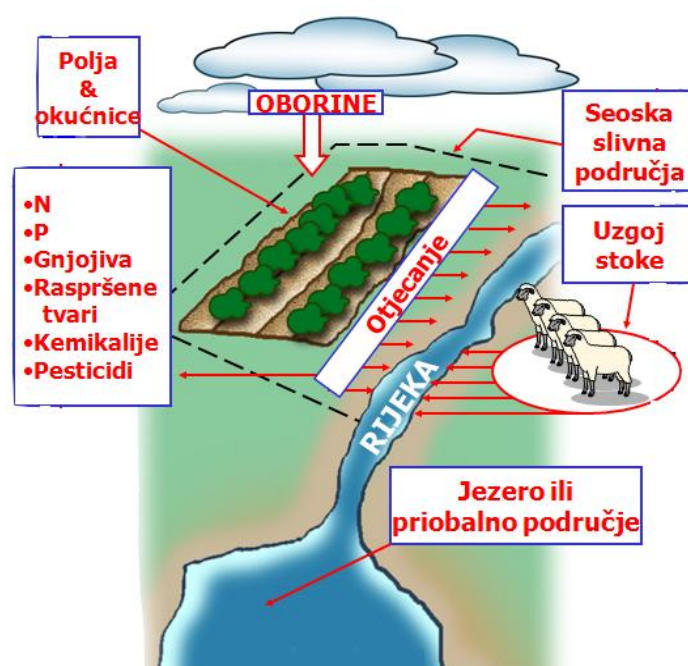


Slika 26. Industrijska otpadna voda



## 8.3 Oborinske vode

Oborinske vode prolaze kroz atmosferu i ispiruju. Pri tome otapaju ili prenose prema površini zemlje sastojke koji su ispušteni u atmosferu. Osim toga, 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/ishlapiti s mjesta dovođenja nego se određeni "višak" vode procijediti u dubinu do podzemnih voda ili otječe do obližnjih površinskih voda. Taj tzv. 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, biocidima, fungicidima i poljoprivrednim kulturama koje se uzgajaju na određenim područjima (slika 27).



Slika 27. Prikaz nastanka otpadnih oborinskih voda (poljoprivrednih)

Otpadne oborinske vode prisutne su i u gradovima. Ova vrsta voda ovisi o mnogo čimilaca 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 snijega. Posebno su opterećene one vode koje nastaju pri završnom otapanju snijega kada je koncentracija onečišćenja na snijegu visoka.

U tablici 12 prikazani su pokazatelji onečišćenja otpadnih komunalnih voda.

Tablica 12. Pokazatelji onečišćenja otpadnih komunalnih voda

POKAZATELJ		KONCENTRACIJA	
		RASPON	UOBIČAJENA VRIJEDNOST
<b>FIZIKALNI</b>			
KRUTINE	ukupne	300-1200	700
	taložive	50-200	100
	suspendirane	100-500	220
	raspršene	250-850	500
<b>KEMIJSKI</b>			
ORGANSKE TVARI	BPK <sub>5</sub>	100-400	250
	KPK	200-1000	500
	UOU	100-400	250
DUŠIK	ukupni	15-90	40
	organski	5-40	25
	amonijak	10-50	25
FOSFOR	ukupni	5-20	12
	organski	1-5	2
	anorganski	5-15	10
pH		7-7,5	7
KALCIJ		30-50	40
KLORIDI		30-85	50
SULFATI		20-60	15

BPK<sub>5</sub> – petodnevna biološka potrošnja kisika, KPK – kemijska potrošnja kisika, UOU – ukupni organski ugljik

Sustavi odvodnje otpadnih voda bilo kojeg porijekla nazivaju se kanalizacijski sustavi. Kanalizacija predstavlja znanstveno – tehničko područje koje se odnosi na predlaganje, projektiranje, izgradnju i uporabu kanalizacijske mreže.

Osnovna zadaća kanalizacijskog sustava je skupljanje otpadnih voda, odvodnja do mjesta pročišćavanja i ispuštanje pročišćene vode u odgovarajući prijemnik.

Kanalska mreža zajedno s pripadajućim objektima služi za skupljanje otpadnih voda u urbanim i industrijskim sredinama, za odvođenje do mjesta pročišćavanja, za pročišćavanje do stupnja koji osigurava sigurno ispuštanje u prirodni prijemnik, za ispuštanje pročišćene vode u odgovarajući prijemnik.

Ispusti mogu biti različiti, ovisno o vrsti vode koja se ispušta. Razlikuju se ispusti oborinskih voda, ispusti iz rasteretnih građevina u mješovitim kanalizacijskim sustavima, ispust vode nakon pročišćavanja i ispust nepročišćenih ili djelomično pročišćenih voda.

## 9. PROČIŠĆAVANJE OTPADNIH VODA

Otpadne vode je prije ispuštanja u prijemnike uvijek neophodno pročititi, kako bi se iz njih do određenog stupnja uklonile plivajuće, lebdeće i otopljene tvari, te koloidi, dakle onečišćenja (tablica 13) koja su prisutna u otpadnim vodama i bitno karakteriziraju njihova svojstva.

