

## 8. ЗАГАЂИВАЊЕ ВОДА

### Циљеви поглавља:

- Упознавање са врстама загађујућих материја у води
- Стицање основних знања о понашању загађујућих материја у води
- Изучавање процеса и начина загађивања вода

### Резиме:

Загађење вода је свака биолошка, физичка и хемијска промена водене средине која настаје путем директног или индиректног уношења различитих загађујућих материја у воду. Као извори загађивања природних вода могу се посматрати практично све активности човека у којима он користи воду. Према врсти загађујуће материје, разликујемо: физичка, хемијска и биолошка загађења вода. Посебни видови физичког загађења су термичко и радиоактивно загађење. Под термичким загађењем воде подразумева се промена природне температуре водене масе. Радиоактивно загађење воде настаје због присуства природних или вештачких радиоактивних елемената у њој. Хемијске загађујуће супстанце у воду могу dospети: таложењем из атмосфере на водене површине, третирањем пољопривредних површина пестицидима, са уличних површина и путева, из отпада индустријске производње и на други начин. Највећа количина загађујућих супстанци у воде доспева испуштањем отпадних вода различитог састава и из разних извора. Од неорганских загађујућих материја у води значајна су азотна једињења, водоник-сулфид, поједини метали, посебно тешки метали. У водама се најчешће срећу следеће органске загађујуће материје: нафта и њени деривати, феноли, пестициди, органофосфорна једињења, органохлорна једињења, полихлоровани бифенили, полициклични ароматични угљоводоници, површински активне материје и друго. Патогени организми у води представљају биолошке загађујуће материје, а то могу бити бактерије, вируси, гљиве, паразити и други микоорганизми.

### Summary

Water pollution is any biological, physical, and chemical change of the aquatic environment that occurs when various pollutants enter the water bodies. Practically, every human activity in which they uses water can be regarded as a source of pollution. According to the type of pollutant, we distinguish physical, chemical, and biological water pollution. Special types of physical pollution are thermal and radioactive pollution. Thermal water pollution is a change in the natural temperature of the water mass. Radioactive pollution of water occurs due to the presence of natural or artificial radioactive elements. Chemical pollutants can reach the water by atmospheric deposition, by runoffs from agricultural areas treated with pesticides, from street and road runoffs, from industrial waste, and in other ways. The largest amount of pollutants enters the water by discharging various wastewater from different sources. Among the inorganic pollutants in water, nitrogen compounds, hydrogen sulfide, some metals, especially heavy metals are important. The following organic pollutants are most commonly found in water: oil and its derivatives, phenols, pesticides, organophosphorus compounds, organochlorine compounds, polychlorinated biphenyls, polycyclic aromatic hydrocarbons, surfactants, etc. Pathogenic organisms in water, including bacteria, viruses, fungi, parasites and other microorganisms, are biological water pollutants.

## 8.1. Основни појмови о загађивању животне средине

Према Закону о заштити животне средине (2018) загађивање животне средине јесте уношење загађујућих материја или енергије у животну средину, изазвано људском делатношћу или природним процесима које има или може имати штетне последице на квалитет животне средине и здравље људи. Загађивање животне средине настаје услед присуства загађујућих материја које се дефинишу као материје чије испуштање у животну средину утиче или може утицати на њен природни састав, особине и интегритет. Присуство загађујућих материја у животној средини доводи до нарушавања квалитета животне средине, а промене које се јављају могу се описати квалитативно и квантитативно, што ближе дефинише Закон о водама (Службени гласник РС, бр. 95/2018).

Извори загађивања животне средине јесу локацијски одређени и просторно ограничени тачкасти, линијски и површински извори загађујућих материја и енергије у животну средину. Они могу бити природни и вештачки (антропогени). Природни извори су они процеси који се одвијају мимо воље човека и ту спадају спадају природне катаклизме (ерупције вулкана, земљотреси, цунами, космичка прашина), акцидентални шумски пожари, аеробна и анаеробна деградација органске материје у водама, земљишту, итд. У вештачке (антропогене) изворе загађивања спадају они који су последица људске делатности, нпр. саобраћај, индустрија, пољопривреда, сагоревање горива ради добијања енергије и друго (Веселиновић и др., 1995).

Према природи, загађивање животне средине може бити физичко, хемијско и биолошко (Tchobanoglous, Burton, & Stensel, 2003). Под физичким загађивањем се подразумева присуство физичког поља (јонизујућег и нејонизујућег зрачења, буке, вибрација, екстремних температура) у сфери животне средине које представља опасност за човека, живи свет, неживу природу и материјална добра. Хемијско загађивање животне средине настаје услед присуства природних и/или синтетских, неорганских и/или органских супстанци у одређеној концентрацији, у одређеном времену и простору. Биолошко загађивање животне средине изазивају микроорганизми, вируси и токсини<sup>1</sup> присутни у ваздуху, води или земљишту у одређеној концентрацији у којој нарушавају квалитет животне средине.

У науци је опште прихваћено да се под загађивањем животне средине подразумевају загађивања хемијским супстанцама, а када се говори о физичком или биолошком загађивању, то је потребно посебно нагласити (Ђармати и др., 2007). Загађујуће супстанце могу бити природне или синтетске, неорганске или органске. Према хемијској природи се деле на чисте супстанце и смеше супстанци. У чисте супстанце спадају хемијски елементи и хемијска једињења, а смеше могу бити хомогене и хетерогене. Према физичком стању загађујуће супстанце се деле у три основне групе: гасови и паре, течности и чврсте супстанце. Течне и чврсте супстанце фино дисперговане по ваздуху чине аеросол, а аеросоли на основу агрегатног стања загађујућих супстанци се класификују као: прашине, магле и димови.

Према Закону о заштити животне средине (Службени гласник РС, 95/2018) *опасне материје* јесу хемикалије и друге материје које имају штетне и опасне карактеристике. Штетне и опасне карактеристике су оне особине супстанци које могу да доведу до оштећења здравља човека, оштећења и уништавања животне средине или могу да нанесу штету материјалним добрима. Ту спадају оксидујуће особине,

<sup>1</sup> Токсин је хемијска супстанца која настаје у ћелијама живих организама (токсични организми), а која може да изазове нежељене ефекте на друге живе организме.

експлозивност, запаљивост, самозапаљивост, радиоактивност, корозивност, токсичност, опасност по животну (Уредба о граничним вредностима емисије загађујућих материја у воде и роковима за њихово достизање, 2016).

Врло често једна супстанца има више опасних особина (Правилник о опасним материјама у водама, 1982). *Токсичне супстанце* су супстанце које изазивају нежељене ефекте на живе организме било директним уношењем у организам преко органа за варење или дисањем, било њиховом апсорпцијом преко коже. Позавање физичких, хемијских и токсичних особина супстанци је од великог значаја јер омогућава одређивање или предвиђање понашања те супстанце и времена задржавања у животној средини, дејства на човека, живи свет, неживу природу и материјална добра, ради проналажења начина за чување, транспорт, детекцију, предвиђање адекватних мера заштите, санације, указивања помоћи и друго (Почуча, 2008; Правилник и начину и условима за мерење количине и испитивање квалитета отпадних вода садржини извештаја о извршеним мерењима, 2016).

## 8.2. Загађивање вода

Загађивање вода је свака биолошка, физичка и хемијска промена водене средине која настаје путем директног или индиректног уношења различитих загађујућих материја у воду и која има негативан утицај на организме који ту воду конзумирају или живе у њој. Вода текући уноси у своју средину штетне материје које су на површини земље или у њену порозну унутрашњост (Кристофоровић-Илић и др., 1998; Далмација, 2000).

Може се разликовати природно и антропогено загађивање вода.

Антропогено загађивање водене средине настаје као последица људских активности, којима се контаминира вода, уношењем различитих загађујућих материја без адекватног третмана за њихово уклањање. Нагли развој индустрије условљава већу потрошњу воде, а тиме и настајање веће количине отпадне воде. Хемијска, петрохемијска и сличне специфичне индустрије су најозбиљнији загађивачи водених ресурса (Далмација и Иванчев-Тумбас, 2003).

Загађивање воде може настати *случајно*, које понекад доводи до озбиљних последица, али и *неконтролисано*, свесно испуштање загађујућих материја.

Такође, загађивање вода се може посматрати као:

- директно и
- индиректно.

*Директно загађивање* вода настаје непосредним уношењем загађујуће материје у водену средину. Углавном је последица испуштања индустријске отпадне воде, канализацијских одвода и других вода које садрже велику концентрацију киселина, база и других за живот отровних материја.

*Индиректно загађивање* вода настаје уношењем у водену масу загађујуће материје са површинског слоја или порозне унутрашњости земље, затим падавинама које садрже штетне материје апсорбоване у капљицама кише, снежним пахуљицама (киселе кише, радиоактивне кише, црвени снег) и друго.

Према врсти загађујуће материје разликујемо:

- физичка,
- хемијска и
- биолошка загађивања вода.

### 8.2.1. Физичко загађивање вода

Физичко загађивање вода подразумева промену физичких карактеристика воде, које могу бити значајне за опстанак водених организама, али и самог човека. Ова врста загађења воде углавном настаје због промена температуре воде, утицајем радиоактивног загађење и друго.

#### • Термално загађивање

Под термалним загађивањем воде подразумева се промена природне температуре водене масе. Као што је у поглављу 5 објашњено, температура водене масе се природно мења у зависности од годишњег доба, дубине слоја воде, вегетације и осталог, чинећи циклус који се годинама понавља.

Међутим, промена температуре воде може настати и као последица антропогене активности. Термално загађење вода среће се у области великих индустријских постројења (нарочито од термо- и нуклеарних електрана), затим на местима упуштања топле комуналне или отпадне воде из пољопривреде у водоток и друго. Главни извори термалног загађења су воде које потичу из система проточног хлађења који се примењује у термоелектранама, из рафинерија нафте, хемијске индустрије и црне металургије, међутим на термално загађење може да утиче и изградња објеката (брана и друго), уништавање шума итд. Промене су нарочито изражене код стајаћих водених маса.

Свака, па и мала, промена температуре водене масе (самим тим и густине водене средине) има као последицу низ негативних појава, а неки од њих су:

- долази до нарушавања природних хидрохемијских процеса, што може довести до еутрофикације водених површина и промене тока биолошког кружења материје, чиме се онемогућава коришћење воде за индустрију и насеља.
- промене хемијског састава воде. Порастом температуре воде смањује се растворљивост кисеоника и осталих гасова што има као последицу промену биолошких и органолептичких карактеристика воде.
- повећање токсичности загађујућих супстанци које се налазе у води. Повећањем температуре воде повећава се токсичност цијанида (могу се наћи у отпадним водама рудника и металуршких постројења), затим пестицидима, метала и друго. На пример, токсичност цинка се утростручује са повећањем температуре воде од 15 на 25 °C.
- опстанак водених организама. Поједини организми су изузетно осетљиви на температурна колебања воде.

#### • Радиоактивно загађивање

Радиоактивно зрачење настаје као последица промена унутар атомског језгра, и не зависи од природних физичких и хемијских услова. Познато је око 60 радиоактивних елемената, који се могу наћи у земљи, ваздуху, води, храни, као и у живим бићима у која доспевају ланцем исхране. Радиоактивно загађивање воде углавном настаје због присуства вештачких радиоактивних елемената, док је присуство природних

радиоактивних елемената незнатно. Радиоактивни изотопи хемијских елемената могу се природно наћи и у водама дубљих хоризоната. Радиоактивни изотопи се у зависности од услова средине могу наћи у различитим хемијским облицима или комплексима са органским и неорганским лигандима. Тако, на пример (Јаковљевић и Пантовић, 1991):

- Радиоактивни изотопи цирконијума (Zr) граде стабилне комплексе са флуоридним и оксалатним јонима, али при ниској киселости образују колоиде чије се понашање не може предвидети;
- Изотопи ниобијума (Nb) се у растворима готово искључиво налазе у петовалентном стању;
- Изотопи техницијума (Tc) се у воденим растворима лако оксидују градећи анјон  $TcO_4^-$ ;
- Рутенијум ( $^{103,106}Ru$ ) је, по правилу, присутан у облику веома стабилних комплекса. Са нитратима из нуклеарног отпада образује нитрозокомплексе;
- Стронцијум ( $^{89,90}Sr$ ) и цезијум ( $^{137}Cs$ ) су у течним отпадима углавном заступљени као катјони  $Sr^{2+}$ ,  $Cs^+$ ;
- Јод ( $^{131}I$ ) ствара разноврсне растворне и гасовите продукте. У нуклеарном отпаду је присутан у облику једињења валентности до +7. Са органским растварачима образује веома стабилна једињења;
- Лантаниди се обично налазе у течном нуклеарном отпаду и то у облику хидроксида, уколико је базна средина, или као катјони простих и комплексних соли, у киселој средини.

Највећу опасност представљају продукти распадања језгара тешких метала који настају у нуклеарним реакторима и при нуклеарним експлозијама. Цепанем тешких језгара ( $^{235}U$ ,  $^{233}U$ ,  $^{239}Pu$  и других) настаје око 200 разних стабилних елемената и радиоактивних изотопа<sup>2</sup>. Најопаснији су дугоживећи изотопи, као што су стронцијум ( $^{90}Sr$ ) и цезијум ( $^{137}Cs$ ) са периодима полураспада од 29, односно 33 године.

Током процеса распадања радиоактивних материја настају зрачења која различито делују на живе организме:

- $\alpha$ -зрачење чини струја језгара атома хелијума. Ово зрачење делује на малом растојању (домет неколико центиметра), а човек се ефикасно може заштитити оделом, ракавицама и наочарима. Међутим, уколико се алфа честице унесу у организам инхалирањем или оралним путем њихово дејство је веома опасно (смртоносно).
- $\beta$ -зрачење представља струју емитованих  $\beta$ -честица (електрона или позитрона). Домет бета честица је неколико метара и зауставља их алуминијумски лим дебљине 3 mm. Попут  $\alpha$ -честица,  $\beta$ -честице представљају опасност за организам у случајевима инхалационог или оралног уноса.
- $\gamma$ -зрачење је облик електромагнетног зрачења са најпродорнијим фотонима, односно најмањим таласним дужинама у електромагнетном спектру. Од овог зрачења заштиту пружају материјали велике густине, као што је олово.

*Природна радиоактивност вода* је обично ниска, и углавном потиче од присуства ретких елемената, као што су радијум ( $^{226}Ra$ ), торијум ( $^{232}Th$ ), радон ( $^{222}Rn$ ), у мањим

<sup>2</sup> Радиоактивни изотоп (радиоизотоп) или радионуклид је изотоп хемијског елемента код којег постоји вишак масе или енергије, па стабилност постиже радиоактивним распадом.

количинама уран ( $^{238}\text{U}$ ), и производа њиховог радиоактивног распада. Такође, може се наћи и радиоактивни изотоп калијума ( $^{40}\text{K}$ ), кога у природи има у количини од 0,011% и који при распадању емитује  $\beta$ - и  $\gamma$ -зрачење, а продукти распада су калцијум и аргон. Концентрација природних радиоактивних елемената у водама зависи од географског подручја и углавном нема утицаја на здравље човека.

*Вештачка радиоактивност воде потиче од супстанци које у природне воде доспевају:*

- атмосферским падавинама (радиоактивне кише), које настају после нуклеарних проба,
- отпадним водама из нуклеарних реактора и индустријске производње радиоактивних елемената,
- из постројења за обраду озраченог горива,
- услед хаварије на нуклеарним електранама, пловним објектима на атомски погон и друго.

Загађивање вода мора и окена вештачким радиоактивним материјама почело је средином прошлог века, са развојем нуклеарног оружја и почетком примене фисионих процеса у индустрији. Главни извор радиоактивних материја у водама мора и окена су нуклеарна постројења, која свој отпад (радиоактивне продукте фисије) одлажу у дубоке воде<sup>3</sup>. Међутим, значајне количине фисионих продуката долази и речним токовима у мора и океане. Хемијски састав отпада из нуклеарних постројења зависи од технологије прераде нуклеарног горива, и најчешће је у облику концентрованих или базних раствора соли.

Зависно од хемијског облика радиоактивног елемента у нуклеарном отпаду, може се предвидети његово даље понашање у воденој маси. При томе значајну улогу играју и фактори као што су: физичко-хемијске особине чврсте материје која садржи нуклид, хемијске особине елемената, специфичне особине саме водене средине, временски фактори и друго.

Према интеракцији са воденом средином вештачки радиоизотопи се условно, могу сврстати у три групе:

- *радиоизотопи који се лако мешају са водом* – они у морској води имају један физичко-хемијски облик. У ову групу спадају: трицијум ( $^3\text{H}$ ), технецијум ( $^{97}\text{Tc}$ ), радиоактивни стронцијум ( $^{90}\text{Sr}$ ), делимично цезијум ( $^{137}\text{Cs}$ ) и други;
- *радиоизотопи који се ефикасно сорбују на суспензијама и седиментима воде* – то су лантаниди ( $^{144,141}\text{Ce}$ ,  $^{147}\text{Ce}$ ,  $^{147}\text{Pm}$ ),  $^{90}\text{Sr}$  и делимично  $^{91}\text{Y}$ ,  $^{95}\text{Zr}$ ,  $^{95}\text{Nb}$ ,  $^{106}\text{Ru}$ ;
- *биолошки активни радиоизотопи* – пре свега, изотопи микроелемената групе гвожђа ( $^{54}\text{Mn}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{55}\text{Fe}$ ,  $^{63}\text{Ni}$ ),  $^{65}\text{Zn}$ ,  $^{51}\text{Cr}$ .

Миграција наведених група остварује се различитим механизмима: мешањем водених маса, седиментационим преносом и биоциркулацијом. Радиоактивни елементи могу да се адсорбују на суспендованим честицама у води и да се заједно са њима сталожје стварајући радиоактивно загађење доњих слојева – муља. Повећана радиоактивност може се наћи и у површинском слоју воде на успореним местима протока, у пени која

<sup>3</sup> Нуклеарне електране на сваки добијени мегават (MW) електроенергије стварају 3-4 g фисионих продуката.

настаје при јаким ветровима или другом.

Водени организми (рибе, мекушци, љускари и алге) могу имати повећану концентрацију радиоактивних елемената, што је опасно уколико се користе у људској исхрани. Радиоактивни елементи се могу наћи и у биљкама, уколико се заливају загађеном водом. Због тога при испитивању радиоактивне загађености резервоара са водом или водених акумулација обавезно треба узимати пробе не само воде, већ и муља, површинског слоја и пене, као и водене флоре и фауне.

Значајно је да се радиоактивне супстанце у људски организам могу унети водом за пиће. Међутим, сматра се да је допринос озрачивању популације радиоактивним елементима из воде за пиће врло мали и углавном је последица присуства природних радиоактивних изотопа урановог и торијумовог низа. Доза озрачивања организма водом за пиће зависи од унете количине радионуклида, његовог метаболизма и кинетике у организму. Прорачун толерантне концентрације радиоактивних изотопа у води за пиће заснива се на њиховој укупној унетој количини у организам у току једне године, при конзумирању два литра воде дневно, узимајући у обзир параметре метаболизма код одраслих. Препоручени референтни ниво ефективне дозе током једногодишње конзумације пијаће воде износи 0,1 mSv, што чини мање од 5% просечне ефективне дозе укупне годишње природне радијације коју човек прими (Правилник о хигијенској исправности воде за пиће, 2019). Испод овог референтног нивоа дозе, питка вода је прихватљива за конзумирање и није неопходно спровести поступке за смањивање садржаја радионуклида. При доношењу одлуке о подобности воде за људску употребу, са радиолошког аспекта, потребно је дефинисати и одговарајуће концентрације појединих радиоизотопа у води за пиће. Светска здравствена организација препоручује да се при оцени радиолошких показатеља квалитета воде за пиће не прави разлика између природних и вештачких радиоануклида (WHO, 2017).

Код радиоактивност воде у водоводној мрежи примењују се поступци пречишћавања воде, најчешће таложењем и филтрацијом, којима се може уклонити до 98%  $^{226}\text{Ra}$ .

Дозе при једногодишњем уношењу радиоизотопа водом за пиће, са вредностима специфичне активности за поједине нестабилне радиоактивне изотопе, дате су у табели 8.1. Испод ових референтних нивоа не предвиђају се никаква детаљнија испитивања нити акције.

**Табела 8.1.** Концентрације активности појединих радиоизотопа које одговарају дози од 0,1 mSv за једногодишње уношење са водом за пиће\*

| Радиоизотопи      | Дозни конверзионни фактор (Sv/Bq)** | Референтни нивои концентрације (Bq/l) |
|-------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|
| $^3\text{H}$      | $1,8 \times 10^{-11}$               | 7800                                  |
| $^{14}\text{C}$   | $5,6 \times 10^{-10}$               | 250                                   |
| $^{60}\text{Co}$  | $7,2 \times 10^{-9}$                | 20                                    |
| $^{89}\text{Sr}$  | $3,8 \times 10^{-9}$                | 37                                    |
| $^{90}\text{Sr}$  | $2,8 \times 10^{-8}$                | 5                                     |
| $^{129}\text{I}$  | $1,1 \times 10^{-7}$                | 1                                     |
| $^{131}\text{I}$  | $2,2 \times 10^{-8}$                | 6                                     |
| $^{134}\text{Cs}$ | $1,9 \times 10^{-8}$                | 7                                     |

|                   |                      |     |
|-------------------|----------------------|-----|
| $^{137}\text{Cs}$ | $1,3 \times 10^{-8}$ | 10  |
| $^{210}\text{Pb}$ | $1,3 \times 10^{-6}$ | 0,1 |
| $^{210}\text{Po}$ | $6,2 \times 10^{-7}$ | 0,2 |
| $^{224}\text{Ra}$ | $8,0 \times 10^{-8}$ | 2   |
| $^{226}\text{Ra}$ | $2,2 \times 10^{-7}$ | 1   |
| $^{228}\text{Ra}$ | $2,7 \times 10^{-7}$ | 1   |
| $^{232}\text{Th}$ | $1,8 \times 10^{-6}$ | 0,1 |
| $^{234}\text{U}$  | $3,9 \times 10^{-8}$ | 4   |
| $^{238}\text{U}$  | $3,6 \times 10^{-8}$ | 4   |
| $^{239}\text{Pu}$ | $5,6 \times 10^{-7}$ | 0,3 |

\* WHO, 1993.

\*\* NRPC, 1999.

### 8.2.2. Хемијско загађивање вода

Хемијске загађујуће материје су један од најважнијих проблема савременог света. Оне су стални, непожељни, пратиоци техничко-технолошког развоја и представљају један од чинилаца све израженијих негативних промена у природи.

Загађивање воде је најчешће резултат неконтролисаних испуштања загађујућих материја различитог порекла. Хемијско загађење вода се јавља у свим срединама где се према воденим системима човек односи као према природним одводним каналима.

Загађујуће супстанце у воду могу доспети:

- из атмосфере,
- као последица третирања пољопривредних површина пестицидима или услед прихрањивања култура минералним ђубривима,
- са уличних површина и путева,
- из отпада индустријске производње,
- испуштањем отпадних вода различитог састава, што представља главни извор загађујућих супстанци у водама.

Као извори загађивања природних вода могу се посматрати практично све активности човека при којима се користи вода, односно долази у додир с њом. Сматра се да укупна запремина отпадних вода, због пораста броја становника у свету, расте из године у годину и по глави становника износи око  $0,3 \text{ m}^3$  на дан. Садржај загађујућих супстанци у отпадним водама је мањи уколико се воде пречисте пре њиховог испуштања у природне токове.

Понашање загађујућих супстанци унетих у природну водену средину, уопштено зависи од њихове природе (физичких и хемијских особина, биоразградивости и друго), али и особина природне водене средине. Прогноза понашања загађујућих супстанци је сложена у случају растворених супстанци, које се крећу заједно са воденом масом, него када се таложе под утицајем силе Земљине теже. Загађујуће супстанце мо-гу да подлежу физичким и/или хемијским процесима и/или биолошким реакцијама. Промена концентрације загађујуће супстанце са временом и растојањем од места упуштања у водену средину лакше се одређује уколико супстанца подлеже само физичким процесима, а најсложеније је праћење када подлеже хемијским и/или биолош-

ким процесима трансформације. Посебно је тешко унапред одредити понашање супстанци које подлежу биохемијској оксидацији, с обзиром да на брзину ових реакција утичу многи чиниоци, а посебно температура, концентрација раствореног кисеоника, присуство супстанци које ометају или убрзавају ове реакције (Веселиновић и др., 1995).

Основна подела хемијских загађујућих материја у водама је на:

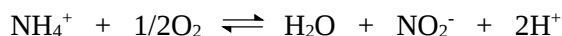
- неорганске (метали, нитрати, фосфати и друго),
- органске (нафта и њени деривати, пестициди, детарценти и друго).

## Неорганске загађујуће супстанце

У воденим срединама су присутна бројна неорганска једињења, од којих се многа могу сматрати загађујућим супстанцама. Главни извори неорганских загађујућих супстанци у природним водама су индустријски и урбани отпад, пољопривреда, саобраћај, спирање супстанци које се у земљишту налазе природно или су пак доспеле људском активношћу. У овој књизи ће бити обрађене само одабране неорганске супстанце које имају значајан утицај на карактеристике воде и акватичне системе.

### • Нитрати

Нитрати представљају крајњи производ оксидативне трансформације азота од амонијака, преко нитрита, до нитрата<sup>4</sup>. Овај процес назива се нитрификација и о томе је детаљније било речи у поглављу 6:



У водама се могу наћи сва три облика азота. Међутим, амонијачни и нитритни облици су нестабилни и прелазе у стабилан крајњи нитратни облик ( $\text{NO}_3^-$ ). Процес преласка нитритног азота у нитратни је кратак (30–45 дана), али се може успорити или убрзати у зависности од температуре и хидрохемијских фактора. У редукционој средини процес нитрификације се успорава или чак и потпуно зауставља, тако да се амонијак дуго задржава. Супротан процес нитрификацији је денитрификација, тј. редукција нитратног азота до амонијачног (Далмација, 2001).

У савременим условима живота значајани извори азотних једињења су индустријски, нарочито комунални отпад, отпадне воде, као и употребе азотних ђубрива у пољопривредној делатности. Нитрити и друга азотна једињења се у знатној количини могу наћи на пољопривредним површинама и у близини великих сточних фарми због неадекватног одлагања органског отпада и примене азотних ђубрива, често и неконтролисано. Такође, у земљиште годишње прелази већа количина органског азота од биљних остатака, које микроорганизми трансформишу у неорганске облике. Нитрати у површинске воде доспевају испирањем земљишта, а знатно мање атмосферским падавинама. Повећана концентрација нитрата у водама је најчешће последица органске контаминације воде. Код подземних незагађених вода концентрација нитрата је веома мала (стоти део милиграма на литар). Међутим, нитрати могу доспети и до подземних водоносних слојева инфилтрацијом

<sup>4</sup> У поглављу 6.3. детаљније је објашњено присуство и трансформација азота и његових једињења у природним водама.

површинских и подземних вода. У тим водоносним слојевима нитрати се дуго задржавају јер не постоје потрошачи нитрата, односно живи свет, тако да нитрати могу постати доминантни јони, што изузетно погоршава квалитет воде.

Нитрати, због добре растворљивости у води и слабе сорпције, имају велику моћ премештања (миграције) у воденој средини.

За човека нитрати представљају здравствено опасне намирнице, јер у организму граде *нитрозамине*, који су познати као активни канцерогени. Уношењем већих количина нитрата у организам јављају се знаци тровања, који почињу са дубљим и отежаним дисањем и појавом плаве боје лица, затим долази до губитка свести, а може доћи и до смрти.

*Еутрофикација.* Под процесом еутрофикације подразумева се повећање продукције живог света (биомасе) у водама. Еутрофикација настаје онда када је повећан прилив хранљивих – биогених материја у води: минералних облика азота, фосфора и сумпора. Ова појава је најчешће последица спирања ђубрива богатих фосфатима и нитратима са њива и других агроекосистема у воду, које је условљено атмосферским падавинама. Доспевањем већих количина азота и фосфора у воду биљке, посебно алге, почињу да бујају. Њихова повећана продукција, односно повећана количина саме органске материје, захтева и повећану количину кисеоника за оксидацију, чиме се смањује количина раствореног кисеоника у води, а стварају се додатне количине азота и фосфора. У таквим условима при дну водене масе ствара се анаеробна средина, у којој се сулфати микробиолошким трансформацијама преводе у водоник-сулфид (Почуча, 2008).

Услед еутрофикације, код плитких вода, чији се горњи слојеви загревају Сунчевом енергијом, долази до развоја аутотрофних бактерија (нитрификатора и сулфиторедукујућих), као и зелених и плавозелених алги. Појава алги, од којих неке могу бити и токсичне, назива се „*цветање воде*“, слика 8.1. Овим се онемогућава коришћење воде за водоснабдевање.



Слика 8.1. Цветање воде - еутрофикација

Плавозелене алге се могу развити и тамо где је биоценоза нарушена због привредне делатности, односно у воденој средини где већина организама изумире. Један од значајних фактора цветања воде је успорено или знатно смањено мешање воде и пораст муљевитости, што доводи до смањења количине кисеоника у води, нарочито у слојевима при дну. Зелене и плавозелене алге погоршавају квалитет воде, стварајући обојење воде и непријатан мирис и укус. Продукти њиховог распадања су штетне и токсичне супстанце, које подлежу процесима ферментације, уз настанак испарљивих

једињења која штетно делују на друге организме.

Еутрофикација је нарочито изражена код вода које мирују, као што су вештачке акумулације, језера, плиће водене површине и друго.

#### • Кисели оксиди

Оксиди неметала (кисели оксиди), нарочито сумпора и азота, са воденом паром у атмосфери стварају киселе кише, које до водених и копнених површина доспевају као атмосферске падавине. Мада су киселе кише карактеристичне за области са развијеном индустријом, струјањем ваздуха се могу ширити на веће удаљености. Поред негативног утицаја на биљни покривач, киселе кише имају и неповољан ефекат на квалитет воде, првенствено јер доводе до закишељавања воде. Смањење рН вредности воде неповољно утиче на водене организме, нарочито рибе, а значајно смањење доводи до изумирања микроорганизама.

Извори киселих оксида су разноврсни, а најзначајнији су индустријска постројења и саобраћај. Знатна количина киселих оксида се ослобађа у току технолошких процеса производње и прераде метала (нарочито производње челика), али и из напуштених рудника угља и друго. У табели 8.2. наведени су неки значајнији извори киселих оксида.

**Табела 8.2.** Извори киселих оксида који утичу на рН вредност воде (Ђармати и др., 2007)

| Оксид             | Извор                                                        |
|-------------------|--------------------------------------------------------------|
| Угљеник(II)-оксид | мотори са унутрашњим сагоревањем, индустрија, термоелектране |
| Угљеник(IV)-оксид | индустрија, термоелектране                                   |
| Сумпор(IV)-оксид  | индустрија, термоелектране                                   |
| Сумпор(VI)-оксид  | индустрија, термоелектране                                   |
| Оксиди азота      | авионски мотори, индустрија                                  |

#### • Водоник-сулфид

Водоник-сулфид може бити природни састојак вода јер настаје у току анаеробног процеса биохемијског разлагања органске материје под дејством микроорганизама, али и у реакцији сулфида из земљине коре и угљене киселине из воде. Повећана количина водоник-сулфида може се наћи у водама у које се упуштају сулфатне отпадне воде из рударства или металургије.

Посматрано са санитарног аспекта, присуство  $H_2S$  у води указује и на могуће загађење фекалијама. Вода која садржи водоник-сулфид непријатног је мириса (на покварена јаја), који се осећа у концентрацији од 0,0014 mg/l ваздуха, односно од 0,1 mg/l воде. Количина слободног  $H_2S$  у води, након растварања, изразито се смањује са повећањем рН воде. Водоник-сулфид је веома отрован гас, који у концентрацији од само 0,2% у ваздуху изазива смрт за само неколико минута (Кристофоровић-Илић и др., 1998).

#### • Метали

Метали се, према хемијској класификацији, сврставају у групу неорганских супстанци, а са аспекта утицаја на квалитет воде се изучавају као посебна група. Присуство метала у животној средини је последица *природних процеса*, као што су

литогени и педогени процеси, пешчане олује, шумски пожари и друго. Међутим, до наглог повећања концентрације метала у животној средини је дошло почетком двадесетог века као последица *антропогене активности*.

*Тешки метали* су они метали чија је специфична тежина већа од  $5 \text{ g/cm}^3$ , односно атомски број већи од 20. Они се сматрају веома опасним загађујућим супстанцама које су широко распрострањене у свим медијумима животне средине. Тешки метали представљају значајну сировину бројних индустријских грана, па се у отпадним водама, нарочито индустријским, често може наћи већа количина тешких метала. Концентрација метала у води и седиментима река се нагло повећала у последње време због ефлуената из индустрије и рударства, а најчешће присутни метали су: Pb, Cd, Hg, Mn, Cr, Cu, Ni, Zn (Далмација, Бечелић-Томин и Малетић, 2016).