Tablica 13. Neke vrste onečišćenja otpadnih voda i štetne posljedice

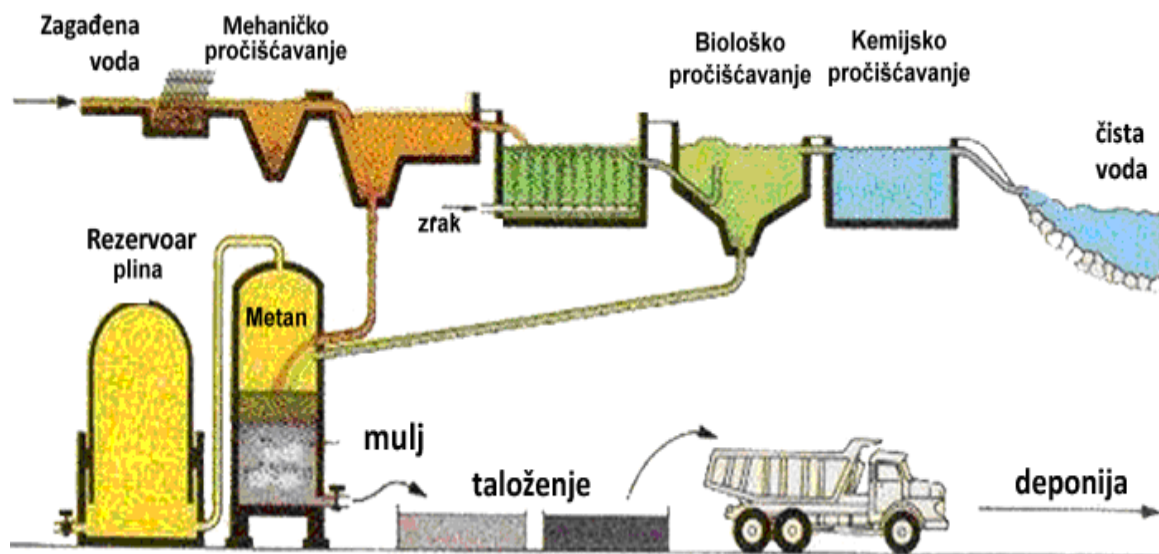
VRSTA ONEČIŠĆENJA OTPADNIH VODA	ŠTETNE POSLJEDICE	OSTVARENA DRUŠTVENA KORIST OD PROČIŠĆAVANJA OTPADNIH VODA
KRUPNI KRUTI MATERIJAL: papir, tkanine, plastika	Neuredan krajolik; uslijed dodira mogu nastati opasnosti po zdravlje ljudi i životinja	Obale rijeka, jezera, mora i njihova okolica postaju sigurni za radne aktivnosti i rekreaciju
ORGANSKE TVARI: otpaci hrane, fekalne tvari i neke industrijske otpadne vode	Zbog prisutnosti bakterija i drugih viših vrsta vodenog svijeta, smanjuje se količina otopljenog kisika u vodi, pa se javljaju pomori riba i drugih organizama	Zaštita ribarstva i sportskog ribolova; ugodniji okoliš za život, rad i rekreaciju;
ULJA I MASTI	Na površini vode formira se opasan tanak nepropusni sloj, koji smanjuje mogućnost apsorpcije kisika iz atmosfere	Poboljšano otapanje atmosferskog kisika u vodi pomaže održavanju vodene flore i faune
NUTRIENTI: dušik, fosfor i tragovi štetnih tvari	Djeluju kao gnojiva koja stimuliraju rast algi, morskih trava i ostalog vodenog bilja	Poboljšani i sigurniji uvjeti za uzgoj riba i školjaka; ugodniji okoliš za život, rad i rekreaciju
BAKTERIJE I VIRUSI	Onečišćenje voda koje se koriste za vodoopskrbu ili natapanje poljoprivrednih površina na kojima se uzgajaju kulture za prehranu	Sigurniji opći zdravstveni uvjeti za uzgoj školjaka, riba i drugih organizama;
TOKSIČNE TVARI IZ INDUSTRIJSKIH OTPADNIH VODA	Pojava uništenja ili oštećenja vodene flore i faune; akumulacije štetnih tvari u mesu riba i školjaka, mogu štetno djelovati na zdravlje ljudi	Poboljšani uvjeti za život vodene flore i faune; poboljšani opći zdravstveni uvjeti

Pročišćavanje otpadnih voda je proces smanjenja onečišćenja do onih količina ili koncentracija s kojima pročišćene otpadne vode ispuštene u prijemnike postaju bezopasne za život i ljudsko zdravlje i ne uzrokuju neželjene promjene u okolišu.

Procesi pročišćavanja otpadne vode ovise o onečišćenjima koja se u njima nalaze i na taj način se i dijele na:

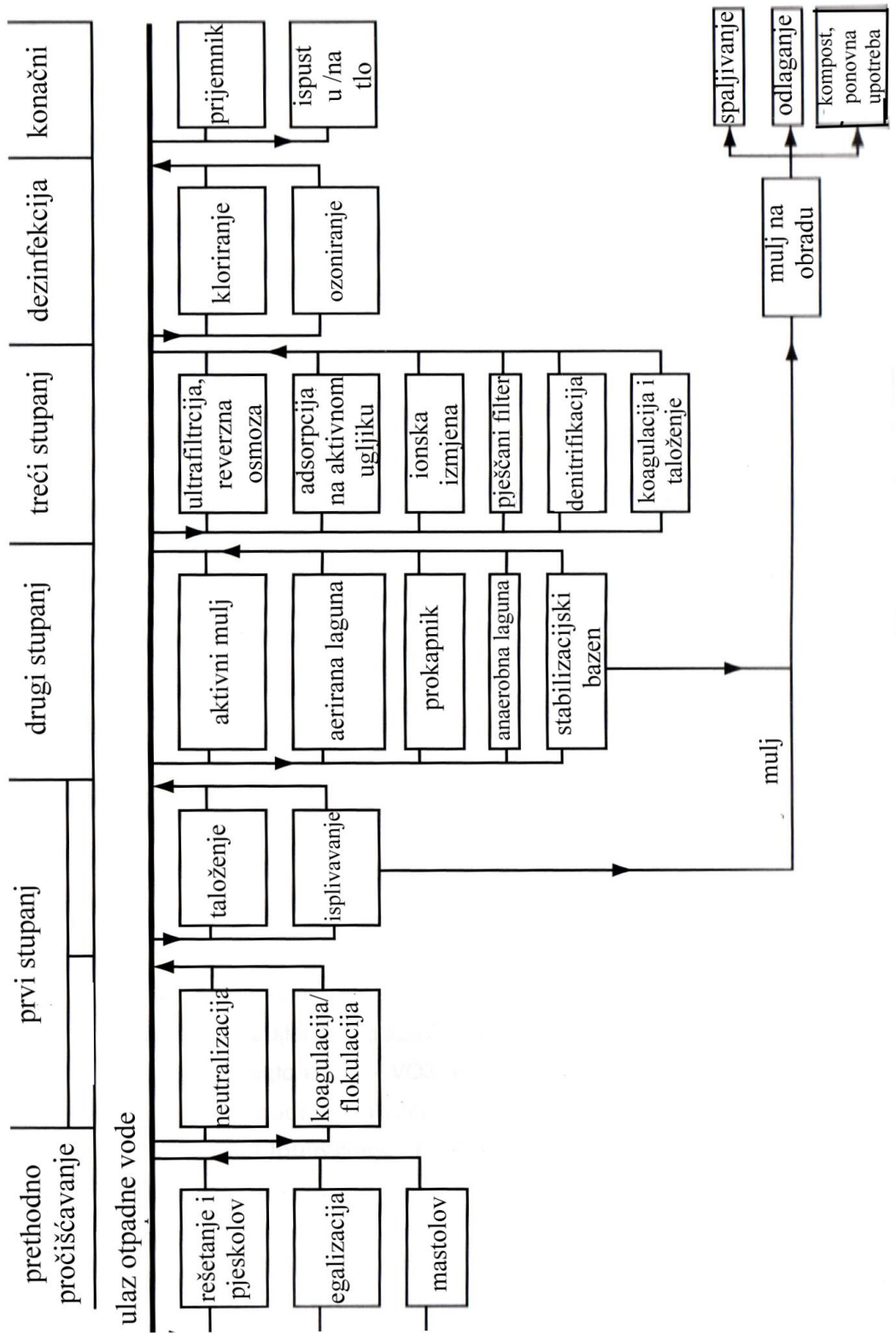
- mehanički procesi – uklanjaju se grube nečistoće koje su u obliku krupnih lebdećih ili suspendiranih tvari,
- fizikalni procesi – uklanjaju se suspendirane tvari,
- kemijski procesi – uklanjaju se koloidne tvari,
- fizikalno – kemijski procesi – uklanjaju se otopljene anorganske i organske tvari,
- biološki procesi – uklanjaju se organske tvari.