Извори антропогеног загађења вода тешким металима првенствено су: индустријски отпад и отпадне воде индустрије, рудници, производња и топљење металних руда, производња енергије и горива, сагоревање фосилних горива. Такође су и пољопривреда и сточарство значајни загађивачи природних вода металима. Са пољопривредних поља у реке се спира (атмосферским падавинама или ерозијом) велика количина земљишта, пестицида и ђубрива, који могу да садрже метале и друге штетне материје. Значајне количине метала у природним водама потичу од одлагања комуналног отпада на непрописан начин, издувних гасова, саобраћаја, отпадних вода кишне канализације, нарочито уколико се изливају директно у реке, језера или мора.

Присуство тешких метала у воденој средини може да доведе до многобројних физичких, хемијских и биолошких промена. Многи акватични организми концентришу поједине метале, тако да концентрација метала у њима може да буде неколико стотина пута већа од концентрације у околној води. Поред тога, метали се лако преносе кроз ланац исхране, имају велики афинитет ка биолошким ткивима и у организму човека се могу дуго задржавати, што може довести до веома озбиљних здравствених проблема.

Важно је напоменути да токсичност неког метала, не зависи само од његове концентрације у води, већ и од хемијског облика у којем је присутан. Поједини метали и металоиди (Hg, As, Te) подлежу биохемијској трансформацији у металоорганска једињења, која су знатно токсичнија од неорганских облика. Такође, познато је да су тешки метали, изузев живе, токсичнији у јонском облику, док су њихова једињења (тешко растворна и комплексна) мање опасна. У води која има ниску рН вредност метали се углавном јављају у јонском облику.

У седименту воденог система метали се могу акумулирати тако што се везују за суспендоване честице. Тиме се они уклањају из воде али не и из водене средине. Међутим, то може да представља дугорочан ризик, јер уколико дође до промена природних физикохемијских услова водене средине, метали који су сталожени или везани у седименту, могу да се ослободе и у већој количини појаве у воденој маси. При томе, интензитет њиховог преласка у водену средину зависи од јачине везе са седиментом и од физикохемијске природе седимената. Ако се на пример у реципијент упушта вода која се користила за хлађење постројења, долази до промене температуре и природне рН вредности воде реципијента, што може довести до ослобађања метала из њихових везаних облика, при чему могу да граде нова метална једињења.

До скоро су се отпадне воде оптерећене металима несметано испуштале директно у водотокове, јер се претпостављало да ће се разблаживањем снизити концентрација до испод граничне вредности токсичног деловања. Међутим, данас се за многе метале

претпоставља да су токсични у свим концентracијама у којима се појављују у човековој околини. Контрола количине метала у отпадним водама према дефинисаним стандардима за концентracију метала у ефлуенту није више довољна мера заштите околине, па се предлаже усвајање концепта нулте концентracије у отпадним водама као најсигурнији начин контроле.

**Олово** спада у IVA групу Периодног система елемената. Једињења олова се слабо растварају у неутралној и слабо базној средини, тако да је у тим срединама и концентracија јона олова мала. Олово се може наћи у водама са високим рН вредностима (око 10,5). Соли олова, нитрати и ацетати, се добро растварају у води, а хлориди, хромати и стеарати, знатно мање. Остала једињења олова су практично нерастворна. Расподеле и миграције олова у природним водама условљене су интензивним таложењем и комплексирањем са органским и неорганским лигандима. Већа количина олова се може везати за колоиде (гвожђе-хидроксид и органске макромолекуле), уколико су присутни у води.

Концентracије олова у површинским водама зависе од више фактора, рН, температуре, тврдоће воде, и крећу се од трагова до 0,04 mg/l (средња вредност око 0,01 mg/l). Индустриска постројења, рудници и прерада руде могу да доведу до локалног загађења вода оловом које се даље преноси водном мрежом. Један од значајних загађивача животне средине оловом је саобраћај, односно издувни гасови моторних возила. Преношење издувних гасова ваздушним струјањем је довело да, последњих година, количина олова у поларном леду буде повећана за око 25 пута (McConnell et al., 2018).

Олово се у токсикологији дефинише као општи отров који изазива оштећење јетре, крви и крвних судова. Код деце изложене олову могу да се јаве индуковани неуропсихички дефицити (IQ), погоршана координација око – рука, поремећај тонуса и поремећај понашања (хиперактивност).

**Кадмијум** спада у IIB групу Периодног система елемената. Природно је присутан у свим сферама животне средине, а извори су, углавном, природна налазишта (распадање стена) и вулканске активности. Његова концентracија у стенама је ниска, па се чешће природно налази у подземној води него у површинској. Поред тога, кадмијум у воду доспева из отпадних индустриских вода, нарочито електроиндустије и галванизације. Падавинама се кадмијум ефикасно удаљава из атмосфере, али тиме доспева до природне воде. Концентracија кадмијума у кишници може да буде већа и од 50 µg/l.

Елементарни кадмијум се не раствара у води, али су растворљиве његове соли хлориди, сулфати и нитрати. Мека вода ниске рН вредности може да садржи већу концентracију кадмијума. Кадмијум се адсорбује на седименте воде, а процес је интензивнији са повећањем рН. Такође, може да реагује и са хуминским киселинама воде, градећи хуматне комплексе (Ђармати и др., 2007).

Сматра се да водени организми акумулирају кадмијум, тако да се приликом њиховог угинућа таложи у дубљим слојевима. Кадмијум је елемент велике токсичности за људе и животиње и може се акумулирати најчешће у бубрезима, јетри, панкреасу, тироидној жлезди и костима. Хемијски је сличан цинку, тако да у неким ензимима може заменити цинк. Кадмијум има дугачак биолошки полуживот. Од 1993. године класификован је у прву групу карциногена.

Кадмијум се може се наћи у животним намирницама, на пример у пиринчу, који је наводњаван речном водом са повећаним садржајем кадмијума. Позната су масовна

тровања кадмијумом. Болест „*Itai-Itai*“ настаје као последица тровања кадмијумом. У Јапану је у више наврата забележено масовно тровање становништва пиринчем, који је гајен на пољима наводњаваним речном водом загађеном кадмијумом из оближњих фабрика (Nishijo et al., 2017).

**Жива** спада у прелазне елементе ПБ групе Периодног система елемената и једини је метал који је у течном стању на собној температури. Један је од најређе заступљених елемената у земљиној кори<sup>5</sup>, а у ваздуху, води и земљишту се може наћи у три облика: елементарном, неорганском и органском. У елементарном стању се у природи ретко јавља. Основни облици живе у природи су органска једињења живе (нарочито диметил-жива) и неорганске соли живе, сулфиди (јавља се у облику сулфидних руда) и хлориди. Природни извори живе су ерупције вулкана, ерозија тла, стене које садрже живу, бактеријска разградња органских једињења живе и друго. Антропогени извори живе у воденој средини су: индустрија, пољопривреда, лабораторије и друго. Значајна количина живе настаје при сагоревању угља, при чему жива доспева у ваздух. Падавинама и спирањем земљишта жива доспева у водену средину (АМАР, 2011).

Жива није биоразградив хемијски елемент, већ се акумулира у земљишту, води и живим организмима. Концентрација растворене живе у загађеним слатким водама варира од 0,02 до 0,1  $\mu\text{g/l}$ . У природним водама се може наћи у елементарном стању или у једињењима, као једновалентна и двовалентна. При доброј аерацији вода преовладава двовалентна жива, а у редукционим условима елементарна жива. Током биогеохемијског кружења долази до претварања живе из елементарног облика у неорганска и органска једињења.

Жива се може везати за чврсте суспендоване честице водене средине и са њима мигрирати или се таложити у воденом седименту. Процеси адсорпције – десорпције живе са суспендованим честицама дефинишу облик живе у воденој средини. Адсорпција на суспендованим честицама и накнадна седиментација играју важну улогу у процесу удаљавања живе из воде, али не и из водене средине<sup>6</sup>. Процес десорпције је спор и започиње престанком доспевања загађујућих супстанци у воду. У воденој средини микроорганизми могу да претварају неорганске облике живе у органски облик, диметил-живу, која се таложи у ткиву риба, а ланцем исхране се даље преноси. Пошто се жива трајно депонује у мишићном ткиву риба, не постоји начин спремања рибе којим би се одстранила или умањила њена концентрација. Диметил-жива је најтоксичнији облик живе који настаје анаеробном и аеробном трансформацијом. Мада је садржај диметил-живе у загађеним водама низак (0,2 до 1  $\text{ng/l}$ ), у живим организмима се запажају релативно високи садржаји овог једињења. Најугроженије водене врсте су туне, ајкуле, скуше, сабљарке. Концентрација диметил-живе у рибама је око 50  $\text{mg/kg}$ , а у шкољкама и до 85  $\text{mg/kg}$ , што је неколико хиљада пута више од концентрација диметил-живе у води. Поред плодова мора треба напоменути и контаминацију осталих намирница живом и то путем сировина које се користе у припреми сетвеног материјала. Такође, контаминација поврћа се дешава при плавању поља отпадним водама које садрже живу, те се она може наћи и у

<sup>5</sup> Њена заступљеност у земљиној кори је мања од заступљености платине и урана.

<sup>6</sup> Двовалентна жива, у присуству довољне количине сулфидног јона, гради стабилна једињења у облику хидросулфида или сулфидних комплекса, а са јонима хлора гради најстабилнија неорганска ковалентна једињења. Нарочито стабилне ковалентне комплексе (органоживини комплекси) ствара са лигандима који садрже сумпор, као што су цистеин, аминокиселине и оксикарбонска киселина. Повећање салинитета воде спречава образовање органоживиних комплекса.

пољопривредним производима. Жива и већи број њених једињења су отровни. Симптоми обољења настали као последица тровања живом су слични симптомима који се јављају при тровању кадмијумом. Она има мутагено дејство и изазива промене на хромозомима. Акутна тровања живом преко воде за пиће се ретко дешавају. Диметил-жива се кроз организам преноси крвотоком и акумулира у јетри, бубрезима и мозгу. Полувреме елиминације из организма је око 70 дана. На жалост, симптоми се јављају тек после 10 дана од тровања, када су већ промене на централном нервном систему иреверзибилне. Једињења живе нису канцерогена, али пошто пролазе плацентарну баријеру могу испољавати тератогени и ембриотоксични ефекат, чак и 4–5 година пошто је мајка преживела тровање. Органска једињења живе су за човека токсична и могу изазвати обољење звано „минамата“. Болест је добила име по месту Минамата у Јапану, где је оболело више од 1000 особа. Болест захвата централни нервни систем, долази до појаве парализе, кретенизма, нарочито новорођенчади и мале деце (Harada, 1995).

**Хром** је метал који се налази у VIB групи Периодног система елемената. Припада групи есенцијалних микроелемената за људски организам. Метални хром се не може наћи слободан у природи, већ постоји само у облику руда. У Земљиној кори се налази углавном у облику минерала хромита. У једињењима је заступљен у тровалентном и шестовалентном облику. Тровалентни хром је есенцијални елеменат за човека. Природно се налази у стенама, лави вулкана, земљишту, биљкама и животињама. Шестовалентни хром је токсичан и канцероген за људе. Извори загађења атмосфере хромом су издувни гасови из металургије, сагоревање фосилних горива, спаљивање чврстог отпада, емисија гасова из цемента и друго. Хром падавинама и спирањем земљишта доспева у воде. Основни антропогени извори хрома су отпадне воде из индустрије, пошто се користи за: хромирање, добијање легура са другим металима, заштиту дрвета, производњу предмета од коже, електричне и електронске опреме и друго. Значајна количина хрома доспева у воде и путем комуналних отпадних вода. У водама се хром најчешће налази у тровалентном стању, у облику једињења  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  и  $\text{Cr}(\text{OH})_3$ . Ова једињења хрома су слабо растворна, па се  $\text{Cr}^{3+}$  јон у водама ретко налази. Хром(III) образује и комплексна једињења, која се могу везати за чврсте честице. Шестовалентни хром се добро раствара у води и има токсично дејство на водене организме, чак и при веома ниским концентрацијама. Из тих разлога је неопходно шестовалентни хром уклонити из отпадне воде. Концентрација раствореног хрома у загађеним језерима и рекама обично варира у опсегу 1–2  $\mu\text{g/l}$ , а у океанима 0,05–0,5  $\mu\text{g/l}$ . Веће вредности (5–50  $\mu\text{g/l}$ ) нађене су у неким рекама које протичу кроз индустријске области, а у које се испуштају отпадне воде из великих индустријских постројења. Хром се може наћи у води за пиће, јер га има у Земљиној кори, али су концентрације веома мале.

Хром унет ваздухом, конзумиран храном или водом, се ресорбује у организму у количини до 5% и депонује у слезини, јетри и костима. Хром се из организма излучује мокраћом (50%) и фецесом (5%). Шестовалентни хром је јако оксидационо средство, тако да је веома токсичан за живе организме, доводи до хромозомских аберација и леталне мутације, те је увршћен у групу канцерогена. Код изложених радника, у производњи бихромата и пигмената хрома, регистровани су карцином плућа, носа и гастроинтестиналног тракта (Oliviera, 2012).

**Бакар** је прелазни метал VIII В групе Периодног система елемената. Бакар је есенцијални микроелемент. Он улази у састав појединих ензима. Недостатак бакра у организму доводи до озбиљних здравствених поремећаја, али повећана количина може бити токсична. Истраживања показују да се у атмосферу годишње испусти око

75000 t бакра, од чега једна четвртина потиче из природних извора, а остало је антропогеног порекла, па зато атмосферске воде, скоро увек, садрже бакар. У сланим и слатким природним водама бакар се налази у суспендованом, колоидном и раствореном облику. Облици налажења бакра зависе од физичко-хемијских, хидродинамичких и биолошких параметара водене средине. У слатким водама бакар се може везати за хуминске супстанце, што је и разлог повећаних концентрација бакра у седиментима. Количина везаног бакра може да износи 12 до 97% укупне количине у речним водама. Концентрација бакра у незагађеним слатким водама обично варира од 0,5–1,0  $\mu\text{g/l}$ , а у близини градских области достигне и 2  $\mu\text{g/l}$ . Значајно веће количине бакра у природним водама могу се наћи у рударским областима и за време поплава. Највећа количина бакра је у отпадним водама рудника. Такође, повећан садржај бакра у седиментима је углавном последица уливања отпадних вода рудника. Незагађени морски и слатководни седименти обично не садрже више од 20  $\text{mg/kg}$ . Код вода које садрже већу концентрацију хлорида адсорпција бакра се смањује јер долази до стварања растворних хлоридних комплекса бакра. Растворени бакар водени организми могу акумулирати директно апсорпцијом преко површине тела, а у облику честица уносе храном. У већој количини бакар је отрован за водене организме, а нарочито за бескичмењаке. Јони бакра су јак отров за ниже организме, посебно бактерије, гљивице, алге, па се користе као фунгицид (Ђармати и др., 2007; Веселиновић и др., 1995).

**Никл** је прелазни метал VIII В групе Периодног система елемената. Представља есенцијални елемент за људски организам, јер је присутан у многим ензимима. Његова улога у живим организмима још увек није потпуно разјашњена. У подземним и површинским водама никл се природно налази у малим концентрацијама. Садржај раствореног никла у незагађеним водама обично варира од 1–3  $\mu\text{g/l}$ . Повећана концентрација никла у природним водама је углавном последица упуштања индустријских и комуналних отпадних вода и атмосферских падавина. Значајне количине никла се могу наћи у ваздуху изнад индустријских постројења, одакле атмосферским падавинама никл доспева у водену средину. У областима где нису присутна индустријска постројења атмосферске падавине садрже малу количину овог метала (0,02–5  $\mu\text{g/l}$ ), о чему сведочи низак степен загађења снега и леда овим елементом.

У воденој средини никл се налази у облику органских и неорганских једињења. Од неорганских једињења у водама су најзаступљенији халогениди, сулфати, фосфати, карбонати. Карбонат, сулфид и оксид никла су нерастворни у води, док су никл-хлорид, сулфат и нитрат расворни. Никл гради стабилне комплексе са органским лигнандима са кисеоником и азотом. Хуминске и фулвокиселине граде мање стабилне комплексе. Уколико је у слабо алкалној воденој средини повећано присуство фулвокиселина, настаје нерастворно једињење фулвокиселина-никл, чиме се никл акумулира у суспендованој чврстој супстанци и седиментима. Никл не представља широко распрострањен загађујући елемент у седиментима. Повећана количина никла у организму човека оштећује срце и јетру. Никл је канцероген и мутаген и не подлеже биомагнификацији. У прву групу канцерогена спадају двовалентна једињења никла: сулфид, оксид, сулфат, хидроксид, док метални никл спада у другу групу канцерогених једињења. Испитивања код радника изложених никлу указују на значајну појаву карцинома носне шупљине и плућа (Ђармати и др., 2007; Веселиновић и др., 1995).

**Цинк** је прелазни метал II В групе Периодног система елемената. За људе је цинк есенцијални микроелемент и налази се у многим ензимима. Међутим, прекомерна

количина цинка у организму може да делује штетно по здравље. У незагађеним природним водама цинк се налази у малој количини. Количина раствореног цинка у незагађеним слатководним системима варира од 0,5 до 15  $\mu\text{g/l}$ . У подземним водама садржај цинка је нешто већи, 10 – 40  $\mu\text{g/l}$ , а повећава се са минерализацијом воде. Цинком су релативно богате глиновите стене, док га мање има у песковитим седиментима. Повећана количина цинка може се наћи у воденој средини индустријских области, посебно топионица олова и цинка, као и у рекама у зони рудника. Атмосфера индустријских области обично садржи повећане количине цинка које струјањем ваздуха и атмосферским падавинама доспевају до природних вода. Повећана концентрација цинка у води за пиће може да укаже и на корозију цеви. У воденом раствору  $\text{Zn}^{2+}$  се понаша као јако кисели метал, везујући јоне халогених елемената. Карбонати и сулфиди цинка се слабо растварају у води, што је један од разлога ниске концентрације јона цинка у води. Хуминске киселине морског порекла везују микроелементе (у које се убраја и цинк) јаче него хуминске киселине копна. Цинк се у речним седиментима налази везан за оксиде гвожђа и мангана, карбоната и органских супстанци (Ђармати и др., 2007; Веселиновић и др., 1995).

**Арсен** је металоид који припада V А групи Периодног система елемената. Арсен, у веома малим концентрацијама, представља стални састојак земљишта. У Земљиној кори просечна концентрација арсена износи око 1,7 ppm и већа је у горњим него у дубљим слојевима. Арсен у природне воде доспева распадањем и деградацијом минерала и руда арсена, али и из разних антропогених извора (индустријски отпад, рудници, пољопривреда и друго). Повећана концентрација арсена се најчешће јавља у водама које су у близини рудника где се експлоатише руда арсена. Индустријске отпадне воде такође доприносе појави арсена у води. Реке које протичу кроз различите индустријске области могу да садрже и до 20  $\mu\text{g}$  арсена по l воде, док је садржај арсена у незагађеним слатким водама мањи од 1  $\mu\text{g/l}$ . Извор арсена може бити и сагоревање фосилних горива. У угљу се арсен може наћи у концентрацији до 5 mg/kg, а пепео од сагоревања угља доспева у воде. Арсен је састојак различитих хербицида на бази арсена (натријум-арсенит), тако да у води може доспети и са третираних пољоприврених поља. Атмосферске падавине се не загађују значајније арсеном изузев изнад металуршких постројења која користе арсен као сировину. У природи се арсен јавља у више валентних стања, али се у природним водама најчешће среће као тровалентни As(III) – арсенат и петовалентни As(V) – арсенит. У елементарном стању арсен се веома ретко налази у води. Валентно стање и неоргански облик арсена у води зависе од рН вредности воде, садржаја органских материја, биолошке активности и друго. У водама богатим кисеоником углавном је заступљен петовалентни арсен. Оксидација As(III) у As(V), при рН вредностима карактеристичним за природне воде, одвија се споро уз учешће микроорганизама. У водама које немају довољно кисеоника, односно где владају редукциони услови, као што су дубоке подземне воде и седименти, углавном је присутан тровалентни арсен, који је мобилнији и токсичнији. Органске супстанце малих молекулских маса растворене у води са арсеном граде комплексна једињења, при чему се арсен у органском молекулу везује за угљеник или сумпор. Арсен са хуминским и фулвокиселинама не ствара комплексе. Уколико је у води повећана количина раствореног арсена долази до стварања арсената калцијума, баријума, хрома и гвожђа и њиховог таложења. Ови процеси доводе до тога да се арсен може наћи у већој количини у седименту. Код неких седимената може доћи до абиотичке оксидације токсичног As(III) у релативно нетоксични As(V). При анаеробним условима у седименту концентрација As(III) може бити и до десет пута већа него при аеробним условима.

Арсен у води за пиће представља највећу претњу јавном здрављу. Дуготрајна

изложеност арсену путем воде за пиће узрокује рак коже, плућа, мокраћне бешике, бубрега, као и друге промене на кожи. Неоргански тровалентни арсен спада у I групу канцерогена (доказани канцероген за човека), а петовалентни неоргански и органски арсен и њихова једињења припадају групи токсичних супстанци (Ђармати и др., 2007; Веселиновић и др., 1995).

## Органске загађујуће супстанце

Појава органске материје, као загађујуће материје природних вода, последица је природних и/или антропогених процеса. Број органских једињења је огроман, а њихова примена широка. У органске супстанце са широком применом спадају растварачи, средства за чишћење, одмашћивачи, нафтни производи, производи од пластике и њихови деривати, средства за употребу у пољопривреди, као што су пестициди. Токсичност органских полутаната се не може приписати само њиховим присуством у води, већ комбинованом дејству ових супстанци из свих медијума животне средине (Маринковић, 2013).

Извори контаминације природних вода органским једињењима су бројни:

- отицање воде са пољопривредних површина,
- акцидентни индустријски изливи,
- отпадне воде настале при чишћењу хемијски обрађених површина,
- отицање воде са асфалтираних површина,
- отпадне воде из домаћинства,
- атмосферске падавине,
- испирање индустријског и градског отпада са депонија и друго.

Велики број људи изложен је малим количинама великог броја органских једињења за која не постоји довољно токсиколошких података, тако да се не може проценити њихова безбедност.

### • Нафта и њени деривати

Сирова нафта је смеша великог броја различитих једињења међу којима су најзаступљенији угљоводоници (90–95%) и то: алкани, циклоалкани и ароматични угљоводоници, док 5–10% чине једињења сумпора, азота и неких метала. Нафта и њени деривати могу доспети у животну средину услед изливања, приликом употребе, или транспорта, због цурења смештајних посуда или нафтовода, емисијом из нафтних постројења, као последица избацивања отпадних вода из индустријских постројења, приликом несрећа у погонима петрохемије, током употребе нафтних деривата за погон мотора са унутрашњим сагоревањем, употребе за загревање и за осветљење просторија итд. Загађивање воде нафтом и њеним дериватима је често, а настаје као последица хаварије бродова – танкера, хаварије на бушотинама, нафним постројењима (платформама и дуго), испуштањем воде након прања танкера, испуштањем у канализацију разних уља и мазива, и на друге начине. Нафта која је изливена на копно може дужи временски период да контаминира подземне воде. Када нафтни деривати доспу у животну средину они подлежу разним физичким, хемијским и биолошким процесима.

Нафта и њени деривати се слабо растварају у води. Растворљивост нафтних угљоводоника у води се смањује са порастом молекулске масе. Разгранати алифатични угљоводоници су мање растворни од угљоводоника са нормалним низом са истим бројем угљеникових атома. Ароматични угљоводоници су растворљивији и

мобилнији у води него алифатични угљоводоници. Ароматични угљоводоници из нафте са водом стварају праве растворе, а остали угљоводоници емулзије. Растворљивост чак и најслабије растворених угљоводоника је значајно већа од њихових максимално дозвољених концентрација (MDK) у води. Нафта и њени деривати у води подлежу процесу биогеног разлагања и оксидативне деградације, при чему настају нафтенске киселине, феноли и карбонилна једињења која се, будући да су поларнија, боље растварају у води. Из тих разлога се састав растворених деривата нафте у води током времена мења (Ђармати и др., 2007; Веселиновић и др., 1995).

С обзиром да је густина нафтних угљоводоника мања од густине воде, у случају њиховог доспевања у воду долази до формирања нафтних мрља које плутају по води. Угљоводоници чија је температура кључања ниска испаравају са површина загађених вода, формирајући у зони аерације гасне облаке, што практично олакшава поступак налажења области загађења. Нафта која доспе на површину воде веома брзо се распростире, покривајући воду многобројним малим капљицама. Смеша нафте и воде представља емулзиони систем, дисперзни систем две течности које се не мешају. Ситне капљице нафте<sup>7</sup> (диспергована фаза) су дисперговане у води (дисперзна средина). Сматра се да 1 ml нафте покрива површину воде и до 12 m<sup>2</sup> са око 15×10<sup>12</sup> капљица<sup>8</sup>. Нафта у концентрацији од само 0,01 mg/l воде даје води веома непријатан мирис (попут мириса рибе). Изглед површине воде у зависности од запремине проливане нафте по површини воде дат је у табели 8.3.

**Табела 8.3.** Изглед водене површине приликом доспевања нафте у воду (Okandan & Özcan, 2004)

| Нафта (l/km <sup>2</sup> ) | Изглед водене површине          |
|----------------------------|---------------------------------|
| 44                         | једва видљиво загађење          |
| 88                         | сребрнаст сјај на површини воде |
| 120                        | трагови боје                    |
| 352                        | светла трака боје               |
| 1172                       | тамна боја                      |
| 2340                       | врло тамна боја                 |

На површини мора нафтна мрља је попут непровидне фолије која спречава продирање сунчеве светлости и ваздуха (кисеоника) у воду, што може довести до помора водених организама, а нарочито планктона. Поред тога, нафта на површини воде представља велику опасност за птице, јер им се лепи за перје. Такође, анаеробне бактерије могу састојке нафте метаболирати до полихлорованих бифенила који су канцерогене супстанце.

Једињења нафте, услед промена физичкохемијских особина, биолошких процеса или промена особина морске воде, могу плутати по површини воде или се таложити на дну. Нафта која доспе на дно, под условом да није покривена слојем талога, може се временом поново појавити на површини услед промена физичкохемијских особина нафте, промене температуре воде или оксидативних промена дејством бактерија.

<sup>7</sup> Средњи пречник капљица у емулзији нафте у води износи око 0,5  $\mu\text{m}$ , запремине  $6 \times 10^{-14} \text{ cm}^3$  и површине  $8 \times 10^{-9} \text{ cm}^2$ .

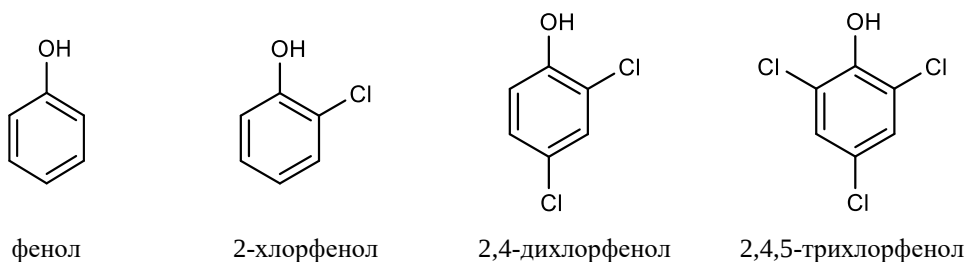
<sup>8</sup> Експериментална мерења показују да се разливањем 1 m<sup>3</sup> сирове нафте на мирној води за 10 минута ствара мрља пречника 48 m, а после 40-100 сати дебљина слоја 10<sup>-4</sup> cm.

Уколико дође до просипања већих количина нафте, обавезно је урадити деконтаминацију воде, и то што брже и свим расположивим средствима. Нафта се на површини воде задржава око 5 сати, а затим пада на дно, где облаже стене и водено биље. Док је на површини воде, нафта се може механички сакупљати кантама, лопатама и слично, а постоје и специјални бродови за њено сакупљање. Чишћење и опоравак од нафтних мрља је тежак процес и зависи од многих фактора. Неки од тих фактора су врста проливане нафте, температура воде (која утиче на испаравање и биодеградацију) и тип обале и плаже. Процес чишћења може да потраје недељама, месецима или чак годинама.

### • Феноли

Феноли се често користе у органској хемијској технологији. У површинске воде се испуштају из многих индустријских погона. То су веома токсичне супстанце за водене организме.

Присуство фенола у води је непожељно, а нарочито уколико је вода дезинфикована хлором, јер са хлором дају токсична једињења хлорфеноле<sup>9</sup>, једињења веома непријатног мириса. Постоји 19 могућих хлорованих деривата фенола, међутим приликом дезинфекције воде која садржи фенол, као хлоровани споредни продукти у највећој количини настају 2-хлорфенол, 2,4-дихлорфенол и 2,4,5-трихлорфенол (слика 8.2). Феноли и хлорфеноли чак и у малим концентрацијама мењају органолептичке особине воде. У воденим организмима се акумулирају у неким ткивима, а процес је нарочито изражен уколико вода садржи и детергенте (Ђармати и др., 2007; Веселиновић и др., 1995).



Слика 8.2. Структура фенола и хлорованих деривата који настају као споредни производи приликом дезинфекције воде која садржи фенол

### • Пестициди

Пестициди су производи хемијског или биолошког порекла, синтетички или, ретко, природни, намењени за превенцију, уништавање, сузбијање или смањење количине штеточина. Имају широку примену у пољопривреди, воћарству, шумарству, као и у комуналној хигијени. Углавном су токсичне супстанце. Према намени разликује се 17 категорија пестицида: инсектициди, хербициди, родентициди, фунгициди и други. По хемијском саставу то су углавном: органохлорна или органофосфорна једињења, затим триазини, карбамати и други (Мариновић, 2013).

<sup>9</sup> Вода за пиће која садржи фенол и прође поступак дезинфекције хлором садржи велики број хлорованих фенола, па се из тих разлога феноли морају уклонити из воде за пиће пре хлорисања.

Загађивање површинских вода пестицидима може бити:

- примарно: спирањем са површине земљишта и биљака атмосферским падавинама, непосредно приликом аеротретмана, при неправилној технологији прскања и запрашивања, а мање количине могу доспети и прањем апаратуре и заштитне одеће после примене препарата;
- секундарно: десорпција из водених организама и седимената.

У непроточним или слабо проточним местима река, мањим вештачким и природним језерима и мочварама количина пестицида је значајно повећана, нарочито у пролеће и лети када је и пољопривредна активност најинтензивнија.

У водама се истовремено дешавају процеси:

- сорпције пестицида седиментима, воденом флором и фауном и
- разлагања пестицида хидролизом, фотохемијским и термалним процесима.

Пестициди утичу на органолептичке карактеристике воде, као и на хидрохемијски и хидробиолошки режим природних вода. Они извесно време остају у води непромењени. Постојаност пестицида у води зависи од физичко-хемијских особина пестицида, концентрације и технологије њихове примене, типа земљишта, метеоролошких услова, брзине протицања воде, присутних површински активних супстанци и друго. Према постојаности у воденој средини, пестициди се деле на четири класе: постојани мање од 5 дана, постојани 5–10 дана, постојани 11–30 дана и они који су постојани дуже од 30 дана.

Временом долази до трансформације – разлагања пестицида физичким, хемијским и биолошким процесима. Миграција пестицида у води зависи од доспеле количине пестицида и брзине трансформације коју значајно успорава истовремено присуство површински активних супстанци. Постоји око 30 фактора који утичу на динамику пестицида у мирним водама, који се могу сврстати у четири групе:

- Прву групу чине услови примене препарата, као што су: врста препарата и процентни садржај активне супстанце по једном третирању, начини третирања, врсте третиране површине, количина атмосферских падавина, температура ваздуха и Сунчево зрачење.
- Другој групи припадају карактеристике воденог резервоара, као што су: површина, средња дубина и запремина воде, карактеристика растиња на обали, извор снабдевања водом, количина ихтиофауне и седимената.
- Трећу групу чине физичкохемијске и биолошке особине воде, као што су: рН, температура, садржај раствореног кисеоника, ВРК, укупна тврдоћа, минерализација, количина сапрофитних бактерија, количина зоопланктона и фитопланктона.
- Четврту групу чине физичкохемијске особине пестицида: растворљивост у води, испарљивост, температура топљења, температура кључања.