Postupi pročišćavanja mogu se primjenjivati kao zasebni procesi, ali i kao kombinacija dva ili više navedenih procesa. Na slici 28 je prikazano pročišćavanje otpadnih voda kombinacijom mehaničkog, kemijskog i biološkog pročišćavanja.



Slika 28. Prikaz istovremenog korištenja tri načina pročišćavanja otpadnih voda

Obično se pročišćavanje odvija u nekoliko stupnjeva (slika 29) što ovisi o porijeklu, vrsti i sastavu otpadnih voda. Odabir uređaja za pročišćavanje također ovisi o navedenim uvjetima.



Slika 29. Način pročišćavanja otpadnih voda i njihov sljed

## 9.1 Mehanički procesi pročišćavanja

Mehaničko pročišćavanje je prvi i najjednostavniji postupak pročišćavanja. Često se naziva primarnim postupkom pročišćavanja. Ovim postupkom uklanjaju se grube nečistoće. Mehaničko pročišćavanje moguće je provesti pomoću rešetki i/ili pjeskolova. Svrha ovog pročišćavanja je uklanjanje plutajućih tvari (papira, lišća, plastike, grana, limenki, krpa i sl.). Rešetke se postavljaju na mjestima gdje voda ulazi u crpke ili druge uređaje za pročišćavanje kako bi se zaštitili navedeni uređaji. Veličina i oblik rešetke (slika 30) ovisi o nekoliko čimbenika, međutim najosnovniji su veličina postrojenja za obradu otpadne vode i vrsta kanalizacije. Mali objekti koji imaju plitko ukopanu kanalizaciju koriste ravnu rešetku s ručnim čišćenjem. Za veća postrojenja i naselja s plitko ukopanom kanalizacijom koristi se lučna rešetka s automatskim čišćenjem. Srednje veliki i veliki objekti s dublje ukopanom kanalizacijom zahtijevaju postavljanje manjih ili većih ravnih rešetki s automatskim čišćenjem. Često se u velikim postrojenjima za pročišćavanje otpadnih voda postavljaju i grube i fine rešetke jedna iza druge.



Slika 30. Princip tzv. rešetanja

Poteškoće u radu nastaju zbog nagomilavanja otpadaka na rešetkama. Ukoliko se koriste rešetke s ručnim čišćenjem, čišćenje treba redovito provoditi te proces redovito kontrolirati, posebno u kišnim periodima. Zimi može doći do nagomilavanja leda na rešetkama što također uzrokuje poteškoće u radu. Ovaj problem rješava se ugradnjom grijača.

Postavljanje pjeskolova obavezno je u sustavima s mješovitom kanalizacijom gdje u kišnim periodima kroz ulične slivnike dolazi velika količina zemlje i pijeska. Svrha im je da smanjenjem brzine kretanja vode ili djelovanjem centrifugalne sile izdvajaju teže krute sastojke (pijesak, šljunak i druge tvari koje nisu biorazgradive). Uklanjanje pijeska je nužno jer se on obično taloži u cjevovodima, biokemijskom bazenu ili taložniku. Vrlo često se taloži u zasunima ili ventilima te se oni uslijed toga ne mogu zatvoriti i brviti. Na slici 31 se nalazi pjeskolov.



Slika 31. Pjeskolov

Postoji nekoliko izvedbi pjeskolova. Najčešće korišteni su pravokutni, okrugli i pjeskolovi s ozračivanjem.

Pravokutni pjeskolovi su izvedeni u najmanje dvije jednake komore pri čemu je jedna komora u radu dok druga očišćena čeka na rad (naizmjeničan rad). Komore su izrađene od betona sa koso izvedenim stranicama što osigurava konstantnu brzinu protjecanja.

Kod malih postrojenja komore rade naizmjenično, pri čemu se jednom dnevno jedna komora zaustavlja i čisti, a druga pušta u rad. Kod većih postrojenja koristi se više komora koje rade paralelno, a čišćenje se obavlja prilikom samog rada pjeskolova. U ovom slučaju rezervne komore se koriste samo u kišnom periodu kad treba pročititi veće količine vode.

U okrugle pjeskolove voda se dovodi sa strane. Smanjenjem brzine pijesak pada na dno i preko zaobljenog dna se skuplja u sredini. Pijesak se s dna pjeskolova pumpama vadi na površinu za ocjeđivanje.

Pjeskolov sa ozračivanjem radi na principu da se brzina kretanja vode regulira zrakom. Uređaj za ozračivanje smješten je uzduž pjeskolova i pokreće vodu u poprečnom smjeru. Količina zraka se odabire tako se pijesak taloži, a ostale tvari ne.

Poteškoće u radu pjeskolova su češće kod malih pjeskolova u vrijeme minimalnih protoka. Tada dolazi do nakupljanja organskih tvari koje trunu u pjeskolovu, dok kod velikih protoka dolazi do odnošenja sitnih čestica pijeska. Osim toga treba obratiti pažnju na redovito čišćenje pjeskolova što se obično provodi jednom dnevno.

Ako otpade vode sadrže određene količine masnoća potrebno je iza pjeskolova postaviti odvajač masnoća, tzv. mastolov. Svrha mastolova je uklanjanje ulja, masti i drugih nečistoća uglavnom organskog porijekla. Prema procesu isplivavanja mastolovi se mogu podijeliti na mastolove prirodnog isplivavanja (za tvari čija je gustoća manja od gustoće vode), jednokomorne i višekomorne mastolove umjetnog isplivavanja ili na mastolove u kojima se provodi aeracija (upuhivanjem stlačenog zraka). Ponekad se koristi istovremena kombinacija pjeskolova i mastolova.

Ukoliko se radi o pročišćavanju voda iz kućanstva, ali i industrijskih otpadnih voda na uređajima za pročišćavanje se tijekom dana pojavljuju oscilacije u protoku. Razlog tome su aktivnosti stanovništva i rad industrijskih pogona. Zbog ujednačavanja oscilacija provodi se ujednačavanje odnosno tzv. egalizacija. Izjednačavanje omogućava učinkovitiji rad uređaja za pročišćavanje otpadnih voda.