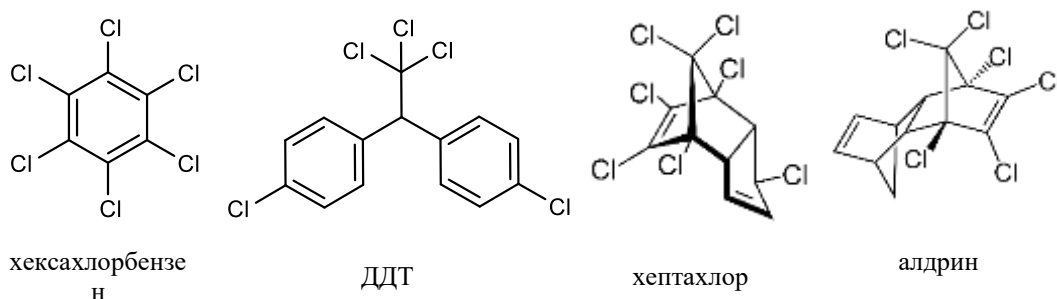
У подземне воде пестициди се инфилтрирају проласком кроз пропустљиво земљиште, док у непропустљивом земљишту они налазе свој пут до површинских вода. Пестициди се у подземним водама акумулирају током више година, чиме се њихова концентрација константно повећава.

Трансформацијом пестицида се јављују разноврсни метаболити. Комбиновано дејство пестицида и/или њихових метаболита може довести до појачавања токсичног ефекта

које би имало свако једињење понаособ. Из тих разлога је, за добијање свеукупне слике о присуству пестицида у некој воденој средини, неопходно идентификовати и метаболите пестицида присутне у води.

*Органофосфорни пестициди* су једињења која су јако токсична, међутим брзо се разграђују па, уколико се правилно користе, не представљају велики ризик по здравље. Слабо се акумулирају у организму, осим у случајевима дуготрајне експозиције малим дозама. У најновије време користе се органофосфорни хербициди који могу да садрже диоксине, као онечишћења, а која се разлажу на врло токсичне и канцерогене материје, као што су полихлоровани бифенили, тетрафенили, хлоровани бензен и феноли.

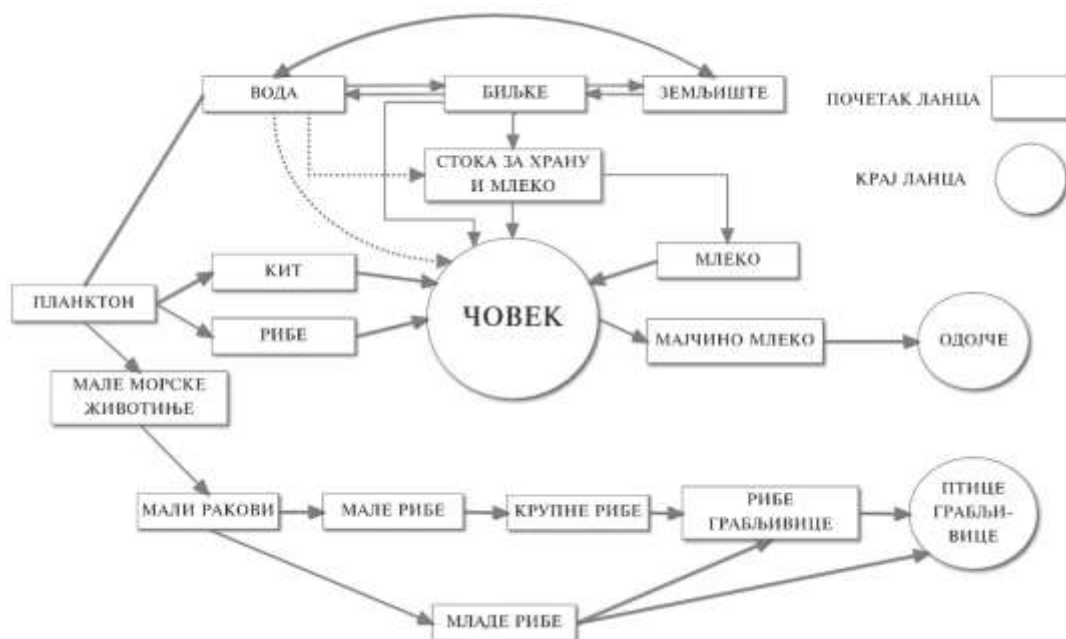
*Органохлорни пестициди* у животну средину доспевају услед примене у пољопривреди и индустрији. Већина ових једињења су слабо испарљива, липосолубилна, хемијски инертна и споро се биотрансформишу, што доприноси њиховој широкој и често неконтролисаној примени. По хемијској природи пестициди ове класе представљају хлорне деривате ароматичних угљоводоника (хексахлорбензен, ДДТ и његови аналози, метоксихлор и други, слика 8.3), циклоалкана и терпена. Широку примену нашли су и хлоровани деривати ди-, три- и тетрацикличних угљоводоника (хлордан, хептахлор, алдрин, диелдрин и други, слика 8.3).



Слика 8.3. Структуре одабраних органохлорних пестицида

Концентрација органохлорних пестицида у живим организмима може бити и до 10 000 пута већа од њихове концентрације у води. Органохлорна једињења се добро растварају у мастима, тако да се могу акумулирати у масном ткиву живих организама у концентracијама које зависе од дозе и метаболитичких специфичности живих организама. Органохлорни пестициди, због слабе растворљивости у води, испољавају тежњу везивања за суспендоване честице и седименте а, с обзиром на могућност њихове десорпције из седимената, могу дуготрајно да загађују воде.

Иако је производња и употреба неких органохлорних пестицида забрањена или ограничена крајем осамдесетих година прошлог века, ова једињења су још увек присутна у различитим деловима животне средине, као што су вода, ваздух и земљиште. Као последица присуства у животној средини, ова једињења се могу наћи и у храни. На тај начин, ланцем исхране, доспевају у организам човека и могу негативно утицати на здравље људи (слика 8.4).



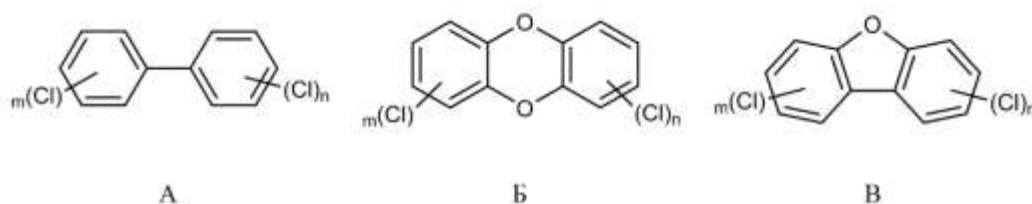
Слика 8.4. Ланац исхране са акумулацијом пестицида у организмима (Мариновић, 2013)

#### • Полихлорована органска једињења

Полихлоровани бифенили (PCB, енгл. *polychlorinated biphenyl*) су једињења која се састоје из два бензенова језгра међусобно повезана простом везом код којих су један или више водоникових атома замењени атомима хлора (слика 8.5.A). Синтетишу се директним хлоровањем бифенила при чему настаје смеша производа са различитим бројем атома хлора. Ова једињења су термостабилна, слабо се растварају у води, а добро у органским растварачима. Отпорни су на дејство киселина и база, на реакције хидролизе и оксидације. Пошто су слабо реактивни, у животној средини могу остати у непромењеном облику дужи временски период.

Имају широку примену у индустрији боја и лакова, у агроиндустрији за добијање пестицида, као пластификатори, за добијање уља за подмазивање, у производњи пластичних маса итд. У животну средину доспевају са течним индустријским отпадом, који се испушта у реке или морску средину, сагоревањем различитог материјала на депонијама, при чему је могућа и њихова трансформација у још токсичније оксидационе производе.

У води се РСВ углавном налазе адсорбовани за суспендоване честице. Главни резервоари РСВ у воденој средини су муљевита дна река и приобалне области. У ланац исхране улазе преко водених организама у којима се могу акумулирати. Концентрација РСВ у организмима пица грабљивица и сисара месоједа већа је него у организмима биљоједа. Захваљујући доброј растворљивости у мастима лако се акумулирају у ткиву човека, животиња и биљака. Полихлоровани бифенили имају јак токсични ефекат на нервни систем, гастроинтестинални тракт, посебно јетру и респираторни систем. Убрајају се у II А групу вероватних канцерогена код људи. Њихова употреба је ограничена, а у многим земљама и забрањена.

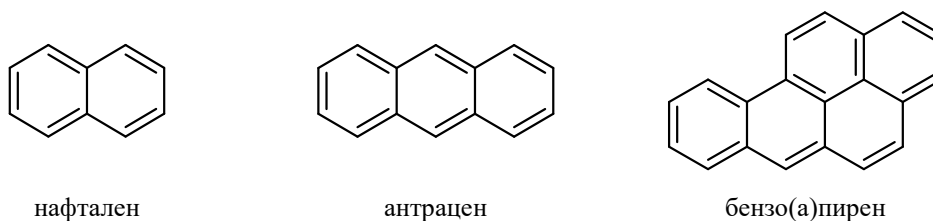


Слика 8.5. Опште формуле полихлорованих бифенила (А), полихлорованих дибензодиоксина (Б), полихлорованих дибензофурана (В)

Полихлоровани дибензодиоксини (PCDD, енгл. *polychlorinated dibenzodioxins*, слика 8.5.Б) и полихлоровани дибензофурани (PCDF, енгл. *polychlorinated dibenzofuranes*, слика 8.5.В) припадају групи диоксина и нежељени су нуспродукти у производњи хлорфенола, хлорованих бифенила, нафталина, хлорбензена и биоцида. Дрвна и папирна индустрија, издувни гасови моторних возила су значајни извори ових једињења. Посебан значај има 2,3,7,8-тетрахлор-дибензен-*p*-диоксин (TCDD, енгл. *2,3,7,8-tetrachlorodibenzodioxin*), изузетно токсично једињење. Због постојаности у животној средини, доброј растворљивости у мастима и спором метаболизму може се наћи у биолошким узорцима, укључујући и хумане масти и млеко.

#### • Полициклични ароматични угљоводоници (РАН)

Полициклични ароматични угљоводоници (РАН, енгл. *polycyclic aromatic hydrocarbons*) су органска једињења која у свом молекулу садрже два или више бензенова прстена међусобно повезана преко два угљеникова атома (слика 8.6). Настају непотпуним сагоревањем органске материје, а у животну средину доспевају природним и антропогеним путем. Природни извори су ерупције вулкана, акцидентални шумски пожари, а антропогени топлане, саобраћај итд.



Слика 8.6. Структуре одабраних РАН-ова

Имају низак напон паре, и високу тачку кључања, па се у атмосфери ретко налазе у гасној фази, већ се везују за чврсте честице, које се налазе дисперговане у ваздуху. У чистој води се слабо растварају. Могу се наћи у слатким и сланим водама. Концентрације РАН -ова у води су више на местима где долази до сливања воде са копна. РАН-ови се адсорбују на седименте и суспендоване честице у води. Реч је о липосолубилним једињењима која се акумулирају у масном ткиву живих организама. Фитопланктони загађених вода садрже велике количине бензо(а)пирена (слика 8.6).

Познато је да су РАН -ови повезани са настанком неких малигних обољења. РАН -ови сами по себи нису канцерогени, али се у организму метаболишу и претварају у активне канцерогене. Зато је за њих адекватније рећи да спадају у групу проканцерогених супстанци. Код димничара који су у додиру са чађи и катраном учестала је појава канцера. Установљено је да је канцерогени састојак чађи бензо(а)пирен. Ово једињење је један од најканцерогенијих РАН-ова и спада у А групу

канцерогених супстанци. Настаје при непотпуном сагоревању дрвета и фосилних горива, при раду аутомобила, има га у дуванском диму (Miltojević, Golubović, & Stojanović, 2018).

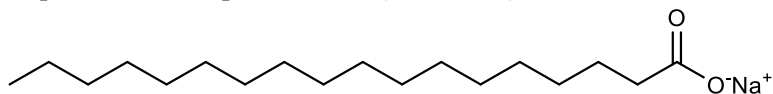
### • Површински активне материје (РАМ)

Површински активне материје се називају још и сурфактанти (енгл. *surfactants*) и тензиди. То су природна или синтетичка средства чија је улога да снижавају површински напон на граници фаза. Употребљавају се у многим хемијским индустријама, у индустрији козметичких производа, пољопривреди итд. Молекули РАМ-а се састоје из поларног и неполарног дела, што омогућава двојако понашање према растварачима. Ови молекули показују изразиту површинску активност па су на основу те особине и добили назив површински активне материје. Са водом граде системе који имају особине: прања, квашења, задржавања нечистоћа, дисперговања, образовања пене, емулговања. Поменута својства РАМ у највећој мери зависе од њиховог хемијског састава, температуре, концентрације и другог.

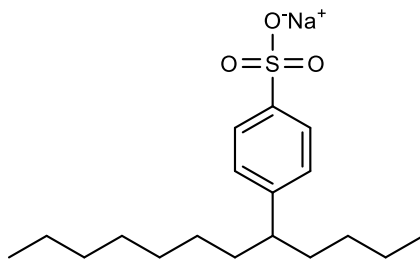
Површински активне материје су хемијска једињења специфичне структуре. Мономери РАМ се састоје из два дела:

- поларног дела – „глава” молекула, који је хидрофилан, односно лиофобан и
- неполарног дела – „реп” молекула, који је хидрофобан, односно лиофилан.

Хидрофилни део чине карбоксилна група ( $\text{COO}^-$ ), сулфатна ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) и сулфитна група ( $\text{SO}_3^{2-}$ ), или групе које садрже азот или фосфор. Хидрофобни део могу сачињавати угљеникови атоми отвореног нормалног или рачвастог низа, бензенов, или нафталенски прстен са алкилрадикалима (слика 8.7.).



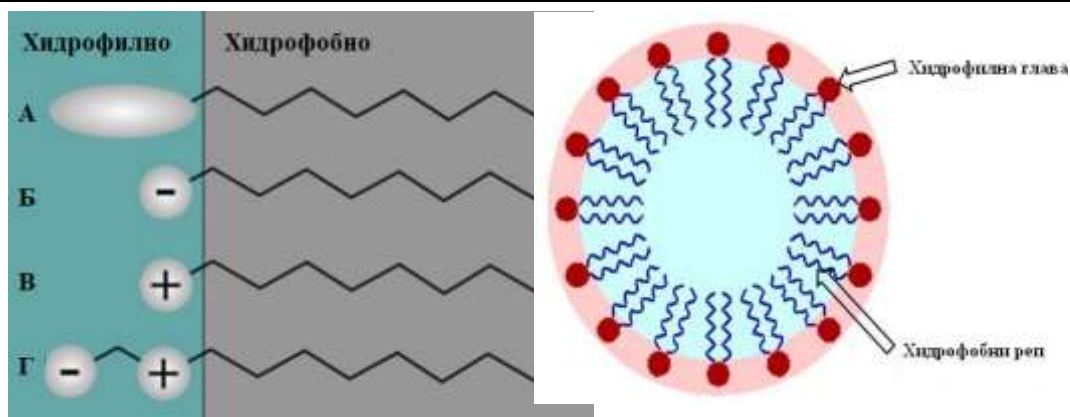
натријум-стеарат (састојак сапуна)



натријум-4-(5-додecil) бензенсулфонат  
(састојак детерџената)

Слика 8.7. Структуре одабраних РАМ-ова

Класификација синтетичких РАМ најчешће се врши према природи и структури хидрофилне групе молекула, тако да се деле на три основне групе: јонске (анјонске и катјонске), амфотерне и нејонске (слика 8.8.).



**Слика 8.8.** Подела сурфаканата према хидрофилној глави (лево): нејонски (А), анјонски (Б), катјонски (В), амфотерни (Г); Шематски приказ мицеле (десно): емулзија уља (плаво) у води (црвено); поларне (хидросолубилне) главе молекула сурфаканта су окренуте ка води, а неполарни (липосолубилни) репови ка уљу (модификовано према Ivanković & Hrenović, 2010)

- Анјонске РАМ су најраспрострањеније и основни су састојци појединих синтетичких средстава за прање. Њима припадају алкилсулфати, алкиларилсулфонати (сулфоноли) и алкилсулфонати.
- Катјонске РАМ представљају мали део произведених РАМ и употребљавају се као дезинфекциони агенси.
- Нејонске РАМ по обиму производње представљају око 10% свих осталих РАМ. У мањој мери се користе у средствима за прање, углавном у индустрији.

Средства за прање на бази синтетичких површинских активних материја су детерџенти. Они се широко примењују у свакодневном животу за одржавање хигијене. Могу бити у виду прашка, течности и сапуна. По саставу, детерџенти садрже фосфате, перборате, натријум-карбонат и алкил-бензолсулфонате.

У зависности од степена стабилности, према биохемијској оксидацији у води, све синтетичке РАМ се деле на меке (алкилсулфати и алкилсулфонати) и тврде (алкилбензенсулфонати, нејонске и катјонске супстанце). Време за које се половина количине меке РАМ разложи у односу на полазну концентрацију износи неколико дана (1 до 3), а за биохемијски тврде РАМ то време износи два и више месеци.

У водену средину РАМ могу доспети са градским отпадним водама услед њихове употребе у синтетичким средствима за прање, са индустријским отпадним водама и спирањем са поља, будући да се неке РАМ користе као емулгатори код пестицидних препарата. Највећа концентрација синтетичких РАМ нађена је у отпадним водама фабрика у којима се примарно обрађује вуна (0,3–2,1 g/l), као и у отпадним водама постројења текстилне индустрије, које садрже 20–250 mg/l ових супстанци. Средња потрошња РАМ по глави становника износи око 2,5 g дневно. При норми потрошње воде 125–350 литара дневно по човеку, средња дневна концентрација РАМ у градским отпадним водама износи 7,1–20 mg/l (Ivanković & Hrenović, 2010).

Детерџенти спадају у тешко разградива једињења и брзо продиру између честица земљишта у подземне воде. У површинским водама се разграђују до фенола и фосфата. Фенолна једињења води дају непријатан мирис и токсична су за акватични живи свет. Фосфати из детерџената повећавају еутрофикацију водотокова и ремете

однос флоре и фауне.

Синтетичке РАМ појачавају токсичне особине загађујућих супстанци у води, као што су анилин, цинк, гвожђе, бутилакрилат, канцерогене супстанце и пестициди, доприносећи њиховом бољем растварању и ефикаснијем продирању у организме. Са порастом минерализације природних вода повећава се токсичност РАМ.

### 8.2.3. Биолошко загађивање вода

Под биолошким загађивањем вода подразумева се присуство патогених организама: бактерија, вируса, гљива, паразита и других микоорганизама у води. Ови организми су узрочници многих болести, па и заразних, које се преносе загађеном водом. Патогени организми у води, при повољним условима и у довољном броју, могу проузроковати веома опасне епидемије. Биолошко загађење воде може настати загађењем самих природних водених маса или загађењем воде у току транспорта од места захвата до потрошача.

Биолошки чиниоци који изазивају загађивање воде налазе се у отпадним водама, водама које отичу или у измету и мокраћи животињског и људског порекла. Преносиоци болести могу бити оболеле особе или особе које, након прележане заразне болести, у свом организму и даље носе патогене клице (клицоноше). Клицоноша ослобађа у околину патогене микроорганизме свим продуктима који се из организма излучују: пљувачка, крв, столица, мокраћа, зној и друго.

Обољења која настају употребом воде загађене биолошким агенсима и која се водом могу преносити називају се *хидрична обољења*. Најефикаснији начин сузбијања хидричних обољења јесу превентивне мере против загађивања вода, као и пречишћавање и дезинфекција вода. У свету, а нарочито у земљама у развоју, најчешће се јављају хидрична обољења изазвана патогеним бактеријама присутним у води. У табели су приказане бактеријске болести које се преносе загађеном водом или намирницама припремљеним таквом водом.

**Табела 8.4.** Бактеријске болести које се преносе загађеном водом или намирницама припремљеним таквом водом (модификовано према Magana-Arachchi & Wanigatunge, 2020)

| Болест                | Узрочник                                                      |
|-----------------------|---------------------------------------------------------------|
| Колера                | <i>Vibrio cholerae</i> , урачунавајући и биотоп <i>El Tor</i> |
| Бацијална дизентерија | <i>Shigella</i>                                               |
| Тифус                 | <i>Salmonella typhi</i>                                       |
| Паратифус             | <i>Salmonella paratyphi A, B и C</i>                          |
| Гастро-ентерит        | Други слојеви <i>Salmonella</i> , <i>Shigella</i>             |
| Дечји пролив          | Ентеропатогени сојеви, <i>Escherichia coli</i>                |
| Лептоспироза          | <i>Leptospira</i>                                             |
| Таларемија            | <i>Pasteurella tularensis</i>                                 |

Вируси који се налазе у људском организму (нарочито у органима за варење), избацују се урином и фецесом. Из тих разлога се се могу наћи у отпадним и другим загађеним водама. Реч је о ентеровирусима, аденовирусима, реовирусима и вирусу заразне жутице. Ентеровируси се преносе храном контаминираним фекалијама, док се аденовируси и реовируси преносе респираторним путем од човека до човека.

Загађеном водом се преноси и вирус заразне жутице, болест која врло често има облик епидемије. Заразну жутицу могу пренети и мекушци и љускари загађени градским отпадним водама.

Од паразита који се водом могу унети у људски организам најчешћи је *Entamoeba histolytica*. Овај паразит изазва хидрично обољење – цревна амебијаза (амебна дизентерија и друго), која је веома распрострањена у областима топлог поднебља и срединама где су хигијенски услови лоши. Карактеристично је да су амевне опне отпорне на количине хлора који се обично додаје води при дезинфекцији.

Значајно је напоменути да се у биолошке загађујуће материје убрајају и организми који се налазе у инсталацијама за пречишћавање и развођење воде, чиме ометају њихов рад. Они углавном не представљају директну опасност за људско здравље, али кваре квалитет воде за пиће. Најефикаснији начин њиховог отклањања је чишћење цеви и резервоара и примена за људе безопасних пестицида. У табели 8.5. су приказани организми који се најчешће налазе у инсталацијама за водоснабдевање.

**Табела 8.5.** Непожељни организми који се најчешће налазе у инсталацијама за пречишћавање и развођење воде (Кемер, 2005)

| Организми                           | Ефекти                                                                                                                                                                 |
|-------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Биолошки талози                     | Загушивање постројења за пречишћавање и мреже за дистрибуцију воде; Средина повољна за развој бактерија које троше метан; Њихово присуство може да учини воду непитком |
| Мекушци ( <i>Dreissena</i> )        | Заптивање цевовода                                                                                                                                                     |
| Алге ( <i>Plumatella</i> )          | Ометају филтрацију                                                                                                                                                     |
| Љускари ( <i>Asellusaquaticus</i> ) | Њихово присуство може да учини воду непитком                                                                                                                           |
| Црви влашњаци (Nematode)            | Могу да поспешују концентровање патогених клица                                                                                                                        |

Истраживања су показала да присуство загађујућих супстанци, као што су детерџенти, деривати нафте и други, у границама њихових MDK, немају утицаја на време преживљавања бактерија. Међутим, повећање количине детерџента до 5 mg/l, уз присуство фенола и деривата нафте, продужавало је живот бактерија и доприносило њиховом размножавању.

**Питања за проверу знања:**

1. Дефинисати појмове физичког, хемијског и биолошког загађења животне средине.
2. Шта се подразумева под појмом загађивање воде?
3. Шта је директно, а шта индиректно загађивање воде?
4. Како настаје физичко загађивање вода.
5. Објаснити термичко загађивање вода.
6. Објаснити радиоактивно загађивање вода.
7. Навести видове хемијског загађивања вода.
8. Објаснити утицај неорганских загађујућих супстанци на природне воде.
9. Шта је еутрофикација?
10. Објаснити на који начин метали утичу на загађивање вода.
11. Који су најчешћи метали који загађују природне воде?
12. Објаснити утицај тешких метала на загађење вода.
13. Које су органске загађујуће супстанце природних воде?
14. Објаснити утицај нафте и њених деривата на природне воде.
15. Објаснити загађење воде пестицидима.
16. Који утицај имају феноли на природне воде?
17. Објаснити загађење воде полихлорованим једињењима.
18. Објаснити загађење воде полицикличним ароматичним угљоводоницима.
19. На који начин површински активне материје делују на природне воде?
20. Објаснити процес биолошког загађивања вода.

## Литература:

1. AMAP. (2011). AMAP Assessment 2011: Mercury in the Arctic. Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP). Oslo: Arctic Monitoring and Assessment Programme. <https://www.amap.no/documents/download/989/inline>
2. Веселиновић, Д., Гржетић, И., Ђармати, Ш., и Марковић, Д. (1995). *Стања и процеси у животној средини*. Београд: Факултет за физичку хемију Универзитета у Београду.
3. Далмација, Б. (2000). *Контрола квалитета вода у оквиру управљања квалитетом*. Нови Сад: Институт за хемију, Природно-математички факултет Универзитета у Новом Саду.
4. Далмација, Б. (2001). Проблеми квалитета вода у Републици Србији. У: *Зборник IV Југословенски симпозијум Хемија и заштита животне средине – Зрењанин*, (стр. 11-13). Београд: Српско хемијско друштво.
5. Далмација, Б., и Иванчев-Тумбас, И. (2003). *Управљање квалитетом вода са аспекта оквирне директиве Европске уније о водама*. Нови Сад: Департман за хемију, Природно-математички факултет Универзитета у Новом Саду.
6. Далмација, Б., Бечелић-Томин, М., и Малетић, С. (2016). *Мониторинг отпадних вода и њиховог утицаја на животну средину*. Нови Сад: Департман за хемију, биохемију и заштиту животне средине, Природно-математички факултет Универзитета у Новом Саду.
7. Ђармати, Ш., Веселиновић, Д., Гржетић, И., и Марковић, Д. (2007). *Животна средина и њена заштита. Књига 1, Животна средина*. Београд: Факултет за примењену екологију Футура у Београду.
8. Ivanković, T., & Hrenović, J. (2010). Surfactants in the environment. *Arhiv za Higijenu rada i toksikologiju*, 61(1), 95-110.
9. Јаковљевић, М., и Пантовић, М. (1991). *Хемија земљишта и вода*. Београд: Пољопривредни факултет Универзитета у Београду и Научна књига.
10. Кемер, Ф. (2005). *Налков приручник за воду*. Београд: Савез инжењера и техничара Србије.
11. Кристофоровић-Илић, М., Радовановић, М., Вајагић, Л., Крњетин, С., Обркнежев, Р., Јефтић, З., и Фолић, Р. (1998). *Комунална хигијена*. Нови Сад: Прометеј.
12. Magana-Arachchi, D., & Wanigatunge, R. (2020). Ubiquitous waterborne pathogens. У: М. Vara Prasad, & A. Grobelak (Eds.), *Waterborne Pathogens* (pp. 15-42). Oxford: Butterworth-Heinemann.
13. Мариновић, Д. (2013). *Нови квантитативни критеријуми процене степена загађења животне средине водама са органохлорним инсектицидима* (Докторска дисертација). Ниш: Факултет заштите на раду у Нишу, Универзитета у Нишу.
14. McConnell, J., Andrew, W., Stohl, A., Arienzo, M., Chellman, H., Eckhardt, S., Thompson, E., Pollard, M., & Peder Steffensen, J. (2018). Lead pollution recorded in Greenland ice indicates European emissions tracked plagues, wars, and imperial expansion during antiquity. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 115(22), 5726-5731.
15. Miltojević, A., Golubović, T., & Stojanović, M. (2018). Polycyclic aromatic hydrocarbons in the working environment: Toxic effects and safety issues. У: *Proceedings of the 18th International Conference - Man & Working Environment -*

- 50 Year of Higher Education, Science and Research in Occupational Safety Engineering, (pp. 141 – 145). Niš: Faculty of Occupational Safety Niš, University of Niš.
16. NRPC. (1999). National Radiation Protection Board, Common Eq. Organic doses and Common Effective doses from intakes of radionuclides, Chilton, Didcot.
  17. Nishijo, M., Nakagawa, H., Suwazono, Y., Nogawa, K., & Kido, T. (2017). Causes of death in patients with Itai-itai disease suffering from severe chronic cadmium poisoning: a nested case–control analysis of a follow-up study in Japan. *BMJ Open*, 7(7), e015694.
  18. Okandan, E., & Özcan, B. (2004). Impact of Oil Field Activities on Water Resources. Y: Teaf C.M., Yessekin B.K., Khankhasayev M.K. (Eds.), *Risk Assessment as a Tool for Water Resources Decision-Making in Central Asia. NATO Science Series (Series IV: Earth and Environmental Sciences)*, vol. 34, (pp. 175-196). Springer, Dordrecht.
  19. Oliviera, H. (2012). Chromium as an environmental pollutant: Insights on induced plant toxicity. *Journal of Botany (Special Issue)*, Article ID 375843.
  20. Почуча, Н. (2008). *Екохидрологија (Загађење и заштита вода)*. Београд: Грађевинска књига.
  21. Tchobanoglous, G. Burton, F., & Stensel, D. (2003). *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse*. New York: McGraw-Hill Science, Engineering and Mathematics.
  22. US EPA (2008). Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs). *US EPA Report*.
  23. US EPA (2020). Learn about Polychlorinated Biphenyls (PCBs). *US EPA Report*.
  24. Harada, M. (1995). Minamata disease: Methylmercury poisoning in Japan caused by environmental pollution. *Critical Reviews in Toxicology*, 25(1), 1-24.
  25. WHO. (1993). Guidelines for drinking-water quality, 2nd edition. World Health Organization. Geneva: World Health Organization. [https://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/publications/gdwq2v1/en/](https://www.who.int/water_sanitation_health/publications/gdwq2v1/en/)
  26. WHO. (2017). Guidelines for drinking-water quality, 4th edition. Geneva: World Health Organization. <https://www.who.int/publications/i/item/9789241549950>

#### Правна регулатива:

27. Закон о водама, *Службени гласник РС*, бр. 30/2010, 93/2012, 101/2016 и 95/2018 (др. закон).
28. Закон о заштити животне средине, *Службени гласник РС*, бр. 135/2004, 36/2009, 36/2009 (др. закон), 72/2009 (др. закон), 43/2011 (УС), 14/2016, 76/2018, 95/2018 (др. закон).
29. Правилник и начину и условима за мерење количине и испитивање квалитета отпадних вода садржаних извештаја о извршеним мерењима, *Службени гласник РС*, бр. 33/2016.
30. Правилник о опасним материјама у водама, *Службени гласник СРС*, бр. 31/1982.
31. Правилник о хигијенској исправности воде за пиће, *Службени лист СРЈ*, бр. 42/98 и 44/99 и *Службени гласник РС*, бр. 28/2019.
32. Уредба о граничним вредностима емисије загађујућих материја у воде и роковима за њихово достизање, *Службени гласник РС*, бр. 67/2011, 48/2012 и 1/2016.





## 9. ОТПАДНЕ ВОДЕ

### Циљеви поглавља:

- Упознавање са пореклом отпадних вода
- Упознавање са индикаторима стања вода
- Стицање знања о врстама и квалитету отпадних вода

### Резиме:

Отпадне воде представљају воде које су коришћене за одређену намену, при чему су промениле свој квалитет, тако да се поново не могу употребљавати у исте сврхе. Отпадне воде могу да угрожавају квалитет површинских и подземних вода. Највеће количине отпадних вода потичу из индустрије и урбаних средина. Према извору загађујућих материја отпадне воде се деле на: пољопривредне отпадне воде, индустријске отпадне воде, отпадне воде насеља, отпадне воде које потичу од загађивања атмосфере, отпадне воде које потичу од воденог саобраћаја и отпадне воде осталих извора. Индикатори стања вода користе се за приказивање варијације квалитета реципијента након упуштања отпадне воде. Индикатори стања вода су: температура, мирис, боја, суспендоване материје, рН вредност, органске материје, тешки метали, микроорганизми и друго. Ради заштите екосистема у целини, потребно је да се отпадне воде пре испуштања у реципијент подвргну третману пречишћавања у постројењима за прераду отпадних вода. Квалитет који треба да поседује отпадна вода да би се испустила у реципијент регулисан је одговарајућим стандардима.

### Summary:

Wastewater is water that has been used for a specific purpose that changed its quality so that it cannot be used again for the same purpose. Wastewaters can influence surface and groundwater quality. The greatest amount of wastewaters originates from industry and urban areas. Based on the sources of pollution, wastewaters can be classified into agricultural wastewaters, industrial wastewaters, municipal wastewaters, wastewaters originating from atmospheric pollution, wastewaters originating from water transportation, and other sources. Water quality indicators are used to show the variation in recipient quality after wastewater discharge. They include temperature, odor, color, suspended matter, pH value, organic matter, heavy metals, microorganisms, etc. To protect the ecosystem as a whole, it is necessary to subject the wastewater to treatment in wastewater treatment plants before discharge to receiving waters. The quality of wastewater to be released into the recipient is regulated by the standards.