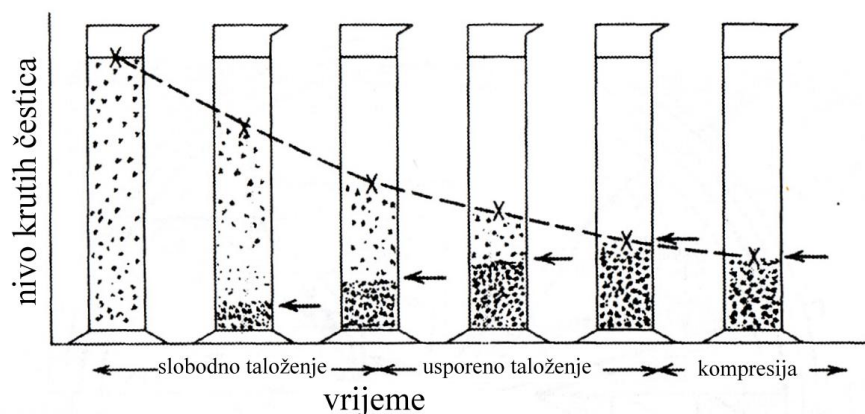
## 9.2 Fizikalni procesi pročišćavanja

Fizikalni procesi pročišćavanja uključuju operacije taloženja i flotacije (isplivavanje).

Općenito se može reći da je taloženje uklanjanje krutina iz tekućina. Na brzinu taloženja utječe granulometrijski sastav, oblik i gustoća krutih čestica, tekućina iz koje se taloženje provodi, ali i temperatura. Povećanjem temperature od 0 na 29 °C udvostručuje se brzina taloženja.

Da bi se taloženje provelo brzina vode mora biti smanjena do točke na kojoj će se krute čestice taložiti gravitacijom ako je vrijeme zadržavanja u taložniku dovoljno dugo. Danas taloženje spada među najraširenije procese u tehnologiji obrade otpadnih voda. Proces taloženja sitnih čestica traje relativno dugo pa se u praksi taloženje koristi za izdvajanje čestica čija je brzina veća od  $10^{-5}$  m/s.

Kada se čestice talože kroz tekućinu u slobodnom padu, tekućina iz koje su uklonjene čestice pomiče se u smjeru od nižeg prema višem i prostor između čestica tolik je velik da protok vode iz suprotnog smjera ne dovodi do trenja. Kada se čestice približe dnu taložnika počinju formirati graničnu površinu tekućina/krute tvari i njihova brzina slobodnog pada se zaustavlja. Istaložene čestice formiraju mulj i postaju kompaktne. Na slici 32 prikazane su faze taloženja.



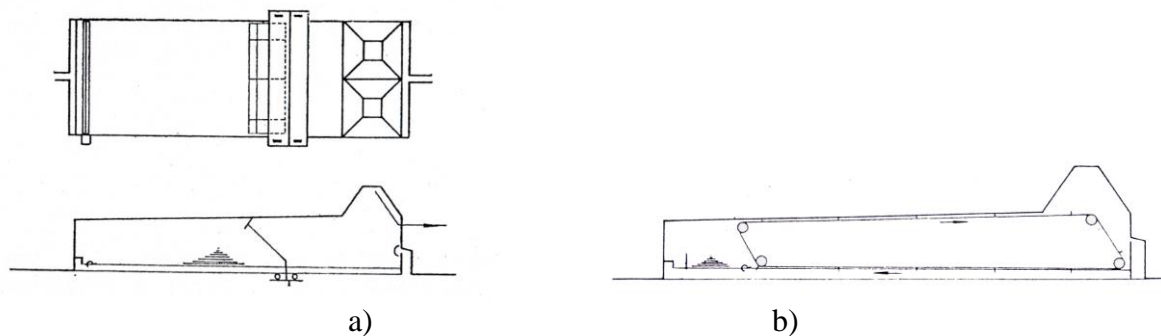
Slika 32. Faze taloženja

Upravo zbog adekvatnog provođenja taloženja posebnu pažnju treba posvetiti konstruiranju taložnika.

Danas su najčešće u upotrebi pravokutni, okrugli, ljevkasti i dvokatni.

Pravokutni taložnici su bazeni na čijem se užem kraju se nalaze uređaji za raspodjelu vode, a ispod njega jama za skupljanje mulja. Na suprotnoj strani se čista voda preljeva. Zgrtanje istaloženih čestica provodi se pomoću samovoznih kolica koja vuku zgrtalicu mulja po dnu bazena protustrujno dotoku vode (slika 33 a) ili lančanim kontinuiranim zgrtačem mulja (slika 33 b). Lančani zgrtač mulja postavlja se na taložnicima gdje nastaje velika količina mulja.





Slika 33. Presjek zgrtača mulja; a) samovozna kolica, b) lančani kontinuirani

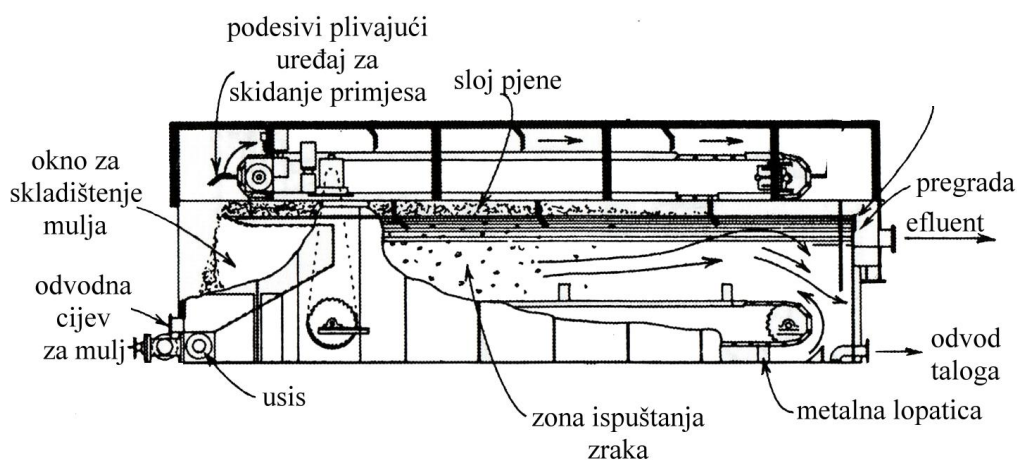
Okrugli taložnici su plosnati bazeni u koje se voda dovodi kroz sredinu. Voda struji iz centra prema stjenkama što povoljno djeluje na proces taloženja. Pročišćena voda se preljeva preko ruba taložnika, a mulj se uklanja zgrtalicom obješenom na most. Most je jednom stranom pričvršćen na sredinu taložnika, a drugim se krajem nalazi na obodu taložnika.

Ljevkasti taložnik izveden je u obliku obrnutog stošca okruglog ili kvadratnog poprečnog presjeka. Stranice stošca su toliko skošene da uz vertikalno kretanje vode mulj klizi prema centru u jamu za skupljanje.

Dvokatni taložnik je duboka komora okruglog ili četvrtastog poprečnog presjeka u čijem je gornjem dijelu taložnik koji u svom gornjem dijelu ima središnji otvor tako da istaloženi mulj može propadati u donju komoru gdje se nalazi trulište mulja. Mulj se obično dva puta godišnje otprema i vadi.

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 površinu. Na slici 34 je prikazan presjek uređaja za flotaciju uz primjenu zraka.



Slika 34. Presjek uređaja za flotaciju uz primjenu zraka

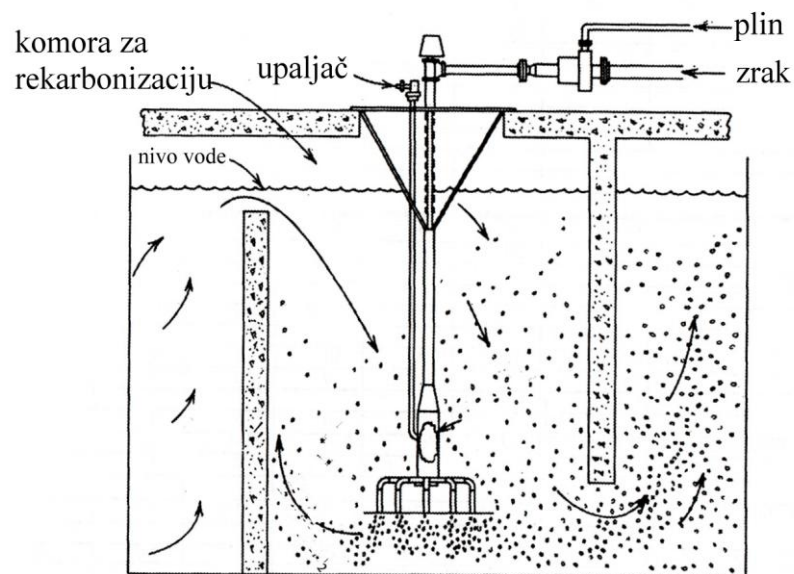
## 9.3 Kemijski procesi pročišćavanja

Najznačajniji kemijski procesi pročišćavanja su neutralizacija i koagulacija (flokulacija). Neutralizacija se provodi tako da se u otpadnu vodu dodaju kiseline ili lužine i na taj način se mijenja pH. Ovo je vrlo čest postupak za obradu industrijskih otpadnih voda pri čemu se popravljaju kiselost ili lužnatost otpadnih voda.

Neutralizacija se provodi na nekoliko načina:

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

Neutralizacija se najčešće provodi dodatkom kemijskih sredstava, najčešće vapna. Kod upotrebe velike količine vapna obično se kupuje kalcijev oksid koji se gasi da bi se dobio kalcijev hidroksid. Na slici 35 je prikazana shema uređaja za dodavanje vapna u pogonima za obradu otpadne vode.



Slika 35. Shema uređaja za dodavanje vapna u pogonima za obradu otpadne vode

Koagulacija i flokulacija provode se na isti način kao kod pripreme vode za piće što je opisano u poglavlju „Metode obrade pitkih voda“ (str. 18). Na slici 36 nalazi se uređaj za koagulaciju i flokulaciju u ljevaonici Lipovica d.o.o.



Slika 36. Uređaj za koagulaciju i flokulaciju u ljevaonici Lipovica d.o.o.

## 9.4 Fizikalno - kemijski procesi pročišćavanja

Fizikalno-kemijski postupci zovu se još i napredne tehnologije, a obično su dopuna drugim postupcima, npr. kao prethodni postupak u pročišćavanju industrijskih otpadnih voda. U ove postupke najčešće se ubrajaju ultrafiltracija i reverzna osmoza, adsorpcija na aktivnom ugljenu i ionska izmjena.

### 9.4.1 Ultrafiltracija i reverzna osmoza

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.

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.

### 9.4.2 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 (slika 37).

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.



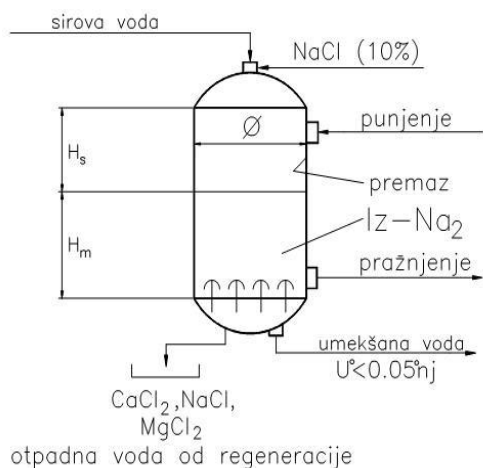
Slika 37. Različiti oblici aktivnog ugljika

Proces pročišćavanja otpadnih voda adsorpcijom bazira se na propuštanju vode preko aktivnog ugljena. Na ovaj način se vrlo efikasno uklanjaju teški metali iz otpadnih voda.

### 9.4.3 Ionska izmjena

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. Na slici 38 prikazana je shema i fotografija ionskog izmjenjivača.

Ionski izmjenjivači se više primjenjuju za pripremu i deionizaciju sirove vode nego za pročišćavanje otpadne vode.



Slika 38. Shema (a) i fotografija, (b) ionskog izmjenjivača

## 9.5 Biološki procesi pročišćavanja

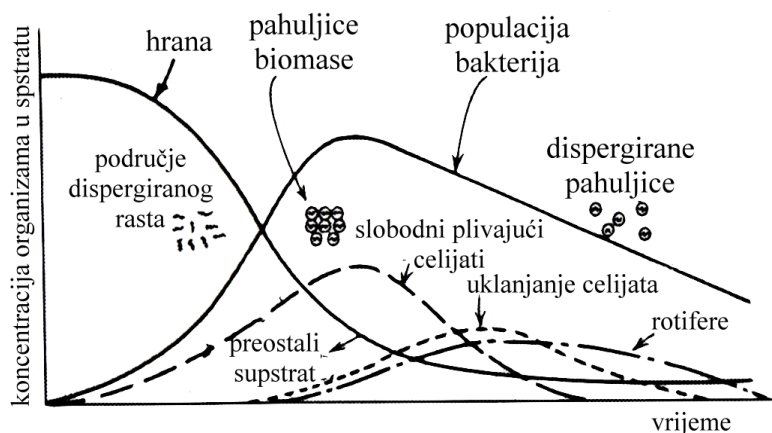
Veliki dio organskih onečišćenja koja se nalaze u vodi mogu biti u neotopljenom ili u otopljenom stanju. Ukoliko se radi o neotopljenim organskim tvarima, one se uklanjaju jednim od već opisanih postupaka. Otopljene organske tvari moguće je ukloniti samo biokemijskom (biološkom) razgradnjom. Međutim, 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 (slika 39) razviju 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 39. Biološki bazen u ljevaonici Lipovica d.o.o.