## 9.1. Порекло отпадних вода

Не постоји јединствена дефиниција отпадне воде, али се уопштено може рећи да је то вода која је коришћена, односно употребљена за одређену намену, при чему је променила свој квалитет, тако да се поново не може употребљавати<sup>10</sup>. Измењен квалитет воде настаје због промена њених физичких и/или хемијских и/или биолошких карактеристика у току употребе. Отпадне воде садрже разне растворене и нерастворене неорганске и органске материје и микроорганизме. Да би се отпадна вода упустила у реципијент или евентуално поново користила мора се подвргнути одговарајућем третману. Развој цивилизације условио је све интензивније коришћење водених ресурса, али и њихово загађивање упуштањем непречишћених или недовољно пречишћених отпадних вода. Ово је временом довело до поремећаја екосистема таквих размера, да се пречишћавање отпадних вода наметнуло као неопходност. Отпадне воде угрожавају квалитет површинских и подземних вода, а самим тим и квалитет постојећих ресурса воде која се може употребити за пиће (Закон о водама, 2018).

Отпадне воде потичу од загађивача који се могу сврстати у две категорије:

- концентрисани и
- расути.

*Концентрисани загађивачи* су насеља и разни објекти у којима се обавља нека делатност, а најчешће се налазе поред река, језера или мора. То могу бити:

- урбана насеља,
- индустријски објекти (хемијска, метална и металопрерађивачка индустрија, прерада руда, прехранбена индустрија, индустрија целулозе и папира, текстилна индустрија, производња грађевинског материјала, производња детерџената),
- енергетски објекти (термоелектране, топлане, нуклеарне електране, хидроенергетски објекти, прерада нафте, прерада угља),
- пољопривредни објекти за гајење животиња и друго.

Отпадне воде из концентрисаних загађивача пролазе третман пречишћавања, а затим се канализационим системима или системом канала упуштају у водопријемнике.

Код *расутих загађивача* загађујуће материје се у водену средину уносе неконтролисано и са широког подручја. Неки од расутих загађивача вода су:

- пољопривредна земљишта са којих се спирају пестициди и ђубрива,
- депоније,
- саобраћајнице,
- локације за експлоатацију песка и шљунка и друго.

Код расутих загађивача је тешко одредити допринос загађењу јер их је веома компликовано контролисати.

---

<sup>10</sup> Према Уредби о граничним вредностима емисије загађујућих материја у воде и роковима за њихово достизање (Службени гласник РС, бр. 67/11, 48/12, 1/2016) отпадне воде се дефинишу као „воде са измењеним природним физичким, хемијским и/или биолошким особинама као резултат људске активности, као и атмосферске и друге воде”.

Највећа количина отпадних вода потиче из: индустрије, пољопривреде, домаћинства и урбаних средина. Отпадне воде из индустријских постројења су *индустријске отпадне воде*, док се отпадне воде из урбаних средина (отпадне воде домаћинства, пратеће индустрије, атмосферских падавина) називају *комуналне отпадне воде*. И једне и друге у себи носе већу количину загађујућих материја, које доспевају у водна тела површинских и подземних вода. Такође, отпадне воде настају из пољопривредне делатности, земљорадње и сточарства, нарочито у току спирања земљишта.

Утицај отпадних вода на реципијент одређује се на основу познавања *квалитета* и *квантитета* загађујућих супстанци у отпадној води, али и *количине* и *протока* отпадних вода. Пошто састав отпадних вода варира, не постоје показатељи квалитета отпадних вода који су заједнички за све воде. Квалитет отпадних вода се одређује у узорцима који су узети у приближно једнаким временским интервалима при различитим режимима испуштања отпадних вода.

Количина отпадних вода се може *прецизно* одредити директним мерењем, или мање поуздано *процењивањем*, односно израчунавањем на основу капацитета и трајања рада пумпи за транспорт отпадних вода, количине потрошене воде и друго. Проток отпадних вода је значајан параметар којим се дефинише утицај отпадних вода на водопријемник. Тако, чак иако је количина загађујућих материја у отпадној води релативно мала, при великом протоку отпадних вода, у реципијент се може унети значајна количина загађујућих материја.

Квалитет који треба да поседује пречишћена отпадна вода да би се испустила у реципијент регулисан је одговарајућим емисионим стандардима. Потребно је познавати граничне вредности емисије (GVE) за упуштање пречишћених отпадних вода у водоток – реципијент<sup>11</sup>.

Сам процес третирања отпадних вода започиње *њиховим прикупљањем*, затим *третманом пречишћавања*, а завршава се *испуштањем у реципијент*.

<sup>11</sup> У Републици Србији, законски основ за спровођење мониторинга загађујућих материја кроз отпадне воде представља Закон о водама (Службени гласник РС, бр. 30/2010, 93/2012, 101/2016 и 95/2018 – др. закон.). Са аспекта стања водних тела (реципијента отпадних вода) на територији Републике Србије донета је Уредба о граничним вредностима емисије загађујућих материја у води и роковима за њихово достизање (Службени гласник РС, бр. 67/11, 48/12, 1/2016) чиме се зауставља даља деградација и унапређује статус/потенцијал водних тела. Законска регулатива којом се ближе прописују начин и услови за мерење количине и испитивање квалитета отпадних вода Републике Србије је Правилник о начину и условима за мерење количине и испитивање квалитета отпадних вода и садржини извештаја о извршеним мерењима (Службени гласник РС, бр. 33/2016). Према овом правилнику, сврха мерења количине и квалитета отпадних вода врши се ради:

- провера усаглашености са граничним вредностима емисије загађујућих материја у воде (GVE) и ефикасности рада постројења за пречишћавање отпадних вода;
- утврђивање утицаја испуштених отпадних вода на пријемник;
- прикупљање података за вођење регистара у складу са прописима у области вода и заштите животне средине.

## 9.2. Индикатори стања отпадних вода

Отпадне воде се канализационим системима одводе из насеља и индустријских постројења у водопријемнике: реке, језера, канале, мора или у земљиште. Када се упусте у водопријемник, на различите начине загађују водену, односно животну средину. Загађујуће материје из отпадних вода од тренутка доспевања у водену средину подлежу различитим физичким, хемијским и биохемијским процесима, од којих зависи њихова даља дистрибуција у животној средини. Основни проблем управљања отпадним водама представља њихов адекватан третман, који се примењује у зависности од квалитета саме отпадне воде и последица које могу настати уливањем у реципијент (Правилник о опасним материјама у водама, 1982 и Правилник о начину и условима за мерење количине и испитивање квалитета отпадних вода и садржини извештаја о извршеним мерењима, 2016).

*Индикатори стања отпадне воде користе се за сагледавање квалитета реципијента након упуштања отпадне воде.*

Основни индикатори стања квалитета отпадне воде су: температура, мирис, боја, садржај суспендованих материја, рН вредност, садржај органске материје (који се одређује преко ВРК<sub>5</sub> и НРК), укупан број колиформних бактерија. Уколико се отпадне воде испуштају у водоток или језера која служе за водоснабдевање, поред поменутих параметара, одређује се и садржај нутријената (азота и фосфора), тешких метала, а по потреби и других токсичних материја. Сталном контролом наведених параметара добија се увид у стање квалитета отпадних вода и вода реципијента и уколико је потребно предузимају се одговарајуће мера ради спречавања негативних утицаја на животну средину (Веселиновић и др., 1995; Далмација, 2001).

*Температура* отпадне воде је параметар који утиче на промену растворљивости гасова, брзину хемијских реакција, биолошку активност у водопријемнику. Повећањем температуре водопријемника интензивирају се биохемијске реакције, чиме се смањује количина раствореног кисеоника, односно долази до негативних последица по живи свет у води. Поједине индустријске отпадне воде имају значајно повишену температуру (нарочито расхладна вода).

*Боја* свеже отпадне воде је најчешће светло-браон-сиву. Међутим, како вода путује кроз канализациони систем стварају се анаеробни услови, тако да вода поприма тамно сиву и на крају црну боју. Сива, тамно сива и црна боја отпадне воде повезују се са настанком сулфида метала који се стварају у анаеробним условима. Отпадна вода црне боје је изузетно загађена, односно то је септична вода.

*Мирис* отпадних вода је непријатан услед издвајања гасова који настају разградњом органске материје. Мирис се осећа и након испуштања отпадне воде у водопријемник. Нека једњења, која дају специфичан мирис отпадним водама приказана су у табели 9.1.

**Табела 9.1.** Нека хемијска једињења која стварају непријатан мирис отпадних вода (Гаћеша и Клашња, 1994)

| Хемијско једињење или група једињења           | Мирис          |
|------------------------------------------------|----------------|
| Амини                                          | Рибе           |
| Амонијак ( $\text{NH}_3$ )                     | Амонијака      |
| Диамини                                        | Труло месо     |
| Водоник-сулфид ( $\text{H}_2\text{S}$ )        | Покварена јаја |
| Меркаптани                                     | Твора          |
| Органски сулфиди                               | Трули купус    |
| Скатол ( $\text{C}_8\text{H}_5\text{NHCH}_3$ ) | Фекалија       |

*pH вредност* је значајан параметар за одигравање хемијских и биолошких процеса у води. Како не би дошло до значајне промене *pH* вредности реципијента, *pH* вредност ефлуента мора да буде између 6,5 и 8,5. Комуналне воде најчешће имају *pH* вредност у опсегу 7–7,5 што не представља значајни проблем за водопријемник. Међутим, *pH* вредност индустријских отпадних вода може бити таква да угрози живот организама у водопријемнику.

*Укупне суспендоване материје.* Чврсте супстанце у води могу бити дисперговане у растворном или суспендованом облику. Суспендоване материје у води су органског и/или неорганског порекла, а од њихове количине зависи мутноћа воде. Укупне суспендоване материје се одређују гравиметријски тако што се одговарајућег узорка воде филтрира или центрифугира, а затим суши на температури од 103-105 °C. Измерена маса након сушења, представља количину укупних суспендованих честица. Познавање садржаја и облика у коме се налазе суспендоване материје у отпадним водама је значајно јер се на основу тога одређује поступак третмана воде. Суспендоване честице могу бити лакше и теже од воде. Теже суспендоване материје се таложе у води за око два сата, при чему се стварају насlage муља у којима владају анаеробни услови. Суспендоване честице се јављају у скоро свим отпадним водама и утичу на одвијање појединих процеса пречишћавања. Отпадне воде загађене великом количином суспендованих честица, нарочито органског порекла, су нестабилне отпадне воде.

*Нутријенти.* Уколико се отпадним водама у реципијент унесе већа количина нутријената, стварају се повољни услови за интензиван развој акватичне флоре и појаве еутрофикације. Процесу погодује повишена температура и добра осунчаност воде, а нарочито је изражена код упуштања комуналне воде, пошто оне садрже значајне количине једињења азота и фосфора. Нутријенти из отпадних вода могу контаминирати и подземне воде уколико у повећаној количини доспеју на земљиште.

*Метали.* У отпадним водама се могу наћи тешки метали, као што су кадмијум, хром, бакар, олово, гвожђе, манган, жива, никал и цинк. Повећана концентрација ових метала у водама токсично делује на акватични свет, па их је потребно уклонити пре уливања отпадне воде у реципијент. Тешки метали се углавном налазе у индустријским отпадним водама, а њихово присуство зависи од типа индустрије и технолошког процеса. У новије време је евидентирано присуство тешких метала и у атмосферској отпадној води.

*Органске материје.* У отпадним водама насеља и индустријским отпадним водама налази се значајна количина различитих органских једињења, која потичу од органског отпада из домаћинства и индустријских погона. У новије време отпадне воде су значајно оптерећене синтетичким органским једињењима, која се не разграђују пречишћавањем отпадне воде конвенционалним поступцима, тако да директно загађују реципијент. У отпадним водама насеља значајну групу органских материја чине површински активне супстанце, које се мало растварају у води и доводе до стварања пене у постројењима за третман отпадних вода и на површини реципијента. Синтетичка уља (керозин, моторна уља) плутају по површини воде, јер су мање специфичне тежине. Присуство органских материја у води се посредно дефинише биохемијском потрошњом кисеоника ( $\text{BPK}_5$ ). Упуштањем веће количине органске материје у водопријемник поспешује се процес биолошке оксидације, чиме се троши значајна количина раствореног кисеоника у води и стварају анаеробни услови. Производ тога је појава штетних гасова као што су:  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{CO}_2$ , који неповољно утичу на акватичне организме и могу да доведу до њиховог угинућа. Анаеробни услови воде доводе и до редукције и растварања гвожђа и мангана, па вода постаје неодговарајућа за сваку водопривредну употребу.

*Микроорганизми.* Комуналне отпадне воде су нарочито оптерећене разноврсним микроорганизмима од којих неки могу бити и патогени. Отпадним водама се могу пренети паразити (црви, пантљичара), али и изазивачи болести, као што су: дизентерија, лепра, туберкулоза, тифус, колера, хепатитис и друге. Пошто се присуство и број патогених организама у отпадној води тешко одређује, као индикатори микробиолошког загађења користе се колиформни организми, којих има много, па је њихово одређивање једноставније (Кристофоровић-Илић и др., 1998).

### 9.3. Класификација отпадних вода према садржају загађујућих материја

Отпадне воде се могу на разноврсне начине класификовати, али је најчешћа:

- према садржају загађујућих материја и дејству на водопријемник и
- према извору загађујућих материја.

*Према садржају загађујућих материја и дејству на водопријемник,* отпадне воде се могу сврстати у четири групе (Далмација, 2010; Withgott & Brennan, 2006):

*I група.* У отпадним водама I групе налазе се неорганске материје у растворном и нерастворном облику које поседују специфичне токсичне особине: арсен, бакар, олово и други тешки метали, оксиди и хидроксиди метала, сумпорводоник и друга једињења сумпора, соли. Ове отпадне воде приликом уливања у реципијент мењају његове физичко-хемијске особине као што су: природна боја и прозрачност воде, рН вредност, тврдоћа, вода поприма непријатан мирис и укус. Може доћи и до тровања водених организама сумпорводоником, арсеном и другим токсичним супстанцама. Такође, токсичне нерастворене супстанце се могу сталожити на дну, што негативно делује на организме који живе на дну водене средине.

*II група.* Основне загађујуће материје у њима су суспендоване минералне материје и ситне честице минерала. Њихово дејство је слично деловању прве групе, али је токсично дејство мање изражено и није специфично.

*III група.* Ове отпадне воде садрже органске материје које немају специфично токсично дејство. Углавном настају из прехранбене индустрије. Мада не садрже токсичне материје, негативно утичу на воду реципијента јер троше велику количину кисеоника за оксидацију, што доводи до дефицита кисеоника. Органске материје се, као резултат сложених биохемијских реакција, оксидују под дејством аеробних микроорганизама, а делимично подлежу и анаеробном разлагању уз настајање отровних гасова: сумпорводоника, метана и амонијака. То све доводи до промена рН вредности, прозрачности, боје и биохемијске потрошње кисеоника (ВРК), односно нарушава се нормалан хидрохемијски режим реципијента. Упуштање ових отпадних вода је нарочито ризично у току зиме када је количина кисеоника у води мања.

*IV група.* То су отпадне воде које садрже органске примесе са специфичним токсичним дејством. У њима се могу наћи: феноли, смоле, боје, алкохоли, алдехиди, деривати нафте, једињења сумпора (меркаптани, сумпорводоник), киселине, базе, органске и неорганске соли, једињења арсена и олова и друге перзистентне органске материје. Деловање отпадних вода ове групе је слично отпадним водама прве групе али је јаче изражено с обзиром да се многе супстанце које улазе у њихов састав споро минерализују. Штетно деловање се може приметити на раздаљини од десетак, па чак и стотинак километара од извора загађења, нарочито код река са брзим током. Под дејством супстанци, као што су бензен, уља, смоле, феноли и пиридини, вода добија боју, непријатан фенолни мирис и укус, постаје мутна и покрива се флуоресцирајућим танким слојем који спречава контакт са кисеоником.

*Према извору загађујућих материја* примењује се следећа класификација отпадних вода:

- комуналне отпадне воде,
- индустријске отпадне воде,
- пољопривредне отпадне воде (ратарство, сточарство, воћарство...),
- атмосферске отпадне воде, и
- отпадне воде осталих извора (водени саобраћај, депоније комуналног и другог отпада, површински копови, пепелишта и друго).

## **9.4. Класификација отпадних вода према извору загађујућих материја**

### **9.4.1. Комуналне отпадне воде**

Комуналне отпадне воде настају као производ животне активности становништва и пратећих делатности. Оне представљају смешу отпадних вода домаћинства, јавних установа и отпадних вода из занатских радионица и индустријских објеката, које су претходно делимично пречишћене. Самим тим, може се рећи да комуналне отпадне воде настају из:

- *санитарних отпадних вода* – потичу из домаћинства, јавних установа, здравствених установа, школа и друго,
- *инфилтрацијских отпадних вода* – потичу од воде која пролази кроз пукотине порозних цеви, која улази у канале предвиђене за атмосферске падавине, од топљења снега, прања улица, и друго,

- *индустријских отпадних вода* – потичу од присутних индустријских погона чији се отпад испушта у градску канализацију.

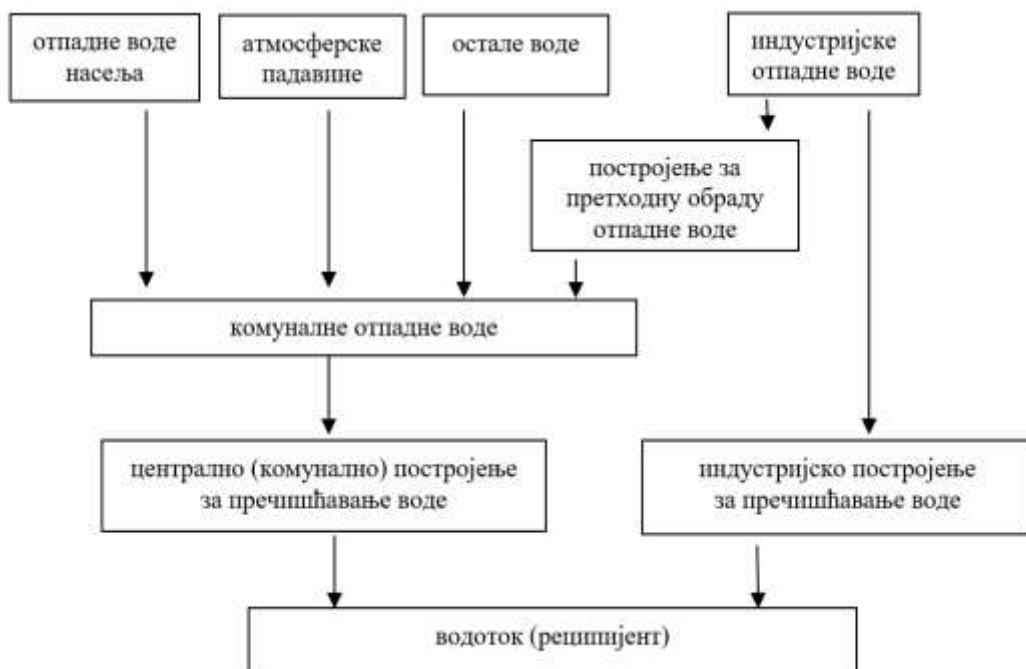
Највећу количину комуналне отпадне вода чини санитарно-фекална отпадна вода, односно употребљена вода из домаћинства. Подаци указују да се количина отпадне воде по становнику креће у широком опсегу од 60 до 200 и више литара дневно уз дневне варијације. Из тог разлога комуналне отпадне воде имају релативно константан састав у једном региону за дужи период, али количина варира у зависности од доба дана, дана у недељи и годишњег доба. У просечно развијеној економији санитарно-фекалне отпадне воде чине око 50% укупних отпадних вода једног насеља (Почуча, 2008).

Састав комуналне отпадне воде зависи од стандарда и начина живота становништва и врсте индустрије која се налази у насељеном месту. Степен контаминације комуналне отпадне воде зависи од тога да ли она потиче из мањих насеља или из градске средине. Отпадна вода мањих насеља, по правилу, не садржи већу количину штетних материја. Знатно загађеније су комуналне отпадне воде из градске средине, јер се поред отпадних вода домаћинства уносе и каналисане отпадне воде индустрије, које су претходно пречишћене у зависности од обима и врсте индустријске производње. Из насељених места отпадне воде се канализационим системом изливају у површинске воде и загађују их. Комуналне, отпадне воде, односно отпадне воде из насеља карактерише и значајна биолошка загађеност, која потиче од људских функција, тако да се у тим водама може наћи узрочници многих заразних болести. Ове воде могу садржати патогене микроорганизме и јаја многих паразита, нарочито хелмината<sup>12</sup>, па представљају опасност са санитарно-хигијенске тачке гледишта. Присуство микроорганизама у природној води, као што је фекална *Escherichia coli*, представља поуздан знак загађења те водене средине отпадним водама из насеља и указује на опасност такве воде по здравље људи. Ове отпадне воде садрже углавном органске материје, као што су остаци хране, средства за прање и одржавање хигијене, физиолошке излучевине људи и друго. Органска једињења која се налазе у отпадним водама насеља су: аминокиселине, масне киселине, сапуни, анјонски детерџенти, амини, амиди и многа друга једињења. У њима има доста детерџента од којих већина не подлеже биолошкој разградњи. Детерџенти су главни извори фосфата. Неорганских материја има количински знатно мање и то су углавном соли и чврсти отпаци различитог састава. Главни неоргански састојци јесу растворене соли у облику јона:  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  и  $\text{PO}_4^{3-}$ . Олово које се користи за повећање октанског броја моторних горива, доспева у атмосферу и на земљиште поред путева, а даљим процесима и у водену средину. Уочено је да су концентрације метала Pb, Zn и Cu у градској отпадној води највише 30 минута након почетка кише. Улична прашина садржи разне индустријске супстанце, које такође доспевају у отпадну воду. Испитивања указују да се у килограму уличне прашине може наћи и до 0,5 g канцерогених супстанци (Јокановић, 2001).

Упуштањем комуналних отпадних вода у површинске воде долази до загађивања површинских вода. Концентрација раствореног кисеоника у површинским водама се смањује услед оксидације органске материје из комуналних отпадних вода. Процес оксидације одвија се под утицајем аеробних микроорганизама до нитрата, сулфата, фосфата и карбоната. Међутим, повећањем садржаја органске материје јавља се

<sup>12</sup> Хелминти су паразити, налик црвима, који настањују веће организме.

дефицит кисеоника у води, при чему настају анаеробни услови и оксидациони процеси се замењују редукционим. То доводи до стварања метана, амина,  $\text{H}_2\text{S}$ . Повећање концентрације ових штетних супстанци проузрокује угинуће акватичног света, а вода добија непријатан мирис. Количину органске материје у води је неопходно контролисати и она се дефинише параметром петодневна вредност биохемијске потрошње кисеоника ( $\text{BPK}_5$ ). У Европској Унији прихваћено је да еквивалент становник произуђује 60 g  $\text{BPK}_5$ /дан. Такође, потребно је пратити температуру комуналне отпадне воде. Уколико је температура изнад 20 °C, а отпадна вода се, због дужине мреже, дуже задржава у канализационој мрежи (преко 12 сати), интензивирају се редукциони услови и настанак сулфида, јавља се непријатан мирис, али и корозија ценовода. Поред наведеног, комуналне отпадне воде садрже и знатну количину материја које, када се нађу у површинским водама (река, језера), падају на дно и таложе се стварајући временом дебеле слојеве муља и анаеробне услове водене средине. Фактор квалитета комуналних отпадних вода је уплив индустријских отпадних вода, које се каналишу заједно са отпадним водама насеља, а чији квалитет зависи од обима и врсте индустрије у насељу (Љубисављевић, Ђукић и Бабић, 2004). У том случају потребно је извршити њихово претходно делимично пречишћавање до потребног нивоа. Шема третитања комуналних отпадних вода пре уливања у реципијент приказана је на слици 9.1.



Слика 9.1. Шематски приказ канализационог система насеља (модификовано према Tchobanoglous, Burton, & Stensel, 2003)

#### 9.4.2. Индустријске отпадне воде

У току индустријског производног процеса настају отпадне воде које се разликују по саставу и количини отпадних вода. Динамика настајања индустријских отпадних вода првенствено зависи од врсте индустрије и технолошког процеса. Ове отпадне воде су

велики загађивачи површинских и подземних вода, тако да представљају значајан проблем савременог развоја. Њиховим упуштањем у водопријемник повећава се концентрација токсичних материја, што угрожава акватични биљни и животињски свет, и смањује могућност даљег водопривредног коришћења тих вода. По саставу се значајно разликују од комуналних отпадних вода, јер садрже знатну количину различитих токсичних материја. Количина и загађеност отпадне воде се разликују између индустријских постројења чак и у оквиру исте гране индустрије, јер се процеси производње, сировине и реагенси разликују од постројења до постројења. Из тих разлога је потребно за сваки индустријски погон утврдити количину и квалитет отпадне воде. Отпадне воде индустријских постројења обухватају: *процесне воде, расхладне воде, воде од чишћења и дезинфекције објеката и опреме индустрије и санитарне воде.*

Процесна вода је највише загађена, па се мора пречишћавати. Ова вода је у директном или индиректном контакту са сировинама, односно полупроизводима или се користи у техничке сврхе. Вода за хлађење је најмање загађена, па се након употребе обично не пречишћава, него директно испушта у водопријемнике. Међутим, она представља опасност за водопријемник, јер се због њене повишене температуре у водопријемнику смањује количина раствореног кисеоника, што негативно утиче на акватични свет. Количина индустријских отпадних вода варира у зависности од динамике њиховог настајања у току процеса производње, интензитета рада и друго.

Посебно су значајна такозвана ударна испуштања отпадне воде, када се у релативно кратком временском интервалу испушта већа количина воде. Уопштено се може рећи да индустријске отпадне воде садрже, у траговима или у већој количини, разне хемијске супстанце, сировине, индустријске полупроизоде, споредне производе (који настају поред главних продуката) и финалне производе. О врсти и количини загађујућих материја које испусти одређена индустрија може се знати само након детаљне анализе отпадних вода.

Према врсти загађења индустријске отпадне воде се могу поделити на оне које садрже претежно неорганске и/или органске материје биолошки теже или лакше разградиве. Данас је познато више хиљада загађујућих материја у индустријским отпадним водама, међу којима су најчешћи: детерџенти, растварачи, цијаниди, тешки метали, неорганске и органске киселине, амонијак, једињења азота, масти, соли, средства за бељење, боје и пигменти, фенолна једињења, средства за штављење, сулфиди и многа друга једињења (Јованчичевић, 2006). Велики број поменутих једињења је биоцидан (уништава одређене врсте живих бића) и токсичан. Зависно од типа индустрије, у индустријским отпадним водама опасне материје се могу наћи растворене, суспендоване или адсорбоване на суспендованим честицама. Из поменутих разлога је одвођење и пречишћавање отпадних вода из индустрије сложен процес и захтева висок ниво знања и стручности.

За одређивање степена загађености ових отпадних вода користе се стандардни параметри: ВРК, НРК, мутноћа, суспендоване материје, рН и други. Индустријске отпадне воде се, у неким случајевима, могу у реципијент испуштати заједно са отпадном водом насеља. Међутим, неопходно је прво изврши одговарајућу прераду отпадне воде у самој фабрици, а затим је заједно са отпадном водом насеља одвести до централног постројења за пречишћавање воде (Clesceri, Greenberg, & Eaton, 1998).

Пречишћавање воде у фабрици је потребно јер индустријске отпадне воде садрже трагове металних јона и неких других биолошки неразградивих супстанци, па се зато не могу применити процеси пречишћавања конвенционалним уређајима за пречишћавање градских отпадних вода. Најзначајније количине отпадних вода потичу из следећих грана индустрије: хемијске, металопрерађивачке, прехранбене, текстилне, папирне, кожарске, али и од енергетских и термоенергетских постројења (Уредба о граничним вредностима емисије загађујућих материја у воде и роковима за њихово достизање, 2016).

*Прехрамбена индустрија* је велики потрошач воде високог квалитета за различите технолошке операције припремања хране, прања сировина и опреме, за хлађење и слично. Од ове индустрије је једино хемијска индустрија већи потрошач. Најзначајније су: индустрија прераде меса, прераде рибе, производња млека и сира, производња јестивих уља, прерада шећера, индустрија врења и дестилације алкохолних пића, конзервирање воћа и поврћа и производња сокова и друго. Отпадне воде садрже растворене или суспендоване различите, претежно органске материје, уља, затим неорганска једињења азота и фосфора, хлориде. *Месна индустрија* ствара отпадне воде које садрже: крв, масноће, перје, протеине и слично, тако да се у њима може лако доћи до процеса труљења. Од неорганских материја углавном су присутни калијум, калцијум-карбонат, биогени елементи: азот, фосфор, и друго. Такође, ове воде се карактеришу и већим биолошким загађењем. Отпадна вода из *млечне индустрије* садржи отпатке са високим садржајем протеина, масти и лактозе из прерађеног млека и сира. Отпадне воде *шећерне индустрије* су слабо алкалне воде, које садрже органске материје које брзо и лако труле. Из тих разлога шећеране спадају у значајне загађиваче површинских вода органским материјама. При разлагању органске материје у анаеробним условима ствара се водоник-сулфид који има неповољан утицај на флору и фауну реципијента. Отпадне воде шећерне индустрије, због присутног шећера и протеина, имају високу вредност ВРК. Код *индустрије алкохолних пића* процеси врења и дестилације алкохола стварају органске супстанце са високим садржајем азота и ферментисаног скроба, који се могу наћи и у отпадним водама.

Код *текстилне индустрије* током процеса кувања влакана и производње платна стварају се супстанце које знатно повећавају вредности ВРК отпадне воде. Врста и количина загађујућих супстанци, које се могу наћи у отпадној води, зависи од употребљених хемикалија у појединим фазама производње. Поред тога, може се наћи и знатна количина влакана. Карактеристични параметри загађења отпадних вода су: рН, суспендоване материје, растворене неорганске материје (хром, сулфиди), а од органских материја феноли, уља, масти. Отпадне воде ове индустрије су често алкалне, па се морају претходно неутралисати, а такође и често имају температуру вишу од дозвољене за испуштање у реципијент.

*Органска и неорганска хемијска индустрија* ствара отпадне воде, које садрже разноврсне неорганске и органске супстанце, од којих је већина веома токсична за биоценозу водене средине. Параметри загађења отпадних вода су: температура, рН, суспендоване материје, неорганске материје (азот, фосфор, калијум, арсен, никл, хром, олово, цинк, бакар, нитрати, сулфати, флуориди, хлориди), органске материје (угљоводоници, феноли, уља, масти). Значајни загађивачи су фабрике за добијање киселина, база и амонијака, у чијим се отпадним водама налазе базе и киселине.

У *индустрији боја*, при процесу галванизације настају цијаниди и врло токсичан галвански муљ.

Код *производње пестицида* у отпадној води се могу наћи поједина органофосфорна и органохлорна једињења, нарочито полихлоровани бифенили, који представљају изузетно токсичне супстанце (Мариновић, 2013).

Отпадне воде *индустрије фосфатних ђубрива* садрже елементарни фосфор, флуор, силицијум и велике количине суспендованих чврстих материја.

*Индустрија производње целулозе и папира* је један од највећих потрошача, али и загађивача вода. Вода се користи за превоз дрвета унутар фабрике, у процесима млевења и кувања дрвене масе, као и приликом избељивања, рафинирања и стварања листов папира. Отпадне воде ове индустрије садрже органске и минералне материје, као што су: органске боје, тешки метали, феноли, сулфиди, соли натријума које се употребљавају у процесу добијања папира, затим мале комадиће коре дрвета, целулозна влакна и отопљени лигнин из дрвета. Њихова температура и рН вредност су неповољне за водопријемник. Такође, се могу наћи и веће количине чврстих честица, које брзо прекрију дно водене средине у дебљини од неколико десетина центиметара, уништавајући рибљи и акватични свет који зависи од хране са дна.

Постројења *индустрије за производњу и прераду нафте* (петрохемијска индустрија) као што су рафинерије, бушотине за експлоатацију нафте, хемијске фабрике за прераду нафте значајни су потрошачи и загађивачи вода. Основну опасност за реципијент представља нафта, јер је биолошки слабо разградива. Она ствара филм или скраму на површини воде, чиме се спречава доток кисеоника и процес фотосинтезе. Ове индустрије производе велики број различитих полутаната, као што су халогеновани угљоводоници, цијаниди, феноли, неорганска и органска једињења сумпора, метали (К, Са, Zn, Cu, Ni, Cr, Pb и други), азот, фосфор и низ других. Многа од њих мењају мирис и укус воде и при врло ниским концентрацијама реда величине ppm или ppb. Мирис отпадних вода из индустрије производње гума се може осетити и неколико стотина километара низводно. Нарочито штетни утицај на живе организме у природним водама имају отпадне воде настале у погонима *индустрије пластичних производа*.