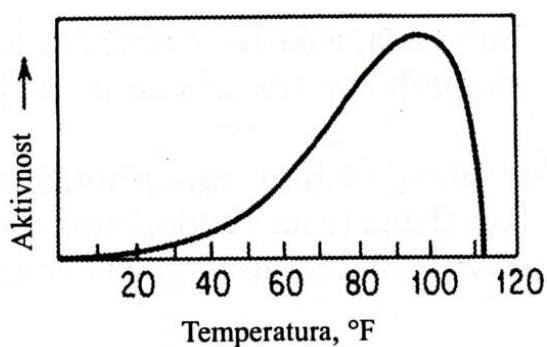
Budući da se radi o živim organizmima (mikroorganizmi) i umjetno stvorenim uvjetima posebnu pažnju treba obratiti svakom čimbeniku koji utječe na rast i razvoj mikroorganizma. Tako je potrebno u svakom trenutku osigurati dovoljnu količinu hranjivih tvari, te izbjegavati uvjete s naglim promjenama temperature 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 (slika 40). Kada mikrobi cvatu, hrana koju primaju može ograničavati njihov rast (opadanje). Usljed 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 40. 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. Na slici 41 je prikazana promjena aktivnosti bakterija u ovisnosti o promjeni temperature otpadne vode.



Slika 41. Promjena aktivnosti bakterija u ovisnosti o promjeni temperature otpadne vode

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 otpadne vode. Da bi se to postiglo, provodi se aklimatizacija bakterija u periodu od tjedan dana. Tijekom aklimatizacije bakterije su u kontaktu 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 organska onečišćenja u vodi.

Kategorije 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 fakultativni mikroorganizmi mogu živjeti uz kisik, ali i bez njega.

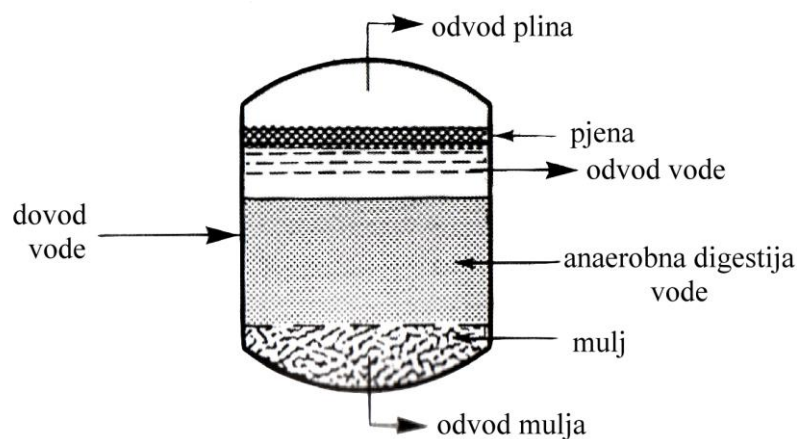
Anaerobni sustavi obično najbolje razgrađuju vode s velikom količinom organskih onečišćenja te pritom proizvode  $\text{CH}_4$ . U tehnološkom sustavu anaeroban proces razgradnje naziva se truljenje.

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).

Anaerobnom digestijom proizvede se do 70 % metana koji se može koristiti za zagrijavanje anaerobnog reaktora. Na slici 42 je shematski prikaz anaerobnog reaktora.



Slika 42. Shematski prikaz anaerobnog reaktora

Osim obrade vode u anaerobnim reaktorima, pročišćavanje bez prisustva zraka provodi se i 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.

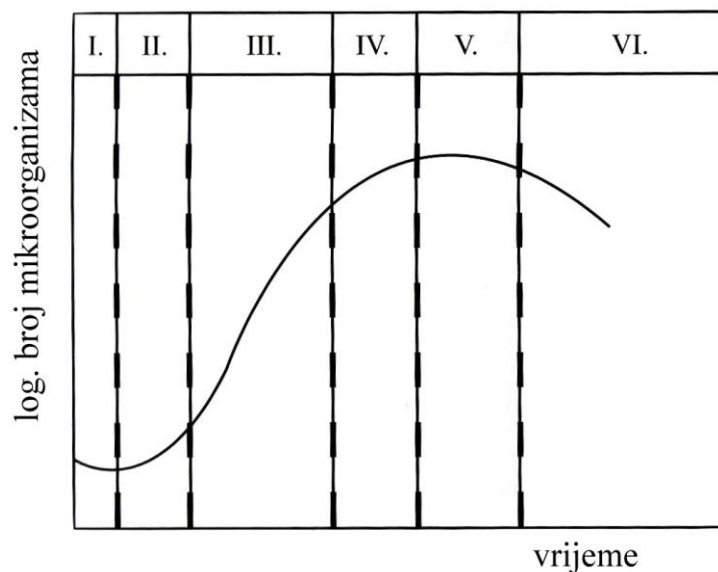
Obično se septičke jame sastoje od dviju ili triju komora. Prva komora je veća i u njoj se provodi taloženje. Druga (i treća) komora su komore u kojima se provodi preljevanje prema zakonu spojenih posuda. Naime, otpadna voda dolazi u prvu komoru, provodi se taloženje, a uslijed povećanja volumena u prvoj 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  $\text{CO}_2$ . 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.

Mikrobiološki gledano, rast mikroorganizama je opisan krivuljom rasta koja je prikazana na slici 43.



Slika 43. Krivulja rasta mikroorganizama



Krivulja rasta opisuje rast mikroorganizama u šest faza:

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

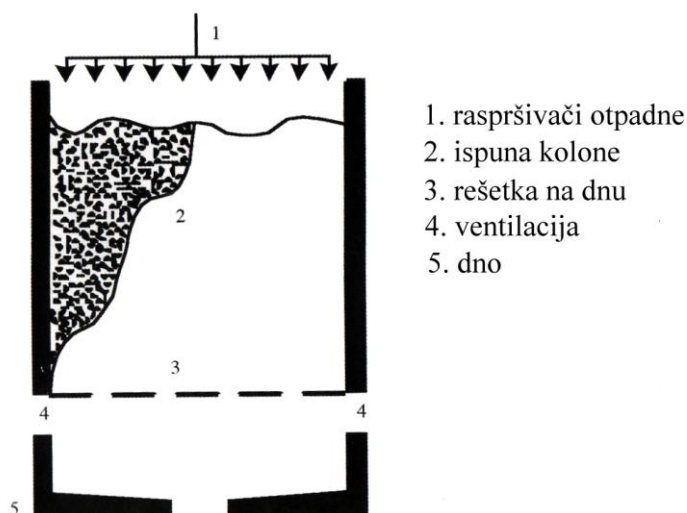
Lag faza se još naziva i faza zadržavanja. U ovoj fazi se mikroorganizmi prilagođavaju novoj sredini. Neki od mikroorganizama se uspiju prilagoditi, dok manji broj odumire. U ovoj fazi se provodi dijeljenje stanica, međutim ono je vrlo sporo. Trajanje ove faze ne može se procijeniti, ono ovisi o broju, 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 ekspanzionalna 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 (metabolitičkim 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 uporabljeni biološki postupci pročišćavanja svrstani su u tri skupine:

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

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 (slika 44). 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.



Slika 44. Shematski prikaz 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.

Obzirom na dotok vode, odnosno sadržaj organskih tvari, prokapnici su različito opterećeni. Razlikuju se prokapnici koji su nisko, srednje, visoko i posebno opterećeni. U tablici 14 su prikazani karakteristični parametri prokapnika kod različitih opterećenja.