*Индустрија челика и прераде метала* ствара по садржају разноврсне отпадне воде, што зависи од врсте индустрије и технолошког поступка. У отпадним водама постројења за производњу и обраду метала могу се наћи тешки метали, који се производе или користе, као што су: хром, цинк, бакар, кадмијум, сребро, никл, олово и други, а који су изузетно токсични. У отпадним водама од прања отпадних гасова могу се наћи органохалогена једињења, полихлоровани бифенили, полициклични ароматични угљоводоници, сумпорна једињења, флуориди, хлориди и друго. Карактеристично је да отпадне воде из ових индустрија имају велику количину седимента (трагови гвоздене руде, кокса, кречњака и алкалија).

Отпадне воде *кожарске индустрије* могу имати већу количину хрома, никла, натријум-хлорида, натријум-сулфата, органске материје, делиће коже, меса. У њима се могу наћи и биолошке заразне материје, што представља додатну опасност од инфекција. *Отпадне воде кожарске индустрије се сматрају најпрљавијим водама.*

Отпадне воде осталих индустрија које овде нису поменуте садрже низ различитих загађујућих супстанци, а њихов обим и састав зависе од технологије, динамике, обима

производње и друго. Готово је немогуће набројати све врсте хемикалија које данас доспевају из индустријских постројења у водену средину. Многе загађујуће супстанце, које се налазе у индустријским отпадним водама имају способност акумулирања у воденим организмима, што је веома значајно када се укључе у ланац исхране. Међутим, без обзира на улагања огромних средстава у уређаје за пречишћавање отпадних вода, извесна количина тешких метала, детерџената, продуката прераде нафте и других примеса доспева до реципијента (Далмација, 2001).

#### **9.4.3. Отпадне воде из пољопривреде**

Отпадне материје које настају пољопривредном делатношћу представљају значајно оптерећење за животну средину. Између осталог, ова делатност је значајан загађивач површинских и подземних вода. Загађујуће материје у отпадним водама из пољопривреде настају као последица примене различитих средстава за заштиту биља (првенствено пестицида), минералних ђубрива, могу потицати од животињског отпада, могу бити последица ерозије тла и друго. Велике сточне фарме су карактеристични загађивачи вода, јер се као отпад јављају знатне количине течног стајњака, чије одлагање углавном није адекватно решено. Количина насталог течног стајњака зависи од врсте животиња, начина њихове исхране, начина изђубравања, броја грла и друго. Течни стајњак у суштини представља воду која у великој мери садржи органске и минералне материје. Његова деконтаминација изискује већа финансијска улагања, тако да се не третира конвенционалним процесима пречишћавања. Једна од могућности смањења загађивања вода течним стајњаком је одлагање у такозване земљане базене. Међутим, базени су често без заштитног слоја због чега се загађују дубљи слојеви земљишта, што представља опасност за подземне воде. Једно од прихватљивијих решења је коришћење течног стајњака као ђубрива, уз примену одговарајућих санитарних и еколошких мера. Да би се то постигло користе се технологије које се базирају на анаеробним или аеробним процесима. Једна од њих је *анаеробна дигестија*, где као производ настаје биогаз, који се може користити као извор енергије. Код *аеробних* техника потребно је убрзати минерализацију органске материје, што се постиже растурањем течног стајњака, али се тиме ослобађа и амонијак, што је неповољни ефекат овог поступка. На фармама настају и отпадне воде из постројења добијања и прераде млека и слично. У њима се често налазе и резидуе лекова и других медицинских препарата, хигијенска и заштитна средства (пестициди), микроорганизми, што такође, неповољно утиче на природне воде са којима оне долазе у контакт. Због своје велике енергетске вредности отпадне воде из пољопривредних насеља и прехранбене производње се могу користити за наводњавање пољопривредних култура. Оне се, пре употребе, пречишћавају одговарајућим процесима и, уколико је потребно, разблажују. На тај начин земљиште добија и воду и хранљиве материје потребне за узгој пољопривредних култура. Таква примена пречишћене отпадне воде изискује стално праћење основних карактеристика земљишта, нарочито након дужег коришћења поменутих вода (Перишић, 1997).

*Обрадиве површине* су такође места стварања отпадних вода, које са тих површина могу отицати површински и подземно, чиме загађују површинске и подземне воде. Већа количина нутријената која доспе у површинске воде представља потенцијалну опасност, јер потпомаже раст алги и других фотосинтетичких организама, што доводи до еутрофикације воде. Састав минералних соли испраних из земљишта зависи од степена и карактера заслањености земљишта, услова наводњавања, стања

колекторско-дренажне мреже и других услова. Највећа количина соли дотиче у водне објекте са заливних површина сувих реона. Прилив пестицида у природне воде, умногоме зависе од постојаности примењених препарата у природној средини. Најпостојанији су хлорооргански пестициди (хлордан, хексахлорциклохексан и др.), који неразложени у земљишту могу остати до 15 година. Према степену перзистентности они спадају у веома постојане. Знатно су мање постојана органофосфорна једињења (хлорофос, карбофос и др.), који се потпуно разграде у земљишту за 45 до 60 дана (Мариновић, 2013).

Ерозија земљишта која настаје при разоравању пољопривредних површина, нарочито при спирању тла, доприноси повећању количине минералних материја, што доводи до загађивања природних вода и појачаног степена њихове еутрофикације.

#### **9.4.4. Атмосферске отпадне воде**

Атмосферске отпадне воде потичу од спирања падавина са градских и индустријских територија, од падавина из загађене атмосфере и друго. Ове отпадне воде се јављају за време интензивних падавина и топљења снега и углавном садрже материје које су присутне на одговарајућем простору. Вода из атмосфере не би требало да буде значајно загађена, међутим због погоршања стања квалитета животне средине све је интензивнија загађеност ваздуха што доводи и до промене у квалитету атмосферских падавина. Састав ове воде је веома променљив и зависи од многих фактора, као што су: близина индустријских објеката, насељеност места, интензитет саобраћаја, количина падавина и друго. У атмосферским талозима налазе се минералне и органске материје, пре свега једињења сумпора, угљеника, неки тешки метали и друге штетне примесе. Загађујуће супстанце се из ваздуха таложе под утицајем силе Земљине теже или се испирају атмосферским падавинама. Посебно су значајне киселе кише, које настају растварањем оксида сумпора и азота у кишним капима. Отпадна вода која настаје спирањем са путева и саобраћајница нарочито је загађена. Познати су подаци за густину таложења канцерогеног бензо(а)пирена, који се налази у издувним гасовима аутомобила, зависно од удаљености од извора (Van Loon & Duffy, 2005):

- у пречнику од 1 km од извора густина таложења је мања од 18 kg/km<sup>2</sup>,
- на растојању до 10 km густина таложења је 0,01–5 kg/km<sup>2</sup>,
- на растојању до 30 km густина таложења до око 0,003 kg/km<sup>2</sup>.

#### **9.4.5. Остали извори отпадних вода**

Постоје и разни други извори отпадних вода, међу којима су: депоније комуналног чврстог и осталих врста отпада, транспортни пловни објекти, експлоатација песка и шљунка из речног корита и друго. Депоније чврстог отпада представљају значајни фактор загађивања воде, јер се често урбани, индустријски, а понекад и пољопривредни отпад одлаже на обалама река или директно излучује у речно корито. Штетне материје депонија падавинама се спирају у водотокове или продиру у дубину, загађујући подземне воде (Далмација, 2001; 2003).

Површинске воде се загађују приликом транспорта људи и робе пловним путевима, затим при утовару и истовару пловних објеката, њиховом чишћењу, одржавању, услед хаварија.

Отпадне воде пловних објеката се могу поделити на: фекалне, воду која потиче из бродске кухиње, купатила и перионица, а нарочито су значајне хаварије танкера после којих се, поготову у морској средини, могу наћи огромне количине нафте и њених деривата.

Експлоатација песка и шљунка из речних корита има значајне негативне последице по живи свет водене средине и екосистем уопште. Такође, доводи до промене водених токова, мењајући дубину и ширину воденог корита због чега водена средина може да постане неподесна за живот и исхрану акватичног света.

### Питања за проверу знања:

1. Дефинисати појам отпадна вода.
2. Шта су концентрисани, а шта расути загађивачи?
3. Како се може одредити количина настале отпадне воде?
4. Објаснити разлог због којег је потребно познавати индикаторе стања отпадне воде и навести их.
5. Навести класификацију отпадних вода према садржају загађујућих материја и дејству на водопријемник.
6. Објаснити како настају комуналне отпадне воде и које загађујуће материје садрже?
7. Објаснити како настају индустријске отпадне воде и које су индустрије највећи загађивачи природних вода.
8. Објаснити загађујуће материје које доспевају у природне воде из отпадних вода прехрамбене и кожарске индустрије и индустрије пестицида и ђубрива.
9. Објаснити загађујуће материје које доспевају у природне воде из отпадних вода органске и неорганске хемијске индустрије.
10. Објаснити загађујуће материје које доспевају у природне воде из отпадних вода нафтне индустрије и индустрије целулозе и папира.
11. Објаснити загађујуће материје које доспевају у природне воде из отпадних вода индустрије челика.
12. Објаснити порекло и квалитет пољопривредних отпадних вода.
13. Дефинисати и објаснити квалитет атмосферских отпадних вода.
14. Навести које су отпадне воде из других извора и који је њихов квалитет.

**Литература:**

1. Van Loon, W.G., & Duffy, J.S. (2005). *Environmental Chemistry, A Global Perspective*. Oxford: Oxford University Press.
2. Веселиновић, Д., Гржетић, И., Ђармати, Ш., и Марковић, Д. (1995). *Стања и процеси у животној средини*. Београд: Факултет за физичку хемију Универзитета у Београду.
3. Гаћеша, С., и Клашња, М. (1994). *Технологија воде и отпадних вода*. Београд: Југословенско удружење пивара.
4. Далмација, Б. (2000). *Контрола квалитета вода у оквиру управљања квалитетом*. Нови Сад: Институт за хемију, Природно-математички факултет Универзитета у Новом Саду.
5. Далмација, Б. (2010). *Основи управљања отпадним водама*. Нови Сад: Природно-математички факултет, Департман за хемију, биохемију и заштиту животне средине и Удружење за унапређење и заштиту животне средине.
6. Далмација, Б., и Иванчев-Тумбас, И. (2003). *Управљање квалитетом вода са аспекта оквирне директиве Европске уније о водама*. Нови Сад: Департман за хемију, Природно-математички факултет Универзитета у Новом Саду.
7. Далмација, Б., Бечелић-Томин, М., и Малетић, С. (2016). *Мониторинг отпадних вода и њиховог утицаја на животну средину*. Нови Сад: Департман за хемију, биохемију и заштиту животне средине, Природно-математички факултет Универзитета у Новом Саду.
8. Далмација, Б. (2001). Проблеми квалитета вода у Републици Србији. У: *Зборник IV Југословенски симпозијум Хемија и заштита животне средине – Зрењанин*, (стр. 11-13). Београд: Српско хемијско друштво.
9. Јованчићевић, Б. (2006). *Дуготрајне органске загађујуће супстанце*. Београд: Хемијски факултет у Универзитета Београду.
10. Јокановић, М. (2001). *Токсикологија*, Београд: Савремена администрација Београд.
11. Кристофоровић-Илић, М., Радовановић, М., Вајагић, Л., Крњетин, С., Обркнежев, Р., Јефтић, З., и Фолић, Р. (1998). *Комунална хигијена*. Нови Сад: Прометеј.
12. Љубисављевић, Д., Ђукић, А., и Бабић, Б. (2004). *Пречишћавање отпадних вода*. Београд: Грађевински факултет Универзитета у Београду.
13. Маринковић, Д. (2013). *Нови квантитативни критеријуми процене степена загађења животне средине водама са органохлорним инсектицидима*. Докторска дисертација. Ниш: Факултет заштите на раду у Нишу, Универзитета у Нишу.
14. Перишић, М. (1997). *Еутрофикација и третман воде за пиће*. Београд: Геоинститут Београд.
15. Почуча, Н. (2008). *Екохидрологија (Загађење и заштита вода)*. Београд: Грађевинска књига.
16. Tchobanoglous, G. Burton, F., & Stensel. D. (2003). *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse*. New York: McGraw-Hill Science, Engineering and Mathematics.
17. Clesceri, L., Greenberg, A., & Eaton, A. (1998). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. Washington: American Public Health Association.

18. Withgott, J., & Brennan, S. (2006). *Environment*. San Francisco: Pearson Education.

**Правна регулатива:**

19. Закон о водама, *Службени гласник РС*, бр. 30/2010, 93/2012, 101/2016 и 95/2018 (др. закон).
20. Правилник о начину и условима за мерење количине и испитивање квалитета отпадних вода и садржини извештаја о извршеним мерењима, *Службени гласник РС*, бр. 33/2016.
21. Правилник о опасним материјама у водама, *Службени гласник СРС*, бр. 31/1982.
22. Уредба о граничним вредностима емисије загађујућих материја у воде и роковима за њихово достизање, *Службени гласник РС*, бр. 67/2011, 48/2012 и 1/2016.





## 10. ЗАШТИТА И ПРЕЧИШЋАВАЊЕ ВОДА

### Циљеви поглавља:

- Упознавање са потребама за заштитом вода
- Упознавање са класификацијама метода за пречишћавање вода
- Стицање знања о основним принципима метода за пречишћавање вода

### Резиме:

Сам процес загађивања вода се тешко може спречити, па је заштита воде усмерена на смањење негативног утицаја отпадних вода, односно, у најбољем случају, потпуног отклањања њиховог утицаја. Вода се пречишћава поступцима, који се базирају на физичким, физичкохемијским, хемијским и биолошким методама. Који ће се од поступака у конкретном случају применити зависи у првом реду од састава воде, количине воде коју је потребно обрадити, као и од технолошко-економских показатеља примене одређених поступака обраде воде. Пречишћавањем треба уклонити загађујуће материје из отпадне воде до те мере да одређена отпадна вода може да се испушта у реципијент без штетних последица или да се може поново употребити. Поступак пречишћавања отпадних вода најчешће подразумева у две фазе: претходну обраду, где се изводи примарно, секундарно и терцијално пречишћавање, и обраду и одлагање муљева који настају током пречишћавања отпадних вода. Отпадне воде насеља је неопходно пречистити пре него се испусте у реке. Процеси пречишћавања отпадних вода насеља умногоме су слични природним процесима самопречишћавања вода, којима се природно уклањају отпадне супстанце и смањује биолошка потрошња кисеоника. За разлику од пречишћавања отпадних вода насеља, с обзиром на велику разноврсност индустријских отпадних вода, немогуће је применити једну универзалну методу пречишћавања, па се стога употребљавају различите методе, у зависности од сваког појединачног случаја.

### Summary:

The process of water pollution can hardly be prevented and therefore water protection is directed to the reduction of negative effects of wastewaters or, at best, their complete removal. The methods used include physical, physico-chemical, chemical, and biological processes. Which of them will be used in each specific case primarily depends on the composition of water, the amount of water to be treated, as well as technological and economic determinants leading to the application of specific water treatment processes. Purification is supposed to remove wastewater pollution to the extent which enables the release of the wastewater into the recipient with no harmful effects or which enables its reuse. The process of wastewater purification is most frequently carried out in two phases: pretreatment which involves primary, secondary, and tertiary purification and treatment, and removal of the sludge formed during wastewater treatment. Municipal wastewaters should be treated before they are released into the rivers. Municipal wastewater purification processes are, to a great extent, similar to natural processes of water self-purification that enable removal of waste substances are natural removal of pollutants and reduction of biological oxygen demand. Considering the variety of industrial wastewaters, it is impossible to find a universal purification method, so the purification of industrial wastewater depends on an individual case.

## 10.1. Уопштено о заштити вода

Вода је супстанца без које нема живота на Земљи. Она има широку примену за разичите људске активности, а према намени се може поделити на:

- воду за пиће,
- воду за прање,
- воду за хлађење,
- воду за парне котлове,
- воду за технолошке процесе.

Хемијски састав и/или физичке карактеристике природне воде све чешће представљају проблем за њену непосредну примену. Супстанце које се налазе у води, у зависности од врсте и количине, могу да представљају проблем за примену воде у одређене сврхе (Далмација, Агбаба и Клашња, 2009).

Загађивање вода се врши на различите начине, тако да се тешко може спречити. Највећу опасност представљају супстанце које доспевају у воду због примене „*прљавих*“ индустријских процеса (Веселиновић и др., 1995). Такве супстанце потичу из отпадних вода, отпадних гасова или чврстих отпадака индустријске производње (Правилник о начину и условима за мерење количине и испитивање квалитета отпадних вода и садржини извештаја о извршеним мерењима, 2016). Један од приоритета заштите вода је смањење, односно, у најбољем случају потпуно отклањање негативног утицаја отпадних вода на природне воде. Ово се, највећим делом, може остварити на два начина:

- да се у природне воде не испуштају отпадне воде и
- да се врши адекватно пречишћавање отпадних вода.

Заштита воде од загађивања има за циљ да се елиминише или бар смањи присуство загађујућих супстанци у води, чиме се постиже заштита здравља људи биљног и животињског света (Далмација, Бечелић-Томин и Малетић, 2016). Вода без присуства загађујућих материја је здравствено безбедна вода. Из тих разлога, потребно је развити и применити одговарајуће поступке обраде отпадних вода и других потенцијалних узрочника загађивања природних вода. Заштита вода није изолован процес, већ се мора посматрати заједно са заштитом ваздуха и земљишта, односно са процесом уклањања загађујућих материја из њих. Тиме се спречава загађење вода које су у контакту са атмосфером и земљиштем (Гаћеша и Клашња, 1994).

У Републици Србији Закон о водама (Службени гласник РС, бр. 95/2018) регулише поступке за заштиту вода који су усмерени ка:

- праћењу стања и испитивање квалитета воде,
- припреми и израда планова управљања водама,
- предузимању мера заштите вода и мера у случају хаваријских загађења воде,
- праћењу остваривања плана заштите вода, пречишћавање отпадних вода, заштита вода и акватичне флоре и фауне и акватичних екосистема у складу са прописима и стандардима Европске уније,
- сарадњи са одговарајућим Републичким органима и институцијама по потреби по питању заштите вода,
- изради катастра загађивача вода и праћење коришћења вода од стране индустрије,

- припреми података и подлога за наплату накнаде из области снабдевања индустрије водом,
- изради планова и програма водопривредних радова и организовање студијско-истраживачког рада у домену заштите вода,
- учешћу у изради и припреми свих планова, програма, пројеката и извештаја у области заштите вода, и друго.

## 10.2. Пречишћавање вода

Данас је све мања количина некоришћене воде, а потреба за водом све већа. Самим тим, намеће се потреба поновног коришћења већ употребљене воде, чиме се повезује квалитет свеже воде са квалитетом отпадне воде. Ради заштите изворишта свеже воде потребно је да се отпадне воде пре испуштања у реципијент подвргну третману пречишћавања у постројењима за прераду отпадних вода. Тиме се штетне супстанце из отпадних вода могу ефикасно третирати процесима самопречишћавања вода река и других водотокова. Сам третман пречишћавања воде подразумева њену обраду ради добијања воде потребног квалитета и врши се како би се (Љубисављевић, Ђукић и Бабић, 2004; Кристофоровић-Илић и др., 1998):

- добила вода одговарајућег квалитета за пиће или домаћу употребу,
- добила вода за различите индустријске намене,
- пречистила отпадна вода, која се може испустити у водоток или поново користити за неке намене.

Уколико вода по свом саставу и особинама не одговара предвиђеној намени мора се подвргнути различитим третманима којима се из воде уклањају непожељне материје (Уредба о граничним вредностима емисије загађујућих материја у воде и роковима за њихово достизање, 2016; Правилник о опасним материјама у водама, 1982). При избору третмана неопходно је детаљно проучити технологије пречишћавања воде.

Пречишћавање воде се изводи у две фазе:

- прва фаза обухвата: претходну обраду, примарни, секундарни, терцијарни третман,
- друга фаза се односи на обраду и одлагање муљева који настају током пречишћавања воде.

У зависности од квалитета воде коју треба обрадити одређује се адекватан третман њеног пречишћавања. Према природи поступка који се примењује разликују се методе пречишћавања и то:

- физичке,
- физичкохемијске,
- хемијске,
- биолошке и
- комбиноване.

Примена поједине методе пречишћавања воде првенствено зависи од количине и квалитета воде коју је потребно обрадити, као и од технолошко-економских показатеља примене одређених поступака обраде воде. Циљ сваког процеса пречишћавања воде је уклањање штетних и токсичних састојака, што се постиже

применом једног или више поступака. Поступци се не искључују, већ се међусобно допуњују чинећи комплексан систем за пречишћавање воде (Далмација, 2010).

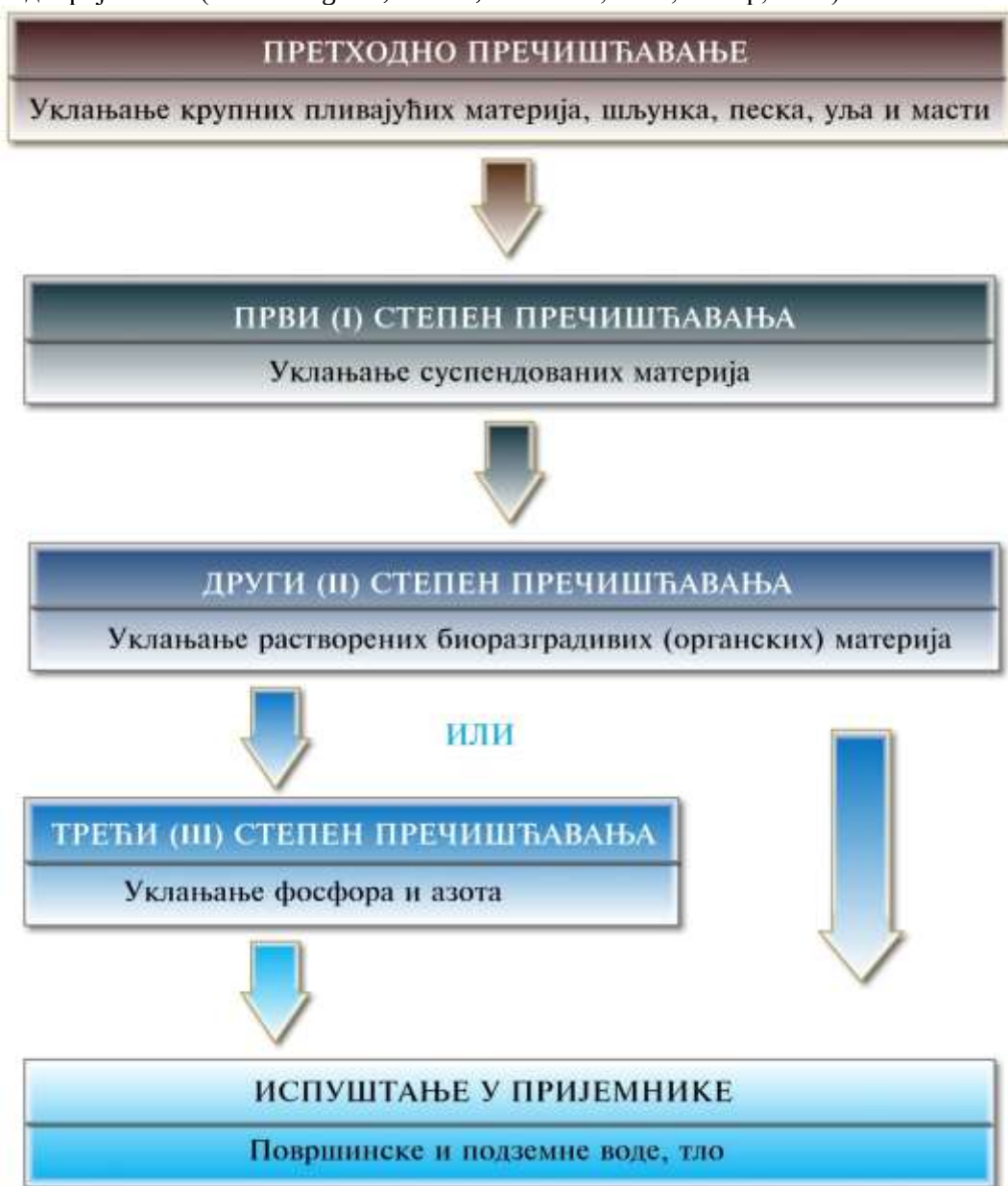
*Претходном обрадом или прелиминарним третманом воде* уклања се грубо суспендовани и пливајући материјал, као што су инертни материјали (песак, шљунак), пливајућа уља, масти и друго, односно уклањају се оне материје које могу оштетити и запустити уређаје при даљем третману воде (слика 10.1). Такође, ова фаза се користи за уједначавање протока, а код отпадних вода и за уједначавање концентрације, па представља полазну основу за даљу обраду воде. За претходну обраду, тј. прелиминарни третман воде углавном се примењују физички поступци, односно физичке методе пречишћавања воде. Многе природне површинске воде није могуће директно користити за пиће, па је код припреме ових вода за водоснабдевање неопходно применити претходни третман. За обраду воде може се применити више поступака или само поједини сегменти одређених поступака, што зависи од квалитета сирове воде. Уколико се ради о сировој отпадној води, у којој се често могу наћи груби, чврсти предмети и остали предмети производње, неопходно је извршити претходно пречишћавање ради побољшања рада и заштите уређаја система. Овај поступак се примењује као прва фаза на постројењу за пречишћавање отпадних вода или пре испуштања индустријских отпадних вода у градску канализацију (Tchobanoglous, Burton, & Stensel, 2003; Кемер, 2005).

*Примарна обрада или примарни третман воде* обухвата обраду воде физичко-хемијским и хемијским поступцима, применом метода флотације, филтрације, оксидације, неутрализације и друго. Ове методе се примењују да би се извршила корекција рН вредности воде, уклониле неорганске токсичне супстанце, суспендоване честице. У неким земљама где је индустрија развијена, а технолошки процеси такви да су отпадне воде релативно задовољавајућег квалитета, примарним третманом настају воде које се могу користити за наводњавање усева који нису за људску исхрану. Отпадне воде након третирања поступцима примарне обраде имају око 30% мању вредност ВРК<sub>5</sub>, а укупне суспендоване материје су за око 60% мање од вредности код улазних отпадних вода (Tchobanoglous, Burton, & Stensel, 2003; Кемер, 2005).

*Секундарна обрада или секундарни третман воде* примењује се ради уклањања колоидних и дела растворених органских материја. У овој фази третмана воде примењују се биолошки, хемијски, физичко-хемијски поступци, односно њихова комбинација. Секундарним третманом воде отклањају се биолошка загађења воде применом биолошких поступака, односно аеробних и анаеробних метода. Овим третманом отпадних вода смањује се ВРК<sub>5</sub> вредност за 70-90% и око 75% НРК у односу на вредности код улазне отпадне воде (Tchobanoglous, Burton, & Stensel, 2003; Кемер, 2005).

*Терцијарна обрада или терцијарни третман* примењује се за уклањање заосталог загађења, као што су биогени елементи, бионеразградиве органске материје, патогена микрофлора и друго. Уколико је намера да се употребљена вода после пречишћавања поново користи (рециклира), онда се овим третманом из појединих отпадних вода може уклонити преко 90% непожељних материја. Третман воде се примењује у случајевима када је потребан висок степен пречишћавања, односно када је из воде потребно уклонити микроорганизме, пестициде, детергенте, радиоактивне материје и слично. Код комуналних отпадних вода примењује се за уклањање биогених

елемената (азота и фосфора за око 75%), чиме се спречава еутрофикација водопријемника (Tchobanoglous, Burton, & Stensel, 2003; Кемер, 2005).



Слика 10.1. Приказ третмана пречишћавања воде (модификовано према Љубисављевић, Ђукић и Бабић, 2004)

### 10.2.1. Третман воде за пиће

Сирова вода која се водозахватом узима за водоснабдевање ретко се у природи налази као здравствено безбедна вода. У току процеса кружења воде, у воду се из земљишта или атмосфере уносе различита растворна једињења, минерали, микроорганизми, радиоактивне супстанце, која могу бити штетне за људски организам. Такође,

отпадне воде и друге загађујуће супстанце антропогеног порекла могу да наруше квалитет воде које човек користи за пиће. Према Директиви ЕУ 98/83/ЕС вода за пиће не сме да садржи штетне састојке и мора бити хигијенски исправна (Далмација и Иванчев-Тумбас, 2003). Самим тим, из сирове воде је потребно уклонити суспендоване честице, материје у колоидном стању, штетне органске и неорганске супстанце и микроорганизме, односно све непожељне састојке. Зато се и примењују различити поступци обраде сирове воде, која ће се користити у домаћинствима као вода за пиће или друге потребе. Методе које се примењују зависе од квалитета сирове воде. За водоснабдевање се углавном користи подземна и површинска вода. Резултати анализе квалитета сирове воде указују да ли и у којој мери треба извршити припрему воде за снабдевање домаћинства (кондиционирање воде). Квалитет подземне воде је знатно бољи у односу на површинску воду, пошто се она налази најчешће у дубоким, добро заштићеним, водоносним слојевима (Далмација, 2001). Из тих разлога је њен третман једноставнији и јефтинији. Ова вода се углавном минимално обрађује, али је процес дезинфекције најчешће обавезан. Површинске воде су промењивог састава и температуре, тако да је потребно извршити њихово пречишћавање (кондиционирање), што подразумева коришћење различитих поступака којима се уклања мањи или већи број супстанци из сирове воде, или се вештачки поправља одређена карактеристика воде. Технолошки поступци могу бити једноставни, као што је дезинфекција воде, али и знатно сложенији. Пракса показује да се, најчешће, користе поступци филтрирања, талочења, дезинфекције, коагулације, флотације (Кемер, 2005).

### ***10.2.2. Пречишћавање отпадних вода***

Пречишћавање отпадне воде врши се ради уклањања загађења до те мере, да се отпадна вода може испустити у реципијент без штетних последица или да се може поново користити (Јокановић, 2001). Избор метода пречишћавања зависи, у сваком конкретном случају, од низа чинилаца: количине отпадне воде, врсте и количине загађујућих материје у њој, захтеваног степена пречишћености, економичности појединих поступака пречишћавања и слично. Основни проблем управљања отпадним водама представља проналажење одговарајућег третмана за њихово пречишћавање. Ово подразумева изградњу постројења за третман отпадних вода, али и канализационе инфраструктуре у градовима и индустријским постројењима. Канализација се не сме градити без постројења за пречишћавање отпадних вода. Изградња система за пречишћавање отпадних вода је приоритет и то, пре свега, на ризичним реципијентима, а онда и на оним који то нису. Овај проблем је годинама био занемариван тако да загађење водотокова, подземних вода и земљишта данас има изузетно неповољне размере<sup>13</sup> (Вељковић и Лекић, 2019).

<sup>13</sup> Према подацима Агенције за заштиту животне средине Републике Србије, у Републици Србији само 5–10% отпадних вода пролази третман пречишћавања. Више од 50% индустријских постројења не пречишћава отпадне воде, јер нема системе за пречишћавање. Такође, велики проценат насељених места нема одговарајуће системе за одвођење и пречишћавање отпадних вода. У Србији само 20% општина има постројења за пречишћавање комуналних отпадних вода.

## • Пречишћавање отпадних вода из насељених места

Насеља се снабдевају најквалитетнијом водом за пиће и друге свакодневне активности становништва. У насељима се велике количине најквалитетније воде троше, али се и стварају велике количине отпадне воде. Насталу отпадну воду насеља потребно је на адекватан начин пречистити, јер се испушта директно у водотокове. Квалитет отпадне воде која се упушта у реципијент одређује се на основу степена оптерећења коју водена средина може прихватити, а да се не прекрши стандард квалитета воде. Отпадне воде насеља чине: употребљене воде из домаћинства, установа, болница, школа, угоститељских објеката за које је карактеристичан релативно уједначен састав у једном региону у дужем временском периоду. Главни састојци канализационе воде насеља су: органске супстанце биолошког порекла, разноврсне друге органске супстанце (детерџенти, масти и уља, дезинфекциона средства и друго), азот, фосфор, сулфиди, микроорганизми. У води долази до процеса разградње органских материја, чиме се смањује концентрација раствореног кисеоника и смањује квалитет воде. У канализационој мрежи, где су анаеробни услови, настају сулфиди, што код дужих канализационих мрежа може довести до корозије цеви и појаве непријатног мириса (Почуча, 2008).

Потрошња воде по глави становника је различита, и сматра се да минимална количина воде потребне за кување и пиће износи око 5 литара дневно по особи. У неразвијеним областима, где се снабдевање водом врши само с једног места (врело или извор), потрошња је на неопходном минимуму. У градовима, где је водоснабдевање централизовано и где се вода доводи у домаћинства и у друге објекте, потрошња је много већа (у већим градовима 200-300 литара дневно по особи), са тенденцијом даљег пораста. Иако су отпадне воде насеља релативно константног састава, уочава се количинска варијација на дневном, недељном и сезонском нивоу (Љубисављевић, Ђукић и Бабић, 2004).