Tablica 14. Karakteristični parametri prokapnika kod različitih opterećenja

PARAMETAR	NISKO OPTEREĆENI	SREDNJE OPTEREĆENI	VISOKO OPTEREĆENI	POSEBNO OPTEREĆENI
Hidrauličko opterećenje, [m <sup>3</sup> /(m <sup>2</sup> · d)]	1-4	4-10	10-40	40-200
Organsko opterećenje, [kg BPK <sub>5</sub> / (m <sup>3</sup> · d)]	0,08	0,24-0,48	0,32-1,0	0,80-6,0
Visina ispune, m	1,5-3,0	1,25-2,5	1-2	4,5-12
Odnos povratne vode	0	0-1	1-3	1-4
Ispuna	kamen troska	kamen troska	kamen troska plastika	plastika drvene letve
Ispiranje biološke ispune	povremeno	povremeno	stalno	stalno
Pročišćena voda	potpuno nitrificirana	djelomično nitrificirana	nitrificirana pri nižem opterećenju	nitrificirana pri nižem opterećenju

Lagune su mjesta na kojima se odvija pročišćavanje vode u prirodnim uvjetima (slika 45). 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 45. Laguna

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. Budući da su lagune smještene na otvorenom prostoru koji od ovih procesa će se odvijati ovisi o vremenskim uvjetima (temperatura, količina i učestalost oborina, vjetar i sl.). U tablici 15 je prikazana promjena organskog opterećenja u laguni u ovisnosti o dubini lagune, vremenu zadržavanja vode i načinu razgradnje.

Tablica 15. Promjena organskog opterećenja u laguni u ovisnosti o dubini lagune, vremenu zadržavanja vode i načinu razgradnje

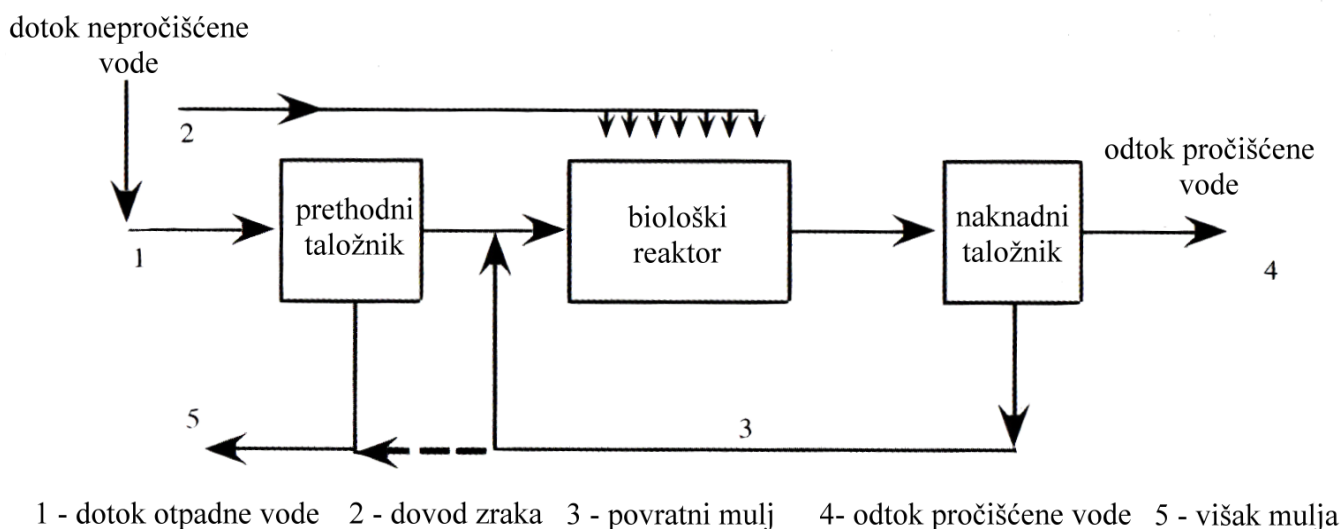
POKAZATELJ	RAZGRADNJA		
	AEROBNA	ANAEROBNA	AEROBNO-ANAEROBNA
Dubina, m	0,3-0,45	2,5-5	1-2
Vrijeme zadržavanja, dani	4-6	20-50	7-30
Organsko opterećenje [kg BPK <sub>5</sub> / (ha · d)]	100-150	200-500	20-80

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.

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 (slika 46).



Slika 46. Shema postupka pročišćavanja otpadne vode aktivnim muljem

Dodavanje zraka (kisika) u biološki reaktor osigurava aerobne uvjete za razgradnju organskih tvari. Za upuhivanje zraka koriste se tzv. aeratori (slika 47) koji mogu biti pneumatski, mehanički i kombinirani. Zrak se upuhuje u obliku mjehurića manjih od 1,5 mm, mjehurića srednje veličine (do 18 mm) i krupne veličine (iznad do 120 mm). Upuhivanje može biti plitko ispod vodene razine ili površinskim aeratorima.



Slika 47. Aeratori na dnu biološkog reaktora

Naknadni taložnik osigurava izdvajanje suspendiranih tvari iz vode koja dolazi iz biološkog reaktora. Istaložene tvari su uglavnom bakterije koje još uvijek maju sposobnost razgradnje organskih tvari te se stoga i vraćaju u biološki reaktor. Količina mikroorganizama koja se vraća (povratni mulj) ovisi o količini organske tvari koja dotiče u biološki reaktor. Na slici 48 je prikazan naknadni taložnik u ljevaonici Lipovica d.o.o.



Slika 48. Naknadni taložnik u ljevaonici Lipovica d.o.o.

Mulj kao ostatak nakon obradbe otpadnih, komunalnih ili industrijskih voda, koje su podvrgnute biološkim postupcima, sadrži i vrijedne organske tvari (približno 70 %). Mulj koji ostaje u uređajima nakon pročišćavanja otpadne vode, potrebno je dodatno obraditi i konačno zbrinuti tako da ne predstavlja opasnost po okoliš.

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.
- terciarni mulj, koji nastaje kada je u postupcima obradbe otpadne vode odvojena terciarna 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).

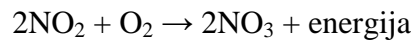
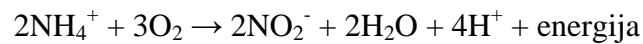
Kondiciranje je postupak pripreme mulja za zgušnjivanje i ocjeđivanje. Provodi se dodatkom sredstva za zgušnjavanje (kemijsko kondicioniranje), toplinom (160 – 210 °C) ili dodatkom inertnih tvari (najčešće pepela).

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. Najmanje prikladno je mulj odlagati.

### 9.5.1 Uklanjanje dušika i fosfora

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:



Za provođenje nitrifikacije koriste se autotrofne aerobne bakterije, dok se denitrifikacija odvija heterotrofnim strogo ili fakultativno anaerobnim bakterijama.