Истовремено, са порастом потрошње воде појављује се све већи проблем њеног адекватног одвођења из насељених места<sup>14</sup>. Данас већа насеља имају развијен канализациони систем или неки други адекватан начин одвођења отпадних вода (на пример савремене септичке јаме). Међутим, чест је случај да се отпадна вода из канализације директно испушта у реку или други водопријемник без икаквог пречишћавања, због чега долази до изумирања живог света у рекама поред великих градова. Код мањих насеља (са мање од 5000 становника) може се вршити пречишћавање отпадне воде такозваним природним системом пречишћавања, најчешће земљиштем. Процеси пречишћавања отпадних вода насеља представљају, у ствари, копију природног начина уклањања отпадних супстанци и смањења биолошке потрошње кисеоника. Пречишћавање се обавља, углавном, примарним и секундарним третманом отпадне воде.

- Примарно пречишћавање се изводи заједно са претходном обрадом воде. Заснива се на физичким и физичко-хемијским поступцима и обухвата методе цеђења, уситњавања, коагулације, флокулације и седиментације којима се

<sup>14</sup> Некада су отпадне воде одвођене преко уличних канала за одвод кишнице. С порастом броја становника то је постало немогуће, јер се за време сувог времена из улица ширио непријатан мирис, а епидемије разних заразних болести постајале су све чешће и смртоносније. Због тога се постепено почело прелазити на одвођење воде путем подземних цеви и канала (канализација), што је знатно допринело подизању хигијене становања.

уклањају суспендоване материје. Тиме се знатно смањује биолошка потрошња кисеоника.

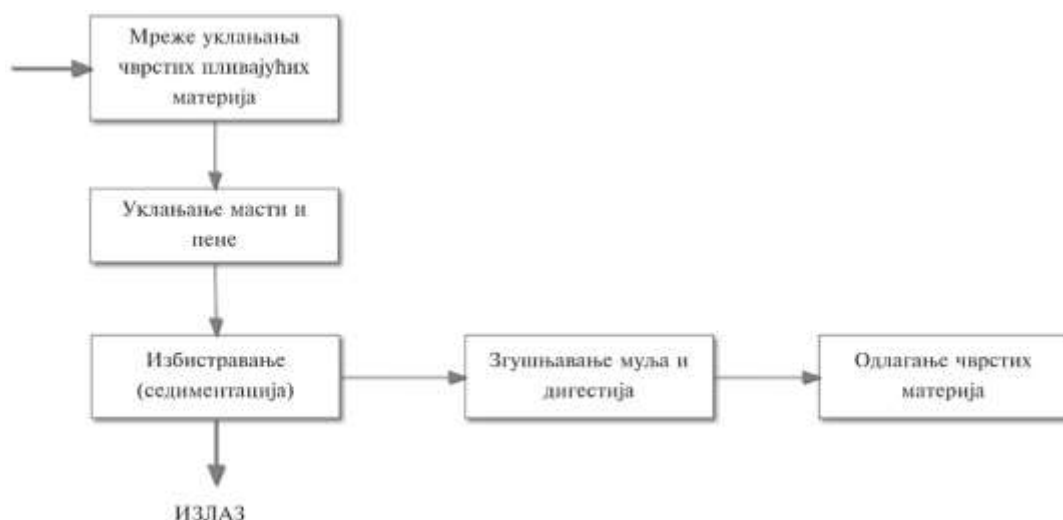
- Секундарни третман отпадне воде обухвата биолошке процесе којим се уклањају растворене и суспендоване органске материје. Уклањање насталог чврстог материјала врши се методом филтрације или седиментације, оксидације кисеоником из ваздуха, односно разградњом помоћу микроорганизама.
- Терцијарни третман отпадне воде може се применити уколико је потребно да се вода дезинфикује пре испуштања у водене токове (Љубисављевић, Ђукић и Бабић, 2004).

У већини случајева, примарним и секундарним третманом отпадне воде насеља добија се вода таквог квалитета да се може безбедно упуштати у реципијент. Пречишћена вода се може користити за наводњавање зелених површина и паркова, а уколико је високог квалитета и у пољопривредне сврхе. Због присутне индустријске делатности у градској средини често се са отпадним водама насеља мешају индустријске отпадне воде чиме се знатно погоршава квалитет градске отпадне воде. У том случају, а у зависности од квалитета отпадних вода, њихово одвођење и пречишћавање може бити појединачно или комбиновано. Уколико индустријске отпадне воде, нису загађене више од отпадних вода насеља, економски је исплативо да се заједно уводе у градску канализацију. Најчешћи је случај да отпадна вода из индустријских погона прође предтретман пречишћавања, а затим се одводи и пречишћава заједно са отпадном водом насеља. При томе, индустријска отпадна вода не сме да садржи материје које ометају процес пречишћавања, нити оне које могу да изазову загушење и оштећење канализације. У комуналним отпадним водама се може наћи и низ токсичних супстанци, па је важно одредити до ког нивоа је потребно пречистити индустријске отпадне воде, пре упуштања у канализацију. Процеси пречишћавања тада захтевају примену и додатних метода, као што су физичко-хемијске и хемијске, у оквиру секундарне и терцијарне фазе пречишћавања.

### • Пречишћавање индустријских отпадних вода

Како су отпадне воде из индустријских постројења највећи загађивачи водених средина, неопходно је применити најефикасније доступне технике пречишћавања ових вода. Који ће поступак пречишћавања бити примењен зависи од специфичних технолошких процеса индустријске производње. Како се у индустријским отпадним водама налазе разноврсне загађујуће материје, потребно је применити комплекснији третман пречишћавања у односу на комуналне отпадне воде, па се ове воде подвргавају претходној, примарној и секундарној обради, а, уколико је потребно, и терцијарној (Јованчићевић, 2006). Избор методе пречишћавања је специфичан за сваки технолошки процес и не постоји универзални процес пречишћавања. *Дакле, не може се говорити о једној универзалној методи пречишћавања индустријских отпадних вода.* Данас се заступа савремени начин примене воде у индустрији, што подразумева коришћење воде у потпуно затвореном циклусу, односно отпадна вода се пречишћава до те мере да се може поново користити за одређене потребе.

*Претходна обрада воде* подразумева скуп третмана отпадне воде који имају за циљ да се уједначи проток и састав воде, изврши груба филтрација и уклоне масти и уља. Шематски процес претходне обраде воде приказан је на слици 10.2.



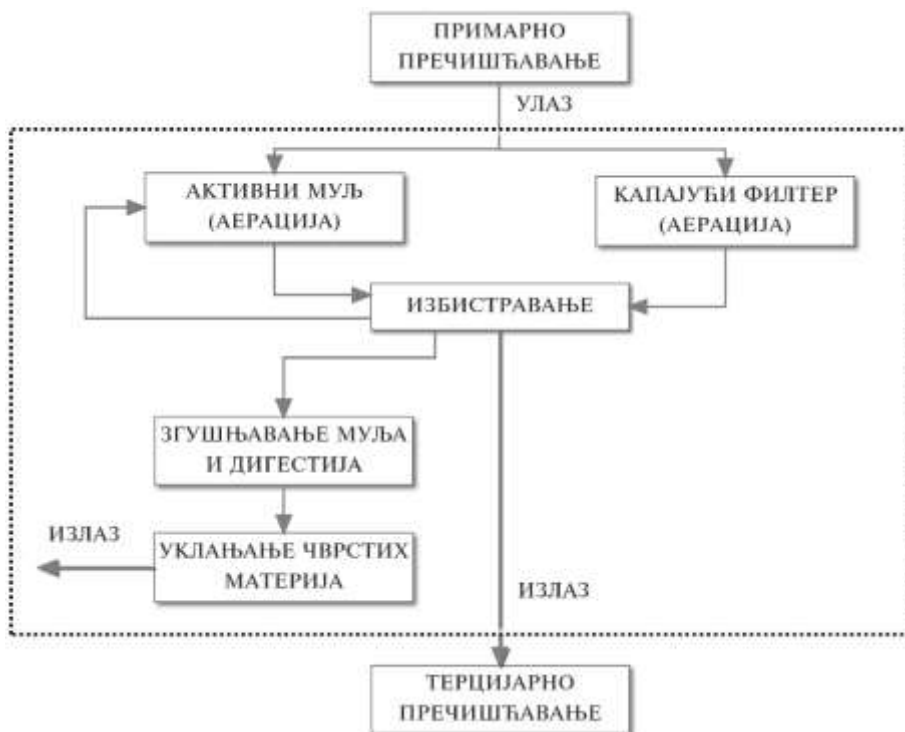
Слика 10.2. Шема примарног пречишћавања отпадне воде (модификовано према Љубисављевић, Ђукић и Бабић, 2004)

*Примарна обрада воде.* Након претходне обраде отпадне воде, где су уклоњене грубо суспендоване честице, масти и уља, врши се примарна обрада отпадне воде. Понекад се претходна обрада воде не изводи као посебан третман већ је почетна фаза примарне обраде воде. Циљ примарне обраде отпадне воде је да се уклоне суспендоване честице мањих димензија и неорганске токсичне супстанце. Таложиви и пливајући материјал се уклања са великом ефикасношћу (и до 90-100%). Најједноставнији начин уклањања чврстих пливајућих или суспендованих честица је пропуштање отпадне воде преко металних мрежица различитих пречника пора. Мрежице могу бити фиксирани или покретне, а сабирање накупљених отпадака ручно или аутоматско. Уколико је потребно могу се користити и млинови који мељу веће чврсте честице у ситније, које се затим таложе у базен за седиментацију. Након елиминације већих честица, вода улази у базене за избистравање, у којима се полако врши седиментација суспендованих ситнијих честица. Међутим, нека загађења воде присутна у колоидном облику се не могу седиментирати ни након дугог времена. Тада се примењују физички, хемијски и физичко-хемијски поступци неутрализације, оксидације, флотације, таложења, поступци корекције рН вредности воде и друго. Процес седиментације се може убрзати додатком одговарајућих хемикалија, односно методом коагулације колоида, до оне величине честица кад почиње њихово таложење. Предности пречишћавања хемијским таложењем су: процес је брз, добро се уклања фосфор из отпадне воде, могуће је пречистити велику количину отпадне воде, не зависи од токсичности присутних супстанци. Недостаци се огледају највише у повећаној потрошњи енергије и хемикалија, као и већем броју потребне пратеће инструментације. Пре но што се испусти из седиментационих базена, вода се хлорише. Процесима примарног пречишћавања може се уклонити 30–40 % укупне биохемијске потрошње кисеоника (ВРК) и око 60 % суспендованих материја.

*Секундарна обрада воде.* Ова фаза обраде воде има за циљ уклањање растворених органских материја у колоидном облику и неталоживих чврстих материја. Знатан део органских материја налази се у колоидном облику, па се примарним пречишћавањем не могу уклонити. Зато се врши секундарно пречишћавање, које у суштини опонаша

природни биохемијски процес у водама, који се одвија под утицајем микроорганизама из воде. У овој фази врше се аеробни и анаеробни поступци пречишћавања биоразградивих органских материја. Основу процеса представља природна способност воде за самопречишћавање, с тим што је пречишћавање контролисано, временски скраћено, уз стално одржавање аеробних услова помоћу континуираног довођења кисеоника. У присуству кисеоника бактерије оксидују органску супстанцу до угљен-диоксида и воде. Према томе, предуслов за пречишћавање отпадне воде је довољан број микроорганизама који се хране органском материјом из отпадне воде и довољна количина кисеоника. Секундарно пречишћавање отпадних вода, односно биолошки процес пречишћавања се може вршити на два начина, слика 10.3:

- да се отпадна вода, након примарног пречишћавања, уведе у базене у којима се налази биолошки активан муљ или
- да се пречишћавање изврши путем капајућих филтера.



**Слика 10.3.** Шема секундарног пречишћавања отпадне воде (модификовано према Гаћеша и Клашња, 1994)

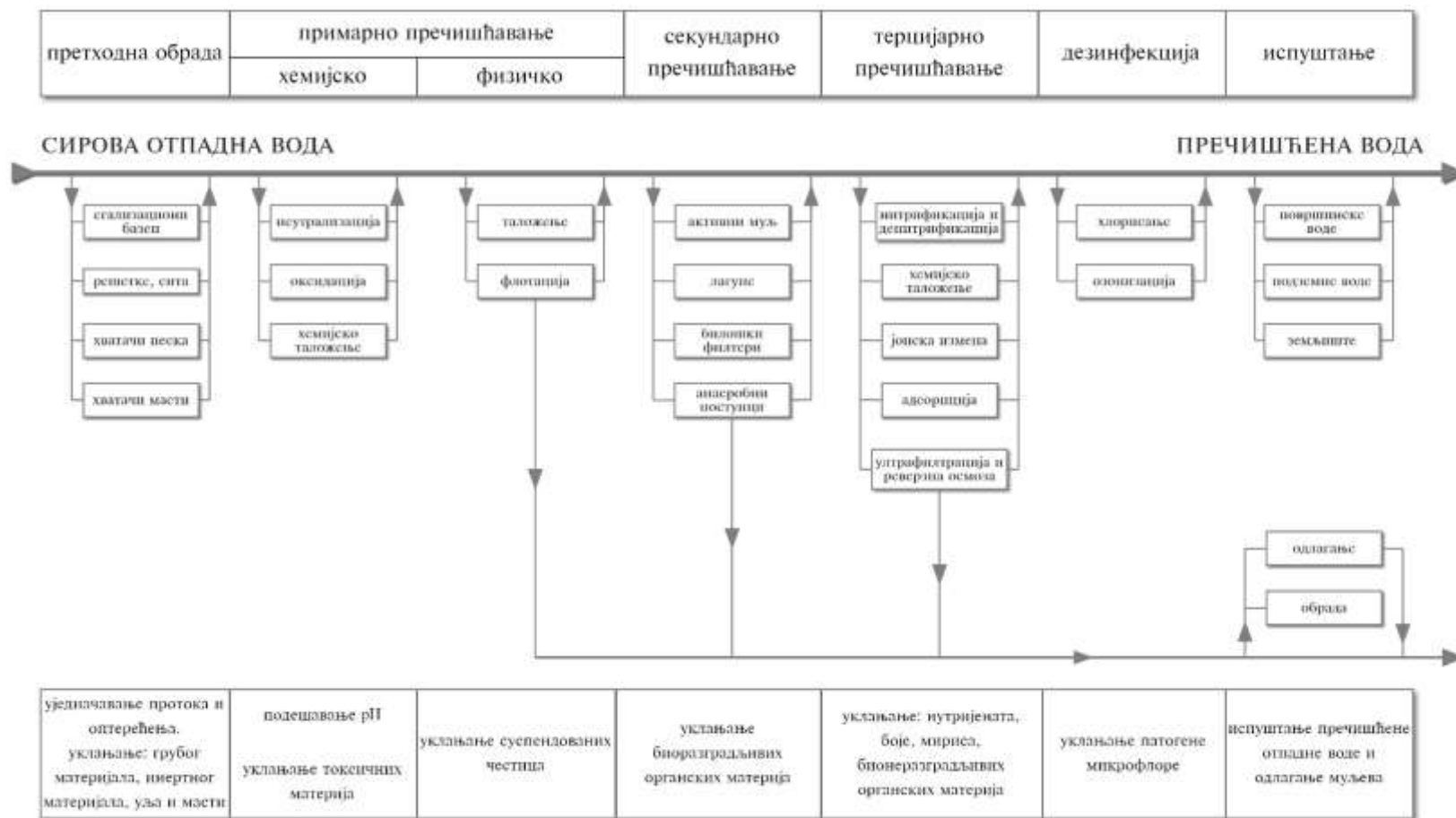
Први начин захтева базене са биолошки активним муљем у који се упушта отпадна вода. Вода добија бистар изглед, а након третмана је таквог квалитета да се може испустити директно у водопријемник. Код другог начина биолошког пречишћавања отпадна вода не протиче кроз суспензију активног муља, већ се прелива преко одговарајуће површине на којој се налазе микроорганизми у облику танког филма и слузи. Бактерије трансформишу органске материје у много стабилније облике. Присутна органска материја се аеробним или анаеробним бактеријама преводи у релативно стабилне форме. При томе настаје метан, који се може користити као извор енергије у постројењима за пречишћавање. Након концентрисања и дигестије, муљ се одлаже затрпавањем у земљу или претварањем у пољопривредно ђубриво. Недостатак

је температурна зависност, јер се на нижим температурама овај процес врло споро одвија. Највећи проблем примарног и секундарног пречишћавања отпадних вода је велика количина седиментираног талога. Талог је у полутечном стању, са само 0,1–5% чврсте материје, па се мора концентрисати и ослободити вишка воде.

*Терцијарна обрада воде.* Уколико је циљ пречишћавања добијање воде која се може поново користити, врши се и терцијарно пречишћавање са циљем да се максимално смањи вредност ВРК, НРК, органског угљеника (ТОС), минералних материја, тешких метала, једињења азота и фосфора, патогених клица и низа осталих материја које као полутанти могу доспети у воду. Ова фаза обухвата пречишћавање воде методама денитрификације, јонске измене, адсорпције, ултрафилтрације и методом реверзне осмозе. Поменути методама уклањају се јони, непријатан мирис и боја воде и бионеразградиве органске материје.

*Финална (додатна) обрада воде.* У току овог поступка обраде воде врши се дезинфекција воде, чиме се смањује и спречава развој патогене микрофлоре.

Наведене фазе обраде отпадних вода и методе извођења приказане су на слици 10.4.



Слика 10.4. Фазе пречишћавања отпадних вода (модификовано према Tchobanoglous, Burton, &amp; Stensel, 2003)

### 10.3. Обрада муљева

Током процеса пречишћавања воде издваја се значајна количина муљева, који су најчешће у облику водених суспензија. Из тих разлога се под процедуром пречишћавања вода подразумева и адекватна обрада насталог муља. Муљ настају као секундарни производ у току извођења процеса пречишћавања воде, као што су уклањање суспендованих честица из воде процесом таложења или процесом флотације, затим при уклањању суспендованих и колоидно растворених материја коагулацијом и флокулацијом, при процесима хемијског и биолошког пречишћавања и друго.

Количина насталог муља зависи од карактеристика воде и метода пречишћавања. Код неких отпадних вода муљеви су углавном органског састава и подложни су процесима труљења, па се пре коначног одлагања морају стабилизovati. Најрационалнији начин решавања проблема муљева је њихово директно коришћење. Ако муљ не садржи биолошки штетне (токсичне) супстанце, може се користити за ђубрење и истовремено ремедијацију површина, депонија шљаке и друго. Да би се муљ користио у пољопривредне сврхе, мора да испуњава одређене услове, па је такво коришћење често финансијски неповољно. Уколико муљеве није могуће одлагати на земљиште или у воду без негативног утицаја на животну средину, морају се превести у материјал који није штетан за животну средину (Directive 86/278/EEC).

Уопштено, приликом изградње постројења за третман отпадних вода мора се рачунати да се скоро 40% инвестиционих трошкова односи на обраду насталог и издвојеног муља (Карловић, 2010). Како предмет ове књиге нису поступци за обраду муљева, они неће бити детаљније разматрани.

**Питања за проверу знања:**

1. Који је основни циљ заштите вода?
2. Објаснити зашто се врши пречишћавање воде.
3. Објаснити фазе пречишћавања воде.
4. Шта се подразумева под појмом претходна фаза обраде воде?
5. Како се врши обрада воде код примерног процеса пречишћавања?
6. Како се врши обрада воде код секундарног процеса пречишћавања?
7. Како се врши обрада воде код терцијарног процеса пречишћавања?
8. Како се класификују методе за пречишћавања отпадне воде према природи процеса пречишћавања вода?
9. Објаснити процес пречишћавања отпадних вода насеља.
10. Објаснити процес пречишћавања индустријских отпадних вода.
11. Објаснити процес претходног и примарног пречишћавања индустријских отпадних вода.
12. Објаснити процес секундарног пречишћавања индустријских отпадних вода.
13. Објаснити процес терцијарног и финалног пречишћавања индустријских отпадних вода.
14. Навести на који начин се третира муљ настао процесима пречишћавања вода.

## Литература:

1. Вељковић, Н., и Лекић, Д. (2019). *Животна средина у Србији: 2004-2019*. Београд: Агенција за заштиту животне средине Републике Србије.
2. Веселиновић, Д., Гржетић, И., Ђармати, Ш., и Марковић, Д. (1995). *Стања и процеси у животној средини*. Београд: Факултет за физичку хемију Универзитета у Београду.
3. Гаћеша, С., и Клашња, М. (1994). *Технологија воде и отпадних вода*. Београд: Југословенско удружење пивара.
4. Далмација, Б. (2010). *Основи управљања отпадним водама*. Нови Сад: Природно-математички факултет, Департман за хемију, биохемију и заштиту животне средине и Удружење за унапређење и заштиту животне средине.
5. Далмација, Б., и Иванчев-Тумбас, И. (2003). *Управљање квалитетом вода са аспекта оквирне директиве Европске уније о водама*. Нови Сад: Департман за хемију, Природно-математички факултет Универзитета у Новом Саду.
6. Далмација, Б., Агбаба, Ј., и Клашња, М. (2009). *Савремене методе у припреми воде за пиће*. Нови Сад: Природноматематички факултет, Департмант за хемију, биохемију и заштиту животне средине
7. Далмација, Б., Бечелић-Томин, М., и Малетић, С. (2016). *Мониторинг отпадних вода и њиховог утицаја на животну средину*. Нови Сад: Департман за хемију, биохемију и заштиту животне средине, Природно-математички факултет Универзитета у Новом Саду.
8. Далмација, Б. (2001). Проблеми квалитета вода у Републици Србији. У: *Зборник IV Југословенски симпозијум Хемија и заштита животне средине – Зрењанин*, (стр. 11-13). Београд: Српско хемијско друштво.
9. Directive 86/278/EEC of the Council Directive of 12 June 1986 on the protection of the environment, and in particular of the soil, when sewage sludge is used in agriculture. Official Journal of the European Communities, 181/1986, 6-12. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:31986L0278&from=EN>
10. Јованчићевић, Б. (2006). *Дуготрајне органске загађујуће супстанце*. Београд: Хемијски факултет у Универзитета Београду.
11. Јокановић, М. (2001). *Токсикологија*. Београд: Савремена администрација Београд.
12. Карловић, Е. (2010). *Муљеви од пречишћавања комуналних отпадних вода – легислатива, коришћење и третман муљева*. Нови Сад: Департман за хемију, биохемију и заштиту животне средине, Природно-математички факултет Универзитета у Новом Саду.
13. Кемер, Ф. (2005). *Налков приручник за воду*. Београд: Савез инжењера и техничара Србије.
14. Кристофоровић-Илић, М., Радовановић, М., Вајагић, Л., Крњетин, С., Обркнежев, Р., Јефтић, З., и Фолић, Р. (1998). *Комунална хигијена*. Нови Сад: Прометеј.
15. Љубисављевић, Д., Ђукић, А., и Бабић, Б. (2004). *Пречишћавање отпадних вода*. Београд: Грађевински факултет Универзитета у Београду.
16. Почуча, Н. (2008). *Екохидрологија (Загађење и заштита вода)*. Београд: Грађевинска књига.
17. Tchobanoglous, G. Burton, F., & Stensel. D. (2003). *Wastewater Engineering:*

*Treatment and Reuse*. New York: McGraw-Hill Science, Engineering and Mathematics.

**Правна регулатива:**

18. Закон о водама, *Службени гласник РС*, бр. 30/2010, 93/2012, 101/2016 и 95/2018 (др. закон).
19. Правилник о начину и условима за мерење количине и испитивање квалитета отпадних вода и садржини извештаја о извршеним мерењима, *Службени гласник РС*, бр. 33/2016.
20. Правилник о опасним материјама у водама, *Службени гласник СРС*, бр. 31/1982.
21. Уредба о граничним вредностима емисије загађујућих материја у воде и роковима за њихово достизање, *Службени гласник РС*, бр. 67/2011, 48/2012 и 1/2016.





## 11. ФИЗИЧКЕ МЕТОДЕ ПРЕЧИШЋАВАЊА ВОДА

### Циљеви поглавља:

- Стицање основних знања о физичким методама пречишћавања вода
- Стицање основних знања о механичким и термичким методама и методама пречишћавања воде ултраљубичастим зрацима и ултразвуком

### Резиме:

Физичке методе пречишћавања вода заснивају се на физичким карактеристикама саме воде и загађујућих супстанци диспергованих у води, као што су облик и величина, специфична маса, агрегатно стање и друго. Оне се могу поделити на механичке, термичке методе, методе пречишћавања воде ултраљубичастим зрацима и методе пречишћавања воде ултразвуком. Применом поменутих метода врши се бистрење воде, уклањање растворених гасова из воде, дезинфекција воде, као и уклањање суспендованих честица из воде. Механичке методе пречишћавања се базирају на разлици у физичким особинама саме воде и нечистоћа у њој, као што су растворљивост, специфична маса, величина честица, односно на деловању физичких сила. Методе које се најчешће користе за механичко пречишћавање воде су: уситњавање, флотација, таложење, цеђење. Који ће се од процеса механичког пречишћавања применити зависи од порекла и карактеристика воде и од траженог степена чистоће воде након пречишћавања. Термичким методама пречишћавања вода врши се уклањање раствореног кисеоника из воде, топлотна дезинфекција воде, дестилација воде, термичка декарбонизација воде и друго. Методе дезинфекције воде ултраљубичастим зрачењем се базирају на бактерицидном деловању ултраљубичастих зрака, таласних дужина 200 – 295 nm. Метода дезинфекције воде ултразвуком подразумева примену електромагнетних таласа фреквенције преко 20 kHz. Овим таласима могу да се униште бактерије, алге, протозое, ларве инсеката и друго.

### Summary:

Physical methods of water purification are based on the physical properties of water and pollutants dispersed in it, such as shape and size, specific gravity, state of matter, etc. These methods can be classified into mechanical, thermal, methods that include ultraviolet radiation, and those that include ultrasound. Physical methods of water purifications are used to make the waters clear, to remove dissolved gases and suspended particles, for water disinfection, etc. Mechanical methods of purification are based on the physical properties of water and the impurities found in it, as well as on the action of physical forces. The most frequently used methods for mechanical purification are grinding, floatation, precipitation, and filtration. Which method will be applied depends on the origin and characteristics of the water and pollutants, as well as on the required degree of purity of the water after the purification. Thermal methods of water purification are used for dissolved oxygen removal, thermal disinfection, distillation, de-carbonization of water, etc. Methods that include ultraviolet radiation are used for disinfection of water and are based on the bactericidal action of ultraviolet rays ranging between 200 and 295 nm. Methods for water purification using ultrasound waves are based on electromagnetic waves of over 20 kHz frequency which are efficient in destroying bacteria, algae, protozoa, insect larvae, and marine plankton flora and fauna.

Пречишћавање воде физичким методама заснива се на физичким карактеристикама загађујућих супстанци, као што су агрегатно стање, облик и величина, специфична маса, растворљивост и друго.

Физичке методе пречишћавања воде могу бити:

- механичке,
- термичке,
- методе засноване на примени ултраљубичастог зрачења,
- методе засноване на примени ултразвучних таласа.

Применом поменутих метода из воде се уклањају грубе примесе, инертне материје, растворени гасови, масти и уља, врши се дезинфекција воде и друго (Правилник о опасним материјама у водама, 1982; Уредба о граничним вредностима емисије загађујућих материја у воде и роковима за њихово достизање, 2016).

## 11.1. Механичке методе пречишћавања воде

Механичким методама пречишћавања се из воде издвајају нерастворне неорганске и органске примесе. Примењују се првенствено код поступка претходне обраде и примарног пречишћавања отпадних вода и вода за пиће (Далмација, 2009), али и у појединим фазама процеса секундарног и терцијарног пречишћавања, где је потребно одстанити груби материјал. Која ће се механичка метода користити зависи од порекла и карактеристика воде, као и од потребног квалитета пречишћене воде (Ђуковић и др., 2000).

Методе које се најчешће користе за механичко пречишћавање воде су:

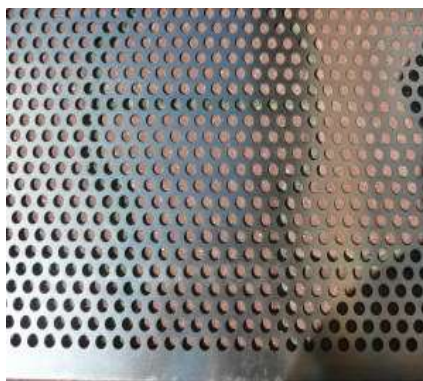
- груба филтрација - цеђење,
- уситњавање,
- таложње,
- флотација.

Наведене методе примењују се за уклањање грубог суспендованог материјала (лишће, конзерве, пластика, храна и друго), бионеразградивог (инертног) материјала, масти и уља, суспендованих честица различитих величина, да би се вода избистрила, уклонио непријатни мирис и укус (Tchobanoglous, Burton, & Stensel, 2003).

### 11.1.1. Груба филтрација - цеђење

Сваки процес пречишћавања воде започиње уклањањем непожељног крупног материјала, као што су комади сировина и производа, комади дрвета, пластике, крупних нерастворних и пливајућих материја, као и другог суспендованог материјала из воде, чиме се штите уређаји и цевоводи од оштећења и загушења и олакшава даљи третман воде. За уклањање таквог материјала примењује се механичка метода цеђења кроз порозне преграде, односно *решетке* или *сита* већих пора, слика 11.1 (Ђуковић и др., 2000). Поступак се најчешће примењује, као посебан третман воде, пре свих осталих поступака, тј. као претходна обрада воде или на почетку примарног третмана обраде воде (Гаћеша и Клашња, 1994). Процес се састоји у пропуштању сирове воде кроз порозну преграду, при чему се честице чврсте материје издвајају на површини порозне преграде, а течност пролази. Пречишћена течност назива се *филтрат*, а издвојена чврста материја задржана на прегради је *талог*.

Решетку чини низ паралелних шипки или штапова које се углављују у метални рам. Величина отвора је различита (од неколико центиметара до неколико милиметара), а у зависности од величине отвора, решетке се деле на грубе (50-100 mm), средње фине (10-25 mm) и фине решетке (3-10 mm).

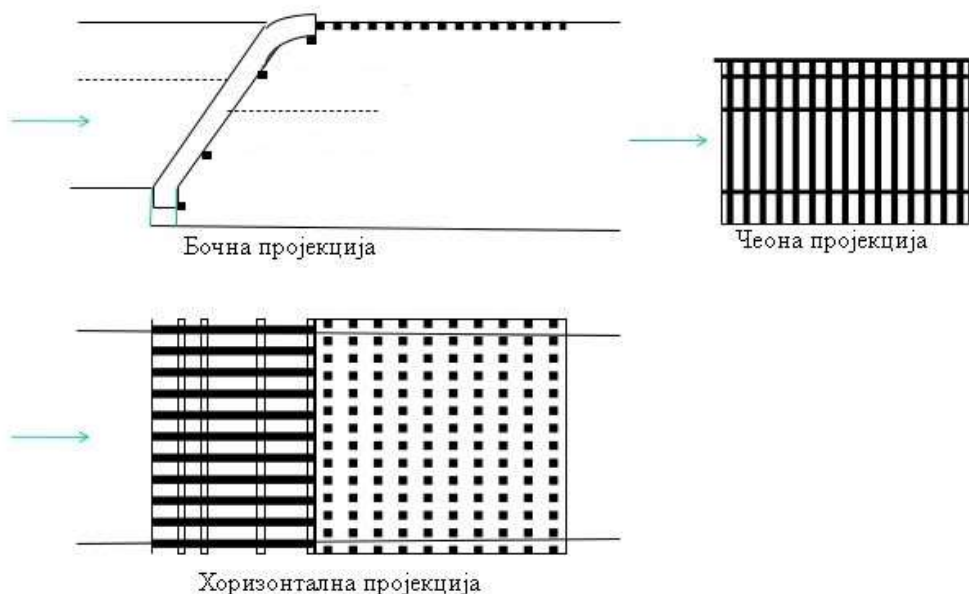


А

Б

Слика 11.1. решетка (А); сито (Б) (Ђуковић и др., 2000)

Решеткама се преграђују доводни канали воде, а постављају се као паралелне шипке вертикално или под нагибом (најчешће 40-70°), у односу на хоризонталну површину, слика 11.2.



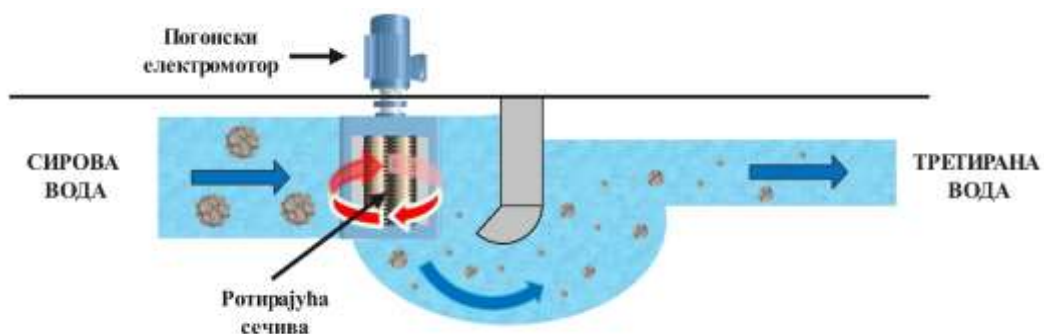
Слика 11.2. Положај решетки или сита у односу на проток воде (модификовано према Ђуковић и др., 2000)

Сита се, такође, могу користити за уклањање суспендованих честица и пливајућег материјала. Пречник отвора сита је од једног до неколико милиметара, а код финије обраде воде, за уклањање суспендованих честица веома малих димензија, користе се микросита са пречником отвора мањим од 0,1 mm (о чему ће бити речи у наредном

поглављу). Сита или цедиљке су заправо жичане мреже од нерђајућег челика или перфориране плоче отпорне на корозију. Најчешће су у облику диска, бубња или бескрајне траке са кружним отворима или прорезима. Сито може бити једним делом уроњено у воду и покретно, тако да се са дела сита који је ван воде може уклонити накупљени материјал млазом воде, чиме се обнавља чиста површина сита. Да би се лакше уклонио груби материјал, уместо обичних сита користе се *сита која имају механизам за уситњавање* (сечење, кидање) задржаног материјала. Она се састоје од ротирајућег бубња, којим се уситњава груби материјал и одводи на даљу обраду. Решетке и/или сита постављају се на главни канализациони вод који улази у станицу за пречишћавање воде, односно на главни канализациони вод фабрике пре уласка у постројење за обраду отпадних вода, или пре уливања у комуналну канализацију. Материјал са решетки и сита може да се чисти (уклања) мануелно (ручно) или аутоматски. Издвојени груби материјал се обрађује или одлаже на одговарајући начин. Даљи третман материјала може бити: изношење на депонију, биолошки третман (аеробни или анаеробни), закопавање, спаљивање и друго. Пошто је проценат влаге у накупљеном материјалу око 85-90%, пре његовог спаљивања и изношења на депонију потребно је делимично уклањање влаге.

### 11.1.2. Уситњавање

Овим поступком се не уклањају суспендоване материје, већ се чврста материја коју вода носи разбија, односно уситњава, а затим се, заједно са водом, даље пречишћава (слика 11.3). Поступак уситњавања може да се примени након што вода прође кроз грубу решетку. У току процеса уситњавања постоји опасност од нагомилавања материјала, чак и од зачепљења цеви и пумпи, па је потребан стални надзор и евентуална интервенција. Поступак је нарочито значајан код пречишћавања отпадних вода, где се крупне суспендоване материје уситњавају до величине 3-8 mm, тако да не могу да оштете или запуше цеви и друге делове уређаја. Практично се за уситњавање најчешће користе две врсте уситњача: уситњачи са млазом воде и такозвани додатни уситњачи (Ђуковић и др., 2000). Уситњачи са млазом воде се састоје из ротационог добоша са непокретним зубцима за сечење. Вода циркулише из спољне ка унутрашњој страни добоша, при чему се материјал зауставља у добошу и уситњава. Додатни уситњачи, поред тога што мељу материјал, врше и пумпање воде са уситњеним материјалом у канал са решетком. Због опасности од загушења, често су веома великих димензија.



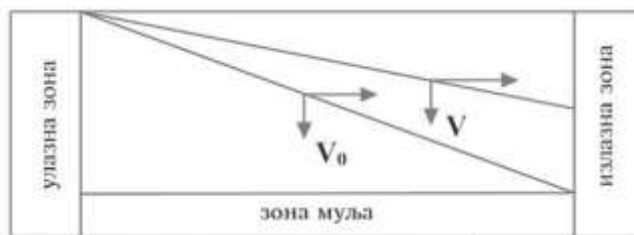
Слика 11.3. Пречишћавање воде уситњавањем (модификовано према Ђуковић и др., 2000)

### 11.1.3. Таложeње

Највећа количина суспендоване материје из воде се уклања методом таложeња (седиментације) под дејством *гравитационе силе* (Кемер, 2005). Овај процес се може применити у току различитих фаза обраде вода. Да би дошло до таложeња, суспендоване материје се морају довести у стање мировања или врло мале брзине протока. Из тих разлога, потребно је извршити егализацију воде, односно уједначити проток воде и њено оптерећење материјалом. Таложeње се природно дешава под утицајем силе гравитације, међутим у многим случајевима суспендоване честице су сличне специфичне масе као вода, тако да се таложeњем не могу успешно издвојити. У тим случајевима потребно је применити поступак коагулације и флокулације да би се честице увећале и исталожиле. Брзина таложeња зависи од величине, облика и специфичне тежине честица, али и од вискозитета и специфичне тежине течности (Гаћеша и Клашња, 1994). Ради боље ефикасности процеса, односно бржег таложeња честица, могу се користити центрифуге, које центрифугалном силом (која многоструко већа од силе Земљине теже) поспешују таложeње. Међутим, таложeње честица центрифугирањем се ретко примењује јер значајно повећава трошкове обраде воде.

Уклањање исталожене материје са дна цистерне или базена за таложeње врши се периодично или континуирано помоћу лопатица на дну или других одговарајућих уређаја. Таложeње честица зависи и од режима струјања флуида, које може бити: ламинарно, прелазно и турбулентно. Критеријум за одређивање је Рејнолдсов број ( $Re$ ).<sup>15</sup> Најједноставније таложeње је код ламинарног режима струјања флуида. Теорија таложeња је теорија ефекта гравитације на суспендоване честице специфичне тежине веће од специфичне тежине течности у којој се налазе. За прорачуне брзине тоњења узима се честица сферног облика, док се други облици анализирају преко еквивалентних пречника или коефицијената облика. У даљем тексту биће приказани неки од могућих начина таложeња суспендованих честица.

*Таложeње дискретних честица* подразумева уклањање суспендованих честица из сирове воде које се таложe независно једна од друге. Дискретне честице при гравитационом таложeњу не мењају величину, облик и специфичну масу. Брзине њиховог таложeња кроз флуид зависе од режима струјања флуида око честице током таложeња, облика честице, густине честице и флуида, вискозности и другог.



Слика 11.4. Путања таложeња дискретних честица у идеалном таложнику ( $V_0$  – брзина

<sup>15</sup> Озборн Ренојлдс (*Osborne Reynolds* 1842 – 1912) је енглески физичар који је проучавао динамику флуида. Ренојлдсов број ( $Re$ ) је кључни параметар струјања вискозног флуида и њиме се дефинише граница између ламинарног и турбулентног струјања. Бездимензиона је величина.

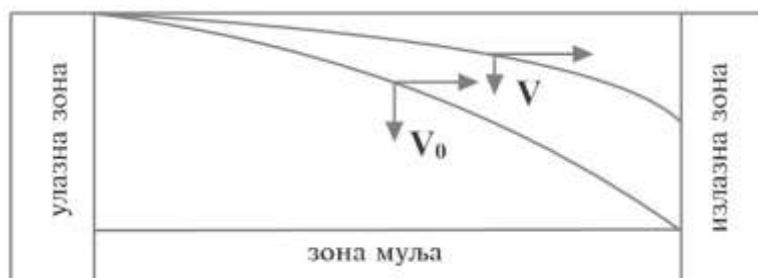
таложења дискретне честице која ће бити уклоњена,  $V$  – брзина кретања воде)

На слици 11.4. приказано је уклањање дискретних честица њиховим таложењем у идеалном таложнику. Идеални таложници су они таложници који испуњавају следеће услове: суспендоване честице су равномерно распоређене на улазном попречном пресеку у зону таложења, брзина протицања воде у таложнику је стална и исталожене честице додирују зону муља.

Суспендоване честице ће се уклонити, односно исталожити за време проласка воде кроз зону таложења. Путања таложења честица представља резултанту брзине таложења честица и брзине кретања воде. За дискретне честице путања таложења је праволинијска. Овим поступком, дискретне суспендоване честице ће се успешно уклонити из отпадне воде уколико се изабере адекватна величина површине таложника.

За разлику од идеалних таложника, код реалних таложника треба узети у обзир и параметре попут турбуленције или поремећаја униформног тока воде у таложнику, различите брзине тока воде, поновног враћања појединих исталожених честица у воду (ресуспензија) и друге факторе. Код реалних таложника ефикасност таложења је мања. Режим протицања воде у реалном таложнику<sup>16</sup> зависи од средње брзине протока воде, кинетичког вискозитета воде, хидрауличног радијуса таложника. Код турбулентног режима тока воде већи део суспендованих честица се не таложи, већ се износи из таложника, чиме и ефикасност таложења опада. Режим тока воде се може регулисати адекватним избором ширине и дубине таложника.

*Таложење честица које флокулишу* се односи на оне честице које се у току процеса таложења укрупњавају услед међусобних судара и/или хемијске реактивности, али и додавањем реагенаса – коагуланата. Поједине суспендоване честице се том приликом могу спајати у веће агрегате – флокуле, чак и при ниским концентрацијама. У овим случајевима истовремено се дешавају процеси флокулације и таложења, чиме се мењају особине честица, а самим тим и брзина таложења. Путање таложења честица које флокулишу су у облику криве линије, слика 11.5. Време и дужина таложне површине у таложнику се скраћују, односно повећава се ефикасност таложења, а самим тим се и целокупан процес таложења знатно брже изводи.



**Слика 11.5.** Путање таложења суспендованих честица које флокулишу ( $V_0$  – брзина таложења дискретне честице која ће бити уклоњена,  $V$  – брзина кретања воде)

Овим начином таложења се код припреме воде за пиће могу уклонити органска и неорганска једињења од којих потиче мутноћа, боја и мирис воде, разне суспендоване честице, бактерије, и друго. Подаци које је потребно знати приликом уклањања

<sup>16</sup> Режим протицања воде у таложнику дефинисан је „макро“ Рејнолдсовим ( $Re$ ) бројем.

честица које флокулишу добијају се на основу лабораторијских огледа, којима се мора обухватити цео опсег очекиваних концентрација суспендованих честица у води.

*Зонално таложење суспендованих честица* представља вид такозваног ометаног таложења и карактеристично је за веће концентрације суспендованих честица. На овај начин таложења доминантан утицај имају јаке силе интеракције између честица, а знатно мање гравитационе силе. Међусобна интеракција честица у концентрованим суспензијама омета појединачно таложење честица, јер честице просто вуку једна другу. Све честице се таложе заједно, у једној зони, без обзира на величину. Сталожене честице формирају таложне зоне са више или мање оштром граничном површином између себе и избистрене воде, због чега се овај режим и зове зонално или зонско таложење.

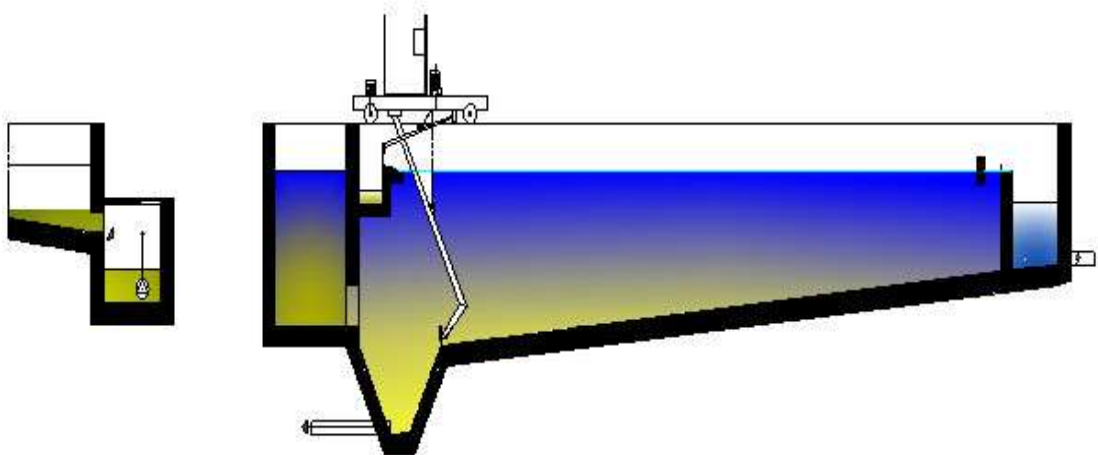
*Таложење честица у зони компресије* јавља се код веома концентрованих суспензија, где су спендоване честице врло близу једна другој, тако да долази до сабијања због тежине горњих слојева. Брзина таложења је мања у односу на зонално таложење.

#### • Таложници (таложнице)

Представљају специјално направљене уређаје у којима се изводи процес таложења. Принцип рада таложника је да се створе услови за успорено и равномерно протицање суспензије, чиме се омогућава да гравитациона сила привуче честице према дну таложника. Два основна типа таложника, која се међусобно разликују по начину увођења и изласка воде и уклањања муља, су:

- правоугаони и
- радијални (кружни).

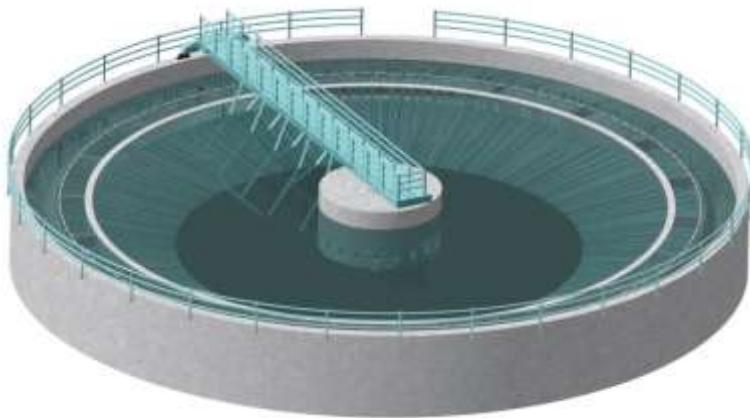
Правоугаони таложници захтевају већи простор (дужина до 90 m, ширина до 25 m, дубина до 5 m) и најчешће се користе код слабо концентрованих суспензија (слика 11.6). Вода се уводи на једном крају и разводи тако да вртложење буде што мање (проток је ламинаран и уједначен), а на другом крају излази избистрена вода. Исталожени муљ се гребачима избацује у прихватни шахт.



Слика 11.6. Правоугаони таложник (Tchobanoglous, Burton, & Stensel, 2003)

Пречник радијалних таложника је до 60 m, а дубина до 5 m. Код ових таложника вода се уводи централно. Муљ се уклања гребачима који ротирају и избацују га у централно

постављени шахт (слика 11.7).



Слика 11.7. Радијални таложник (Tchobanoglous, Burton, & Stensel, 2003)

Правоугаони таложници су са хидрауличног аспекта повољнији од радијалних, али је код радијалних таложника боље решено сакупљање исталожених честица. Уколико су суспендоване честице основни облик загађења воде, онда смањење њихове концентрације у таложницима, представља главни поступак пречишћавања воде. Таложници који се користе у склопу примарног пречишћавања отпадне воде зову се *примарни таложници*, а они који се користе код поступака секундарне обраде воде, обично за уклањање муља код поступка биолошког третмана, су *секундарни таложници*. За разлику од примарних таложника, којима је основна функција избистривање отпадне воде, код секундарних је важна и функција угушћивања муља. Секундарни таложници су по конструкцији слични примарним, али су већих капацитета и имају бољи механизам за уклањање муља.

У даљем тексту биће укратко објашњена примена неких поступака таложења.

#### • Уклањање бионеразградивог материјала таложењем

У току процеса пречишћавања сирове воде, суспендоване честице инертног, односно бионеразградивог материјала, као што су песак, шљунак, земља, шљака, пепео и слично<sup>17</sup>, као и честице биоразградивог материјала који се тешко и споро разграђује, могу изазвати абразију и убрзано хабање покретних делова уређаја за пречишћавање воде, нарочито на местима где је успорен проток воде. Уклањање таквог инертног материјала успешно се врши механичким таложењем (Гаћеша и Клашња, 1994). Инертни материјал се може издвојити гравитационим таложењем уз адекватну брзину тока воде, док се органске суспендоване честице односе даље водом. Уређаји који се користе за уклањање инертног, бионеразградивог, материјала називају се хватачи песка. Хватачи песка су коморе које се према начину регулисања тока воде деле на проточне, таложне и аерисане коморе.

*Проточне коморе* су најстарији тип хватача песка. То су канали код којих вода

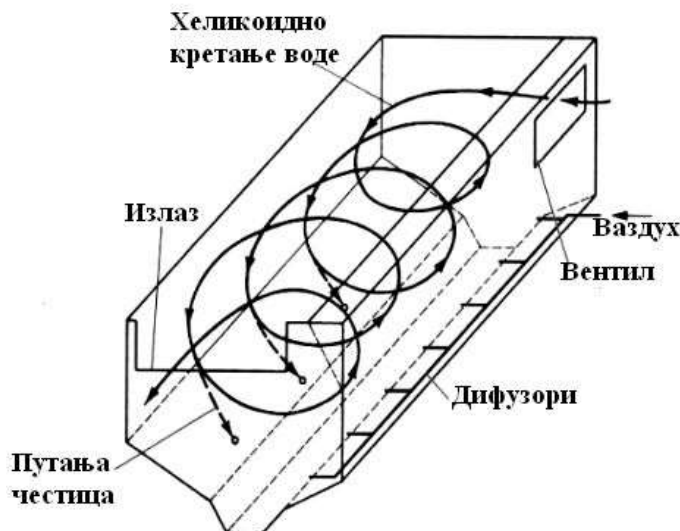
<sup>17</sup> Овај материјал се често назива „песак“, при чему се под појмом „песак“ подразумевају суспендоване честице инертног, односно бионеразградивог материјала у сировој води, чије су специфичне масе, односно брзине таложења много веће од честица органског биоразградивог материјала.

протиче споро, а брзина протока је непромењена, чиме се постиже таложење инертног материјала, док остале суспендоване честице одлазе са водом. Исталожени материјал се уклања ручно или механичким уређајима.

*Таложне коморе* (детритори) су таложници који се постављају у главни канализациони вод и код њих долази до кратког задржавања воде (најчешће око 3 минута). Настали талог се избацује ротирајућим гребачима.

Исталожени материјал из претходних поступака таложења може да садржи преко 50% биоразградивог органског материјала, што умногоме отежава процес његовог одлагања. Овај талог се пре одлагања мора пречистити и опрати (уколико се не спаљује), како не би дошло до појаве непријатног мириса услед биолошког разлагања органских материја. Опран талог се може одложити на комуналне депоније, закопати, расипати по земљишту, а уколико је задовољавајуће чистоће може се користи у грађевинарству.

*Аерисане коморе* су базени у којима се врши издвајање инертног талогa, али и његово прање од органских материја (слика 11.8). У овим коморама се вода спирално креће<sup>18</sup>. Убацивањем одговарајуће количине ваздуха теже, инертне материје се талоче на дну коморе, док органске материје односи вода. Талог се одстрањује механичким уређајима. Вода се у аерисаним коморама кратко задржава. Поред овога аерисане коморе се могу користити за издвајање масноћа флотацијом диспергованим ваздухом.



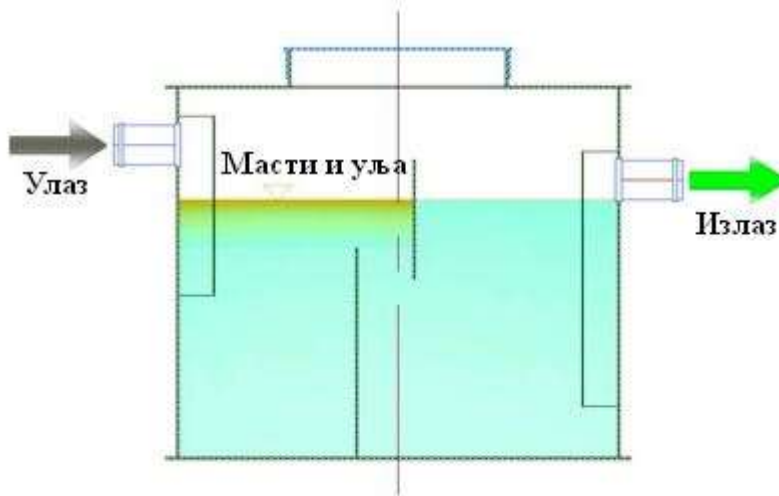
Слика 11.8. Аерисане коморе (модификовано према Ђуковић и др., 2000)

#### • Уклањање уља и масти таложењем

Масти и уља, нарочито минерална уља, су материје које отежавају процесе пречишћавања сирове воде (Гаћеша и Клашња, 1994). Њихово уклањање базира се на успоравању тока воде, при чему масти и уља испливавају на површину, са које се сакупљају. Поступак се изводи у правоугаоним или кружним базенима, који се називају хватачима масти (слика 11.9), у којима се вода задржава неколико минута.

<sup>18</sup> Спирално кретање отпадне воде у базену се постиже тако што се вода убацује са стране базена, а дуж једне стране се уводи ваздух.

Да би се избегло таложење тежих суспендованих материја, уводи се ваздух који додатно поспешује издвајање масноћа (ефекат флотације). Издвојена уља и масти, и друге материје лакше од воде, скидају се са површине скупљачима пене и пребацују у сабирни суд, а пречишћена вода излази из базена. Хватачи масти су често повезани са таложницима, тако да се са уклањањем талога уклањају и флотиране масноће са површине. Фабрике и објекти, као што кланице, уљаре, сервис моторних возила и други, код којих су отпадне воде оптерећене већом количином масти и уља имају хватаче масти као посебне уређаје. Код нафтне индустрије издвојено уље из отпадне воде се поново враћа у процес производње. Масноће издвојене хватачима масти могу се спаљивати, закопавати или подвргнути биолошком третману.



Слика 11.9. Хватач масти и уља облика кружног базена (модификовано према Tchobanoglous, Burton, & Stensel, 2003)

#### 11.1.4. Флотација

Пречишћавање воде флотацијом се заснива на различитим специфичним масама суспендованих честица и воде. Флотацијом се одстрањују суспендоване материје које имају специфичну масу мању од воде и које пливају по површини, односно оне које се не могу уклонити из воде применом поступка таложења (Љубисављевић, Ђукић и Бабић, 2004). У суштини, процес флотације је супротан процесу таложењу, јер честице материјала испливавају на површину воде. Овај поступак се примењује, углавном код примарног третмана пречишћавања воде.

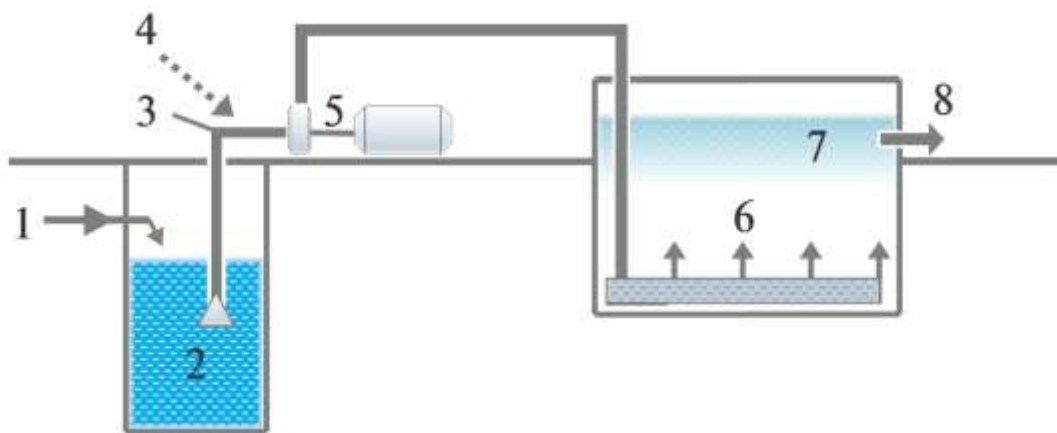
Разликују се два основна типа флотације: *природна* и *стимулисана* или *изазвана* флотација. Метода *природне флотације* заснива се на природној појави да се суспендоване честице мање специфичне масе од воде подижу ка површини воде, одакле се уклањају одговарајућим поступцима. Код *стимулисане* или *изазване флотације* у воду се удувава ваздух под притиском при чему настају мали мехурићи, који се лепе за честице и заједно са њима испливавају на површину воде. Мехурићи ваздуха се могу створити механичким дисперговањем ваздуха или растварањем ваздуха. Код дисперговања, мехурићи се стварају удувавањем ваздуха кроз пропелерске мешалице или кроз дифузере (дизне) у флотациону комору. Овај поступак се најчешће користи за уклањање диспергованих уља.

У пракси се чешће примењује поступак са раствореним ваздухом, којим се стварају мехурићи пречника 40-70 mm. Флотација са раствореним ваздухом се изводи на тај начин што се ваздух раствара у води под повишеним притиском. Смањењем притисака настају мехурићи, који се везују за чврсте честице и подижу их ка површини воде, одакле се уклањају. Стварање мехурића ваздуха дисперговањем ваздуха је мање ефикасно од поступка растварања ваздуха, јер настају мехурићи већих димензија, тако да се мање накопљају на суспендоване честице.

Поступак флотације се обавља у *флотаторима*. Они су по конструкцији слични таложницима и могу бити правоугаоног или кружног облика. Опремљени су одговарајућим уређајем за скидање пене, а поједини могу поседовати и гребаче за муљ.

Количина одстрањене суспендоване материје из воде методом флотације је знатно мања у односу на ону која се одстрани применом других метода, па је самим тим и квалитет пречишћене воде слабији. Стога се процес флотације самостално ређе користи код пречишћавања воде, већ се углавном примењује у комбинацији са процесом флокулације<sup>19</sup>. Самостално се процес флотације примењује за претходно бистрење неких јако мутних површинских вода и за бистрење воде у рециркулационим системима у којима је важно да се из воде уклони главна маса суспендованих честица и у којима идеална бистрина рециркулационе воде није неопходна. Најчешћа примена је за пречишћавање индустријских отпадних вода и отпадних вода из рудника.

Шема уређаја за пречишћавање вода флотацијом приказана је на слици 11.10.



**Слика 11.10.** Скица уређаја за пречишћавање воде флотацијом: 1 – цев за улаз отпадне воде; 2 – резервоар; 3 – усисна цев; 4 – улаз ваздуха; 5 – пумпа; 6 – комора за флотацију, 7 – сакупљач пене; 8 – одвод пречишћене воде (модификовано према Љубисављевић, Ђукић и Бабић, 2004)

## 11.2. Термичке методе пречишћавања вода

Пречишћавање воде термичким методама заснива се на промени температуре воде. Ове методе се углавном користе за уклањање растворених гасова, нарочито

<sup>19</sup> Флокуле имају велику површину што омогућава да се побољша приањање мехурића и кретање ка површини.

кисеоника, за дезинфекцију и за омекшавање воде (Гаћеша и Клашња, 1994).

### ***11.2.1. Евапорација***

Метода евапорације се примењује за удаљавање супстанци које испаравају заједно са воденом паром, као што су анилин, фенол и друге. Поступак се састоји у томе да се сирова вода загрева до тачке кључања, а затим уводи у колону, где се насупрот току воде уводи водена пара (температуре 102-103 °C), чиме се постиже већа контактна површина воде и паре. Испарљиве супстанце из течне фазе (загрејане воде) прелазе и расподељују се у гасовиту фазу, према закону расподеле. Након завршеног процеса, водену пару је потребно регенерисати, што се обавља у посебним сорпционим колонама, где се образују неиспарљива једињења. Метода евапорације се примењује за елиминисање фенола из отпадних вода коксара. За елиминацију фенола из паре користи се 7-15% раствор натријум-хидроксида загрејаног на 102-103 °C. Овим поступком се концентрација фенола у отпадној води може снизити десет до двадесет пута (Гаћеша и Клашња, 1994).

### ***11.2.2. Сагоревање – инцинерација отпадних материја***

Термички поступак сагоревања или инцинерације се може применити за уклањање отпадних материја које поседују довољно велику топлоту сагоревања да је могуће спонтано сагоревање или за уклањање отпадних материја где је потребан утрошак мале количине додатног горива да би дошло до сагоревања. Овим поступком се обично уклањају растварачи и уља, односно врло концентровани раствори органских материја. Код примене инцинерације мора се водити рачуна и о евентуалном загађењу ваздуха.

### ***11.2.3. Хлађење***

Уколико је температура воде повишена, она се се мора снизити пре испуштања у водопријемник. Хлађење се врши распрскавањем воде у каскадним торњевима, при чему се она хлади ваздухом.

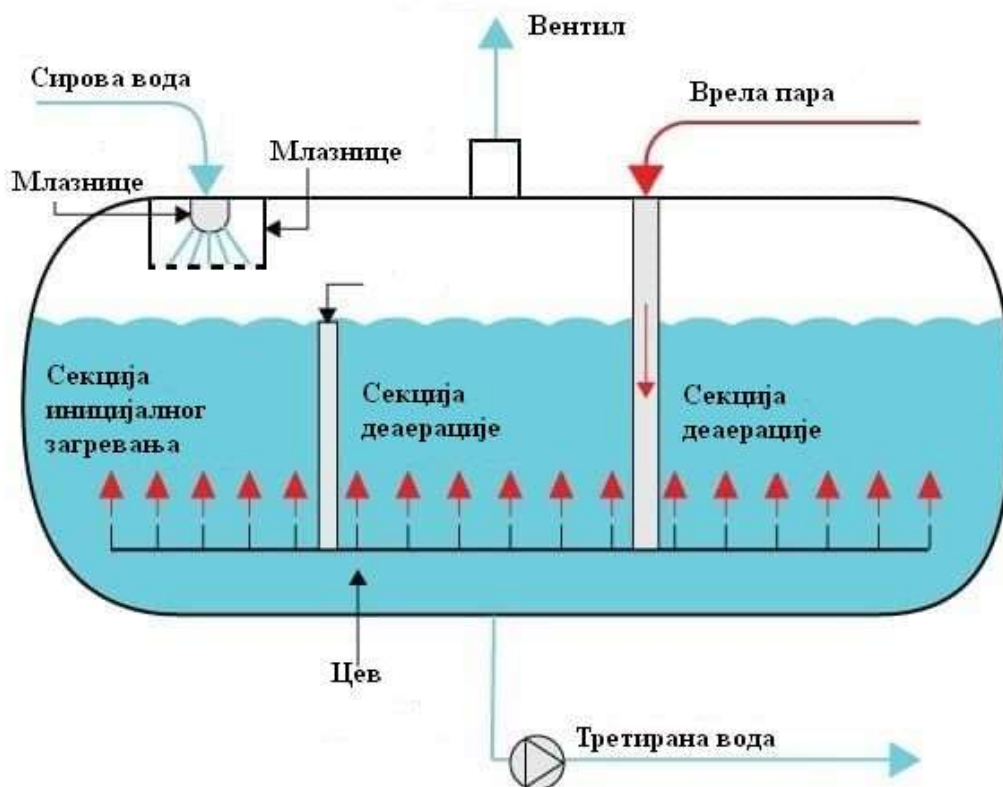
У даљем тексту наведене су неке примене термичких метода у технологији пречишћавања воде.

#### **• Уклањање раствореног кисеоника из воде**

Присуство раствореног кисеоника у воденој средини је неопходно првенствено ради опстанка живих организама у њој. Поред тога, вода која се користи за пиће мора да садржи одговарајућу количину кисеоника, јер она са малом количином кисеоника је лошег укуса. Присуство кисеоника у води је потребно и ради уклањања мангана, гвожђа, водоник-сулфида, за одвијање биолошких аеробних процеса пречишћавања вода, итд. (Далмација, 2010). Међутим, већа концентрација кисеоника у води, која се користи у индустријским процесима, може довести до оштећења инструмената и пратеће опреме. Под дејством кисеоника долази до оксидације, односно корозије система који користе воду (кисеонична корозија). Овај процес је нарочито изражен код вода са повишеним температурама. Кисеоник је посебно штетан у води која се користи за напајање парних котлова. Због поменутих негативних утицаја, у појединим

случајевима, је неопходно уклонити кисеоник из воде.

Једна од метода за уклањање кисеоника из воде је термичка метода. Принцип методе заснива се на чињеници да је на температури кључања воде растворљивост кисеоника (и других гасова) у води једнака нули. Поступак уклањања кисеоника и других гасова из воде назива се *деаерација* или *дегазација* воде. Термичко одстрањивање кисеоника из воде или деареација кисеоника врши се у термичким деаераторима, слика 11.11. У њима се вода загрева и у директном контакту је са насталом паром. Због разлике у концентрацији кисоника између гасовите и течне фазе воде смањује се растворљивост кисеоника у води, односно долази до његовог елиминисање из воде.