Nitrifikacija započinje kada je zadržavanje otpadne vode tri ili više dana. Proces će se najbolje odvijati kada je u otpadnoj vodi prisutno 2-3 mg/L kisika, te pri pH od 8 do 9. Za optimalno provođenje procesa nitrifikacije bitna je i temperatura. Optimalno je temperaturu održavati na 20 °C, a svako sniženje temperature snižava 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 efikasnost denitrifikacijskog procesa.

Procjenjuje se da se postupcima pročišćavanja vode aktivnim muljem može ukloniti 30 do 50 % ukupnog dušika. Ukoliko se uz ovaj proces provede i nitrifikacija i denitrifikacija uklanjanje dušikovih spojeva raste i do 90 %. Na slici 49 je prikazan reaktor za nitrifikaciju.



Slika 49. Reaktor za nitrifikaciju

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.

## LITERATURA

V. B. Rukavina, D. Damjanović, Tehnologija vode i tehnologija napojne vode, Savez energetičara Srbije, Beograd, 1984.

A. Rastovčan - Mioč, Uvod u ekologiju, skripta, Metalurški fakultet, Sisak, 2009.

[www.zemljani.com](http://www.zemljani.com)

<https://portal.uniri.hr/system/resources/docs/000/001/741/original/Predavanja>

B. Tušar, Pročišćavanje otpadnih voda, Kigen d.o.o., Zagreb 2009.

F. N. Kemer, Nalkov priručnik za vode, Jugoslavenska inženjerska akademija, Savez inženjera i tehničara Srbije, Građevinska knjiga, Beograd, 2005.

<http://www.grad.hr/nastava/hidrotehnika/gf/zastitavoda/predavanja/zastitavoda1.pdf>

G. Gulič, Priprema vode, Izdavačko-štamarsko poduzeće Minerva, Subotica, 1969.

<http://matrixworldhr.wordpress.com/2013/04/13/tezina-autizma-povezana-s-kolicinom-teskih-metala-u-krvi/>

Narodne novine (2008): Pravilnik o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće, NN 47/08

<http://www.hidroex.hr/voda.htm>

I. Mijatović, M. Matošić, Tehnologija vode, Prehrambeno – biotehnološki fakultet Zagreb, Zagreb, 2009.

<http://www.plivamed.net>

<http://hr.wikipedia.org/wiki/Filtracija>

<http://www.aquavmv.hr/flokulanti.php>

[http://hr.wikipedia.org/wiki/Obrada\\_vode](http://hr.wikipedia.org/wiki/Obrada_vode)

<http://www.waterline.hr/kinetico/>

A. Višekruna, J. Lukić, Otpadne vode tvornice aluminija, Međunarodna konferencija o upravljanju opasnim i neopasnim otpadom u regiji, Zenica, 2010.

[www.grad.hr/nastava/hidrotehnika/gf/zastitavoda/.../zastitavoda1.pdf](http://www.grad.hr/nastava/hidrotehnika/gf/zastitavoda/.../zastitavoda1.pdf)

[www.grad.unizg.hr/.../2.6.Prociscavanje\\_otpadnih\\_voda%5B2%5D.p...](http://www.grad.unizg.hr/.../2.6.Prociscavanje_otpadnih_voda%5B2%5D.p...)

[rudar.rgn.hr/~mklanfar/nids\\_mklanfar/.../Plinovi.pdf](http://rudar.rgn.hr/~mklanfar/nids_mklanfar/.../Plinovi.pdf)

D. Tkalčić, Kontrola i tehnologija pročišćavanja otpadnih voda, Udruženje za tehnologiju vode, Beograd, 1975.

<http://www.vodovod-st.hr/Onama/Djelatnost/Odvodnja/tabid/79/Default.aspx>

N. P. Chermisnoff, Handbook of Water and Wastewater Treatment Technologies, Butterworth-Heinemann, Boston, 2002.

[www.ekologija.ba/index.php](http://www.ekologija.ba/index.php)



[http://www.veleri.hr/files/datoteke/nastavni\\_materijali/k\\_sigurnost\\_3/2-OKOLIS-3ST.pdf](http://www.veleri.hr/files/datoteke/nastavni_materijali/k_sigurnost_3/2-OKOLIS-3ST.pdf)

<http://www.vvk.hr/usluge/odvodnja/upov3.html>

A. Özer, Removal of Pb(II) ions from aqueous solutions by sulfuric acid-treated wheat bran, *Journal of Hazardous Materials*, 141(2007)3, 753-761.

Z. Hu, M. P. Srinivasan, Y. Ni, Novel activation process for preparing highly microporous and mesoporous activated carbons, *Carbon*, 39(2001), 877-886.

M. Ahmaruzzaman, D. K. Sharma, Adsorption of phenols from wastewater, *Journal of Colloid and Interface Science*, 287(2005)1, 14-24.

F. B. Aarden, Adsorption onto Heterogeneous Porous Materials, Equilibrium and Kinetics, Technische Universiteit, Eindhoven, 2001.

Lj. R. Radović, Chemistry and Physics of Carbon, Marcel Dekker, New York, 2001.

S. Babel, T. A. Kuriniawan, Low-cost adsorbents for heavy metals uptake from contaminated water: a review, *Journal of Hazardous Materials*, B97(2003)1-3, 219-243.

A. Štrkalj, Sorpcija Cr (VI) i Ni (II) iona iz vodene otopine na ugljičnoj anodnoj prašini, Doktorski rad, Metalurški fakultet, Sisak, 2009.

S. Duraković, Opća mikrobiologija, Prehrambeno tehnološki inženjering, Zagreb, 1996.

N. Ružinski, Obrada otpadnih voda, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2009.

<http://www.interplan.hr/biolaguna/>

D. L. Russell, Practical wastewater treatment, Wiley-Interscience, New Jersey, 2006.

F. R. Spellman, Handbook of Water and Wastewater Treatment Plant Operations, Taylor & Francis Group, New York, 2009.

N. P. Chermisnoff, Biotechnology for Waste and Wastewater treatment, Noyes Publications New Jersey, 1996.

N. F. Gray, Biology of Wastewater Treatment, Imperial College Press, London, 2004.

G. Tchobanoglous, F. L. Burton, H. D. Stensel, Wastewater Engineering, Treatment and Reuse, McGraw - Hill Companies, Hong Kong, 2003.

F. Woodard, Industrial Waste Treatment Handbook, Woodard and Curran, New York, 2001.

R. E. Weiner, R. A. Matthews, Environmental Engineering, Einemann, Amsterdam, 2003.

G. Ilišić, M. Maksimović, Đ. Vojinović, Koagulacija i flokulacija u procesu pripreme vode za piće na pilot postrojenju, Zbornik radova Tehnološkog fakulteta, Tehnološki fakultet, Banja Luka, 2005, 124-137.

A. A. Lewinsky, Hazardous Materials and wastewater, Treatment, Removal and Analysis, Nova science Publishers, New York, 2007.