Слика 11.11. Термички деаератор воде (модификовано према Tchobanoglous, Burton, & Stensel, 2003)

#### • Термичка дезинфекција воде

Један од начина дезинфекције воде је њено загревање, односно кување. Ово је једна од најстаријих метода, која се и данас користи када примена других поступака није могућа. Кувањем воде се успешно уништавају вегетативни облици микроорганизама, али не увек и њихове споре. Кување воде је скупо, јер захтева велики утрошак енергије, а праћено је и низом непожељних појава, па се се у индустријским уређајима за обраду воде практично и не примењује.

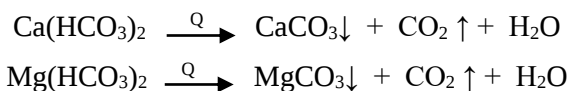
#### • Термичко омекшавање воде

Процес омекшавања воде подразумева смањење количине минералних материја. У

термичке методе омекшавања воде спадају *дестилација* и *декарбонизација*.

Дестилацијом воде се из воде уклањају минералне супстанце и други неиспарљиви састојци. Поступак се изводи превођењем воде у гасовито стање, након чега следи кондензација добијене паре. Дестилација воде се примењује када је потребно добити мању количину стерилне воде која не садржи минералне састојке. Поступак дестилације воде се користи за припрему воде у лабораторијама, у јавним и клиничким апотекама, фармацеутској индустрији итд. Пошто је, због великог утрошка енергије, дестилована вода скупа, овај поступак се користи у случајевима када цена производа то дозвољава (разблаживање алкохола код производње одређених врста алкохолних пића). За дестилацију воде се користе различити типови дестилатора. Уколико се примењује континуални поступак дестилације, воду која се подвргава дестилацији, по правилу, треба претходно омекшати, јер долази до великих проблема услед стварања наслага на грејним површинама испаривача.

Декарбонизација воде се изводи загревањем воде на температури изнад 75-80 °C, односно, кувањем на атмосферском или на повишеном притиску, при чему се присутни хидрогенкарбонати разлажу до карбоната, угљен-диоксида и воде:



Калцијум-карбонат се таложи брзо и лако, док се магнезијум-карбонат таложи тешко, споро и непотпуно<sup>20</sup>. Поменуте реакције су реверзибилне, односно, уколико у води заостане растворени угљен-диоксид, издвојени калцијум-карбонат може приликом хлађења прећи у растворени калцијум-хидрогенкарбонат. Да би издвајање CO<sub>2</sub> било што потпуније потребно је да се вода која се декарбонизује, приликом загревања, интензивно меша. Садржај натријум-хидрогенкарбоната и натријум-карбоната у води се кувањем не може смањити, па се вода са повећаним садржајем ових соли мора декарбонизовати.

### 11.3. Пречишћавање воде ултраљубичастим зрачењем

Под појмом ултраљубичасто зрачење (UV – енгл. *ultraviolet*) подразумева се електромагнетно зрачење таласних дужина (400-10 nm), односно таласних дужина мањих од таласних дужина видљиве светлости, а већих од ренгенског зрачења. Ово зрачење се према таласним дужинама дели на: блиско ултраљубичасто подручје (400-300 nm), које доспева до површине Земље и при контакту са живим организмима изазива нежељене ефекте, средње ултраљубичасто подручје (300-200 nm), које се још назива и далеко ултраљубичасто подручје и карактерише га неометан пролазак кроз ваздух и воду и екстремно или вакуумско ултраљубичасто подручје (200-10 nm), које ваздух скоро у потпуности апсорбује.

Ултраљубичастим зрачењем може се уништити већина вегетативних облика микроорганизама и њихове споре, протозое и вируси, и то веома брзо<sup>21</sup>. У ту сврху користи се ултраљубичасто зрачење таласних дужина 200 – 295 nm, а најефикасније су таласне дужине 250 – 265 nm. Код процеса пречишћавања воде примењује се

<sup>20</sup> Хлађењем воде исталожени магнезијум карбонат се делимично поново раствара.

<sup>21</sup> Ултраљубичастим зрацима се већина микроорганизама може уништити за неколико секунди, или неколико делова секунди.

ултраљубичасто зрачење таласних дужина 280-400 nm. Овај опсег таласних дужина има бактерицидно дејство, односно штетно делује на живе организме јер изазива фотохемијске промене унутар ћелија, тако да се користе за уклањање бактерија и вируса из воде (Далмација, 2009).

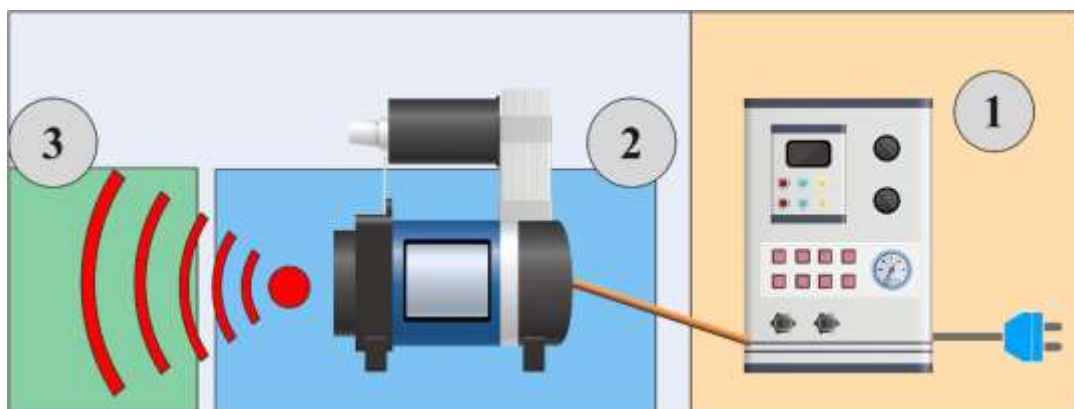
Ултраљубичасти зраци поменутих таласних дужина се могу добити помоћу живиних и живино-кварцних лампи различитих конструкција. Уређаји за ултраљубичасто пречишћавање воде могу бити отвореног и затвореног типа. Код затворених уређаја ултраљубичаста лампа се смешта у центар цеви од кварцног стакла око које се концентрично поставља цев од обичног стакла тако да образује прстенасти простор кроз који се проводи вода која се дезинфикује. Дебљина слоја воде је обично до 2,5 cm. Вода која се дезинфикује треба да буде идеално бистра и безбојна, без једињења гвожђа или суспендованих састојака који добро апсорбују ултраљубичасте зраке. Затворени уређаји су погоднији од отворених, јер код њих не постоји опасност од реинфекције воде микроорганизмима из околног ваздуха, након изласка из зоне озрачивања, па се зато у пракси највише и користе. Овакав поступак дезинфекције воде је јефтин и ефикасан, уређаји су једноставни, и не долази до уласка других супстанци у воду. Озрачивањем воде ултраљубичастим зрацима се не мењају њене органолептичке особине, па је овај поступак погодан и за дезинфекцију минералних вода. Цена дезинфекције воде ултраљубичастим зрацима је слична цени хлорисања. Главни недостатак у односу на реагентне (оксидационе) поступке дезинфекције је у томе што биомаса уништених микроорганизама остаје у води, где може послужити као храна другим микроорганизмима, што може довести до реинфекције воде након њеног изласка из зоне озрачивања. Ултраљубичастим зрацима се вода не може трајно заштитити од контаминације.

## **11.4. Пречишћавање воде ултразвучним таласима**

Под ултразвуком подразумевају се електромагнетни таласи чија је фреквенција већа од 20 kHz и која је изнад горње границе чујности за људско уво. Ултразвук се у третману пречишћавања воде користи ради дезинфекције воде (Гаћеша и Клашња, 1994). Искуства показују да најефикасније дејство имају електромагнетни таласи фреквенција између 500 и 1000 kHz. Дезинфекцијом воде ултразвуком се могу уклонити у води присутне бактерије у вегетативном облику и споре, протозое, алге, ларве инсеката, флора и фауна морског планктона. Ултразвуком се разграђује структура алги и бактерија у кратком временском року.

Ултразвучни таласи се могу применити на почетку процеса пречишћавања вода (нарочито у таложницима), чиме се спречавају проблеми у каснијим фазама третмана, као и појава непријатног мириса и укуса воде. Ултразвук се ствара уз помоћ генератора звука. Ова метода је, у поређењу са класичним методама елиминације микроорганизама, ефикаснија, једноставнија и јефтинија. У комбинацији са другим средствима за дезинфекцију постиже се много бољи ефекат дезинфекције уз мању употребу хемикалија. За сада се ултразвук не користи за индустријску дезинфекцију воде, због високе цене и ограниченог дмета деловања самих ултразвучних генератора.

На слици 11.12. приказан је један од савремених уређаја за дезинфекцију воде ултразвуком.



**Слика 11.12.** Примена генератора ултразвука. 1 - генератор ултразвука, 2 - преносник звука, којим се преносе звучне пулсације у воду са високим интензитетом, 3 - инактивација присутних алги

Ултразвучни таласи углавном имају примену код постројења за третман воде за пиће или мањих количина отпадне воде, код таложника, базена за рекреацију, рибњака и друго.

**Питања за проверу знања:**

1. Навести поделу физичких метода за пречишћавања вода?
2. Објаснити у којој се фази обраде воде могу примењивати механичке методе пречишћавања.
3. Које материје из сирове воде се елиминишу механичким методама пречишћавања?
4. Навести поделу механичких метода пречишћавања воде?
5. Објаснити поступак грубе филтрације.
6. Коју примену има поступак уситњавања у току обраде воде?
7. Објаснити примену методе таложења у поступку пречишћавања воде.
8. Објаснити таложење дискретних честица.
9. Објаснити таложење честица које флокулишу.
10. Објаснити процес зоналног таложења суспендованих честица.
11. Навести врсте таложника и њихову примену.
12. Објаснити како се уклањају бионеразградиве материје методом таложења.
13. Објаснити како се уклањају масти и уља методом таложења.
14. Објаснити процес флотације и рећи где се примењује.
15. На који начин се уклања растворен кисеоник из воде термичком методом?
16. Којим поступцима се врши термичко омекшавање воде?
17. Објаснити поступак дезинфекције воде ултраљубичастим зрацим.
18. Објаснити дезинфекцију воде ултразвуком.

## Литература:

1. Гаћеша, С., и Клашња, М. (1994). *Технологија воде и отпадних вода*. Београд: Југословенско удружење пивара.
2. Далмација, Б. (2010). *Основи управљања отпадним водама*. Нови Сад: Природно-математички факултет, Департман за хемију, биохемију и заштиту животне средине и Удружење за унапређење и заштиту животне средине.
3. Далмација, Б., Агбаба, Ј. и Клашња, М. (2009). *Савремене методе у припреми воде за пиће*. Нови Сад: Природноматематички факултет, Департмант за хемију, биохемију и заштиту животне средине
4. Ђуковић, Ј., Ђукић, Б., Лазић, Д., и Марсенић, М. (2000). *Технологија вода*. Београд: Технолошки факултет.
5. Кемер, Ф. (2005). *Налков приручник за воду*. Београд: Савез инжењера и техничара Србије.
6. Љубисављевић, Д., Ђукић, А., и Бабић, Б. (2004). *Пречишћавање отпадних вода*. Београд: Грађевински факултет Универзитета у Београду.
7. Tchobanoglous, G. Burton, F., & Stensel. D. (2003). *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse*. New York: McGraw-Hill Science, Engineering and Mathematics.

## Правна регулатива:

8. Правилник о опасним материјама у водама, *Службени гласник СРС*, бр. 31/1982.
9. Уредба о граничним вредностима емисије загађујућих материја у воде и роковима за њихово достизање, *Службени гласник РС*, бр. 67/2011, 48/2012 и 1/2016.





## 12. ФИЗИЧКОХЕМИЈСКЕ МЕТОДЕ ПРЕЧИШЋАВАЊА ВОДА

### Циљеви поглавља:

- Упознавање са физичкохемијским процесима на којима се базирају физичкохемијске методе пречишћавања вода
- Стицање знања о основним принципима физичкохемијских метода пречишћавања вода
- Упознавање са могућностима примене физичкохемијских метода пречишћавања вода

### Резиме:

Пречишћавање вода физичкохемијским методама примењује се за уклањање неорганских и органских супстанци, растворљивих гасова и биолошких загађења из воде. Методе које се најчешће примењују су: коагулација и флокулација, јонска измена, апсорпција/десорпција, адсорпција, екстракција, електродијализа, електродијареја, филтрација, евапорација. За уклањање колоидних честица из воде користе се методе коагулације и флокулације. Јонска измена, као метода пречишћавања вода, највише се примењује за уклањање јона тешких метала, јонизованих минералних и органских материја. Ово је најпогоднија метода за уклањање радиоактивних супстанци из вода. Поступком аерације, који подразумева продување ваздуха, из воде се уклањају гасовите компоненте: угљен-диоксид, амонијак, водоник-сулфид, али и елементи који утичу на органолептичка својства воде за пиће, као што су гвожђе и манган. Процесом адсорпције из воде се уклањају загађујуће супстанце које су присутне у малим количинама, а које се другим поступцима не могу уклонити, односно у случајевима када је уклањање економски неповољно. Првенствено се користи за високо токсичне супстанце, али и за супстанце које утичу на мирис и укус воде. Метода пречишћавања отпадних вода екстракцијом заснована је на уклањању органских примеса мале растворљивости помоћу органских растварача у којима се ова једињења добро растварају. Ова метода се примењује за уклањање фенола, масних киселина, анилина и других органских примеса из воде. Метода електродијализе се базира на миграцији јона под утицајем јаког електричног поља. Филтрација представља процес уклањања суспендованог материјала из воде провођењем кроз порозне медијуме. Филтрационе методе се према величини честица које се уклањају, а самим тим и врсти филтрационог медијума, деле на макрофилтрацију и мембранску филтрацију (микрофилтрацију, ултрафилтрацију, нанофилтрацију и реверзну осмозу).

### Summary:

Physicochemical methods of water purification are used for the removal of inorganic and organic substances, soluble gases, and biological pollutants from water. The methods mostly used are coagulation and flocculation, ion exchange, absorption/desorption, adsorption, extraction, electrodialysis, electrodiuresis, filtration, and evaporation. Coagulation and flocculation are used to remove colloidal particles from water. Ion exchange, as a method of water purification, is mostly used for the removal of heavy metal ions, ionized minerals, and organic substances. This is the most suitable method for removing radioactive substances

from water. The aeration process consists of passing large amounts of air through water and then venting the air outside to remove gaseous substances from the water: carbon dioxide, ammonia, hydrogen sulfide, but also elements that affect the organoleptic properties of drinking water, such as iron and manganese. The adsorption is used to remove pollutants that are present in small quantities, and which cannot be removed by other methods, i.e. in cases when removal is economically unfavorable. It is primarily used for highly toxic substances, but also for substances that affect the smell and taste of water. The method of wastewater treatment by extraction is based on the removal of organic impurities that are poorly soluble in water using organic solvents in which these compounds dissolve well. This method is used to remove phenols, fatty acids, anilines, and other organic impurities from water. The electrodialysis method is based on the ions migration under the influence of a strong electric field. Filtration is the process of removing suspended material from water by passing it through porous media. Filtration methods are divided into macrofiltration and membrane filtration (microfiltration, ultrafiltration, nanofiltration, and reverse osmosis) according to the size of the particles to be removed, and thus the type of filtration medium.

Физичкохемијским методама пречишћавања вода из воде се могу уклонити неорганске и органске супстанце, растворљиви гасови и биолошка загађења. Ове методе се користите самостално или заједно са другим методама пречишћавања (механичким, хемијским и биолошким).

У физичкохемијске методе пречишћавања вода убрајају се:

- коагулација и флокулација,
- јонска измена,
- адсорпција,
- екстракција,
- електродијализа,
- електродијарежа,
- филтрација.

## 12.1. Коагулација и флокулација

Методе коагулације и флокулације се у поступку обраде вода првенствено користе за одстрањивање загађујућих супстанци које су у колоидном стању<sup>22</sup>.

Колоидне честице су честице релативно малих димензија, тако да сила Земљине теже на њих не утиче значајно. Поред тога, ове честице поседују наелектрисање исте врсте, тако да се међусобно одбијају. Из ових разлога колоидне честице „лебде“ у маси воде, односно, појављују се као „облак“ или „маглица“ у води, што повећава мутноћу воде. За њихово уклањање не могу се директно применити физичке методе таложења или филтрације.<sup>23</sup> Уклањање ових честица из сирове воде врши се применом метода коагулације и флокулације, чиме се нерастворне и колоидне честице претварају у облик који се из воде може уклонити неком другом методом, као што су таложење, филтрирање, флотација и друго (Гаћеша и Клашња, 1994).

*Најчешће се не прави разлика између појмова коагулација и флокулација, већ се под методом коагулације, односно флокулације подразумева једно те исто, што је погрешно.*

*Коагулација* представља поступак додавања одговарајућег електролита ради неутралисања колоидних честица, док је *флокулација* процес агрегације или укрупњавања дестабилизационих колоидних честица, чиме се колоидне честице талоче, односно уклањају из воденог раствора (Стојановић и Голубовић, 2014).

*Поступак коагулације* се код пречишћавања воде практично одвија у две фазе, које се одигравају веома брзо (од 1 до  $10^{-4}$ s):

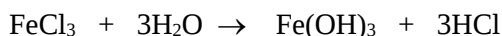
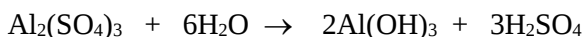
- Прва фаза је равномерно распоређивање коагуланта по целој запремини воде, што се постиже интензивним мешањем,
- Друга фаза је фаза дестабилизације колоида адсорпцијом електролита (коагуланта) на колоидне честице чиме се неутралише њихово наелектрисање.

<sup>22</sup> Колоидно стање материје је стање материје у коме су честице дисперзе фазе величине од 1 до 100 nm распоређене у дисперзном средству (медијуму), у овом случају у води.

<sup>23</sup> За колоидну честицу кварца, величине  $10^{-5}$  cm, брзина таложења је око  $10^{-6}$  cm/s, што значи да честица може прећи пут таложења од 1 cm за 11,6 дана, а за пут таложења од 100 cm време таложења би било око 1160 дана.

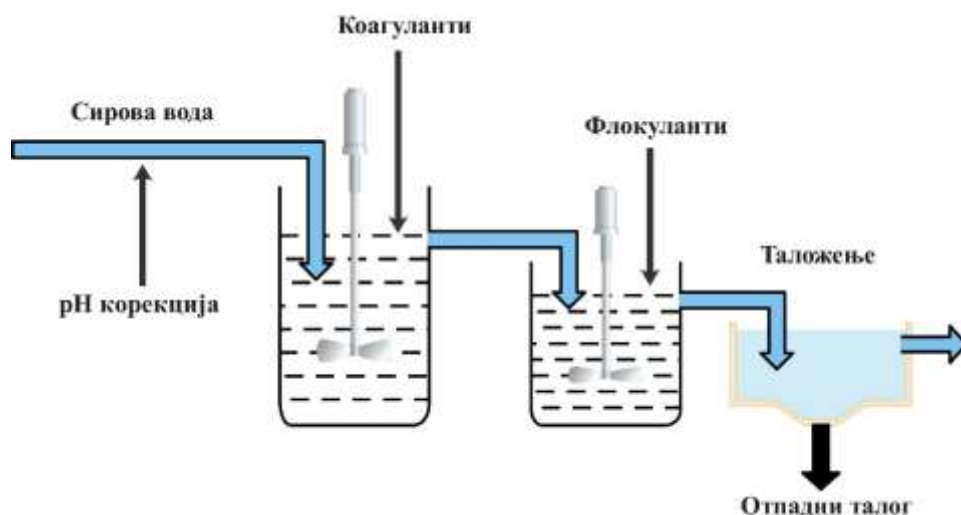
Електролити који се додају називају се *коагуланти* и њихов задатак је да дестабилизују колоидни систем, односно да омогуће процес коагулације. У дестабилизованом колоидном систему одбојне силе између честица се смањују, при чему се стварају повољни услови за њихово спајање и образовање већих агрегата или флокула. Коагуланти који су позитивно наелектрисани називају се примарни (основни) или катјонски коагуланти, док се негативно наелектрисани зову секундарни или ањонски коагуланти. Најчешће се као коагуланти додају различита једињења алуминијума и гвожђа: алуминијум-сулфат ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ), гвожђе(II)-сулфат ( $\text{FeSO}_4$ ), гвожђе(III)-сулфат ( $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ ), гвожђе(III)-хлорид ( $\text{FeCl}_3$ ), и друга. Растворне соли алуминијума и гвожђа, које у води граде нерастворне хидроксиде, користе се искључиво као примарни коагуланти. Најјефтинији и најчешће коришћен коагулант је  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ .

У воденом раствору поменути коагуланти хидролизују градећи алуминијум-хидроксид, односно гвожђе(III)-хидроксид:



Ефикасност коагулације се постиже стварањем оптималних услова за дејство коагуланта, као што су брзина мешања, време контакта, рН-вредност воде и друго.

*Процес флокулације*, односно стварање флокула, надовезује се на процес коагулације, а може се побољшати додавањем супстанци, односно *флокулационих средстава или флокуланата*. Флокуланти се адсорбују на неутралисане колоидне честице, чиме појачавају њихово међусобно привлачење. Настале флокуле су знатно већих димензија од првобитних колоидних честица, тако да се могу уклонити таложењем. За ефикасност овог процеса такође је потребно обезбедити низ фактора којима се постиже ефикасно образовање честица (флокула) одређене величине. Флокуланти могу бити неорганске и органске супстанце, природне (скроб, туткало, гумарабика) или вештачке (разне врсте полимера), а, у зависности од врсте јона које везују за себе, разликују се ањонски, катјонски и неутрални флокуланти. Материје које се из воде могу уклонити поступком коагулације и флокулације су оксиди, бикарбонати и фосфати гвожђа и мангана, калцијум-карбонат, честице глине, органска једињења, супстанце које води дају мирис и укус, обојене материје, бактерије, алге, вируси, планктони и друго. Овом методом могу се уклонити и радиоактивне материје уколико су у колоидном стању. Коагулација и флокулација омогућавају побољшање квалитета воде у физичком, хемијском и биолошком погледу (Далмација, Агбаба и Клашња, 2009). Постројења у којима се врше процеси коагулације и флокулације називају се *коагулатори и флокулатори*, и они се постављају независно или у склопу са таложником, слика 12.1.



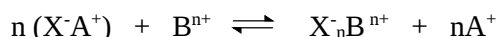
Слика 12.1. Пречишћавање вода коагулацијом и флокулацијом (модификовано према Tchobanoglous, Burton, & Stensel, 2003)

## 12.2. Јонска измена

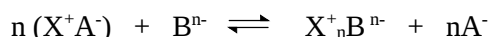
Јонска измена се примењује за уклањање јона тешких метала, јонизованих минералних и органских супстанци из вода. Такође, ово је и најпогоднија метода за уклањање радиоактивних супстанци из вода. Процес јонске измене врши се додавањем одговарајућег, у води нерастворног, електролита, који ће разменити еквивалантну количину јона истоименог наелектрисања са електролитом који се пречишћава из воденог раствора (Стојановић и Голубовић, 2014). Нерастворни електролит, који лако отпушта и замењује јоне са јонима из воденог раствора, назива се *јонски измењивач* или *јоноизмењивач*. То су чврсте макромолекуларне супстанце у облику финих ситних зрнаца – резина, које се у води не растварају и које се пакују у колоне, слика 12.2.

Јонски измењивач је у основи макромолекулски скелет за који су везани одређени јони (катјони или анјони), који лако дисосују и који се при одређеним условима могу заменити другим јонима са већим афинитетом. Основна маса, или макромолекулски скелет, која се не мења, назива се непокретни део, док се за њу везани јони, који се могу одвојити и заменити јонима из раствора, називају покретни део. Дакле, важна карактеристика јоноизмењивача је да се не растварају у датом растварачу и да у својој структури имају јон који лако отпуштају, односно који замењују за неки други јон из раствора који се кроз њих пропушта. У зависности од врсте јона који се могу мењати, јонски измењивачи се деле на *катјонске* и *анјонске*.

Реакција јонске измене код катјонског јоноизмењивача се може приказати на следећи начин:



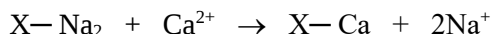
а код анјонског:



где су:

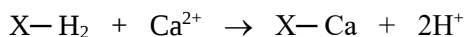
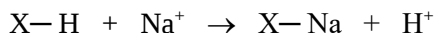
$X^-$ ,  $X^+$  – непокретне групе у јоноизмењивачу,  
 $A^+$ ,  $A^-$  – покретни део јоноизмењивача (катјон или анјон),  
 $B^{n+}$ ,  $B^{n-}$  – јони из раствора електролита који се замењују.

*Пример:* јони натријума из катјонског јоноизмењивача (X) могу заменити јоне калцијума из раствора:

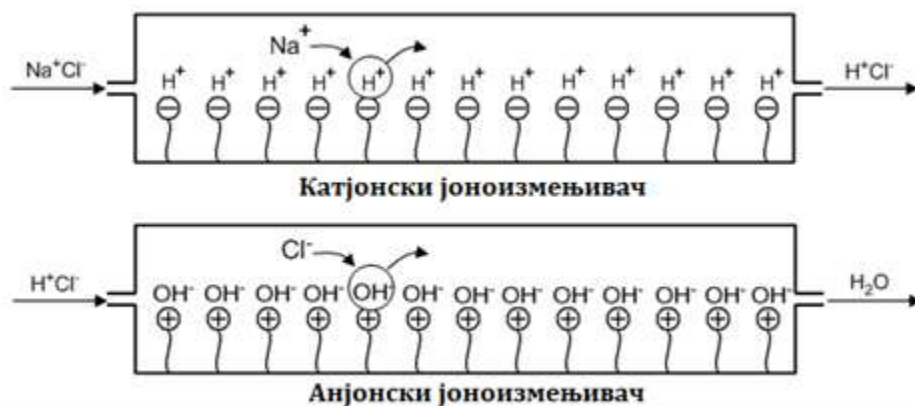
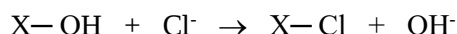


Код датог примера јонске измене не долази до промене киселости раствора, па је то неутрална измена катјона.

Међутим, у случајевима када јоноизмењивач отпушта јоне водоника, као што је приказано следећим примерима, раствор постаје киселији:

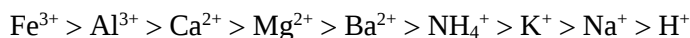


Јонска измена се може вршити и анјонским измењивачем:

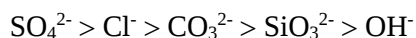


Слика 12.2. Механизам јонске измене

Афинитет јонског измењивача према појединим јонима није исти. Брзина јонске измене зависи од: валентности јона, њиховог наелектрисања, степена хидратације, структуре и особине јоноизмењивача и другог. У нормалним условима боље се замењују вишевалентни катјони него једновалентни. Уколико се у раствору налазе различити јони са приближно једнаким концентрацијама, афинитет катјона је следећи:



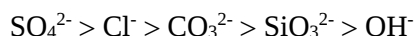
а анјона:



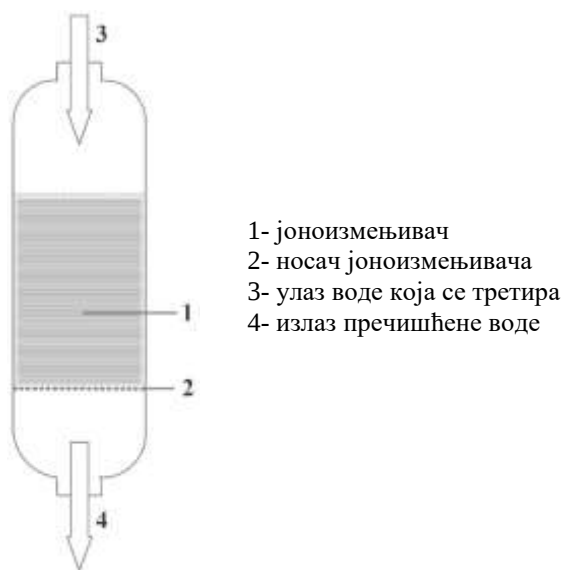
Афинитет јонског измењивача према појединим јонима није исти. Брзина јонске измене зависи од: валентности јона, њиховог наелектрисања, степена хидратације, структуре и особина јоноизмењивача и другог. У нормалним условима боље се замењују поливалентни катјони него једновалентни. Уколико се у раствору налазе различити јони са приближно једнаким концентрацијама, афинитет јонских измењивача према катјонима је следећи:



а према анјонима:



Ово практично значи да јони који се налазе испред других јона у низу лакше и брже ступају у реакције са јоноизмењивачима, потискујући из њих јоне који се у низу налазе иза. Такође, пошто се кроз јоноизмењивачку колону пропушта вода у смеру одозго према доле, то ће се у горњем слоју накопљати претежно они јони према којима јоноизмењивач има већи афинитет. Јоноизмењивачка маса може бити неорганска или органска. Од неорганских супстанци особину измене катјона имају природни минерали, познати под заједничким именом зеолити. Од органских се користе различите синтетичке смоле, које се најчешће добијају поликондензацијом фенола са формалдехидом (измењивачи катјона) или ароматичних амина са формалдехидом (измењивачи анјона). Природни јоноизмењивачи (алумосиликати – зеолити) имају релативно мали капацитет јонске измене и хемијски су нестабилни. Синтетички материјали (органски полимери са јоноизмењивачким групама) имају знатно већи капацитет измене и хемијски су знатно отпорнији, па се у пракси готово искључиво само они употребљавају. Методом јонске измене из воде се могу уклонити само оне материје које у њој дисосују на јоне, док се ова метода не може применити за уклањање нејонизованих материја (колоидних и суспендованих). Међутим, такве материје могу ометати процес јонске измене, јер се механички задржавају у јоноизмењивачкој маси и из ње се тешко уклањају, чиме јоноизмењивач губи ефикасност и пропада. Из тих разлога се вода, пре подвргавању третмана јонске измене, мора пречистити таложењем или другом адекватном методом (Љубисављевић, Ђукић и Бабић, 2004). У процесу пречишћавања воде јонском изменом користе се колоне, односно торњеви у којима је смештен јоноизмењивач, слика 12.3.



Слика 12.3. Колона напуњена јоноизмењивачем

Основни начин примене јонских измењивача састоји се у томе, да се кроз колону која је формирана од филтрационог слоја јоноизмењивача пропушта вода коју треба

третирати (Гаћеша и Клашња, 1994). Јоноизмењивачи мењају своје јоне са јонима из воде док вода пролази кроз јоноизмењивачку колону, слика 12.3. Јонски измењивачи се не могу користити бесконачно, већ се њихов рад прекида када достигну *радни капацитет испуне*. Радни (корисни) капацитет јоноизмењивача представља количину јона коју дата јоноизмењивачка маса може да прими из раствора у датим условима. Пошто је бацање искоришћеног јоноизмењивача скупо и непрактично, јоноизмењивачка маса може да се регенерише, односно врати у почетно стање да би се поново користила. Регенерација се врши оригиналним катјонима или ањонима на тај начин што се кроз колону пропушта концентровани раствор одговарајуће киселине или базе. Замењени јони одлазе из колоне у облику концентрованог раствора. У фази регенерације настају знатне количине отпадних вода.

*Радна фаза и фаза регенерације* затварају циклус рада јонских измењивача и могу се поновити неограничен број пута. Димензије и број јоноизмењивачких колона у једном постројењу за обраду воде зависи од састава полазне воде и економских услова. Поред јоноизмењивачких колона, постројење за обраду воде обухвата и пратеће уређаје, као што су: резервоари сирове и обрађене воде, пумпе, уређаји за мерење протока, резервоари за припрему средстава за регенерацију, компресори за ваздух за растресање и мешање смола пре или након регенерације и слично. При томе се, у пракси, постројења постављају у пару: док једно ради, друго се регенерише. Примена јоноизмењивача има бројне предности над хемијским поступцима омекшавања, односно обраде воде. Метода јонске измене често се употребљава у лабораторији за добијање дејонизоване воде. У индустрији се одавно примењује за уклањање супстанци од којих потиче тврдоћа воде (омекшавање), а све више се примењује и за пречишћавање отпадних вода, посебно за уклањање појединих специфичних јона, као што су јони метала. Ово је врло ефикасан начин пречишћавања воде, јер се уклањају готово сви јони из воде, што за многе практичне сврхе и није потребно. Тако се код пречишћавања отпадних вода, само део отпадне воде проводи преко јоноизмењивача, при чему се добијени раствор искористи за разблаживање непрочишћеног дела. Разблаживањем се концентрација штетних материја често спусти испод дозвољеног нивоа, чиме престаје потреба за пречишћавањем целокупне количине отпадне воде. Главна мана јонске измене је њена висока цена и потреба за честим регенерисањем јоноизмењивача

### **12.2.1. Обрада природне воде јонским измењивачима**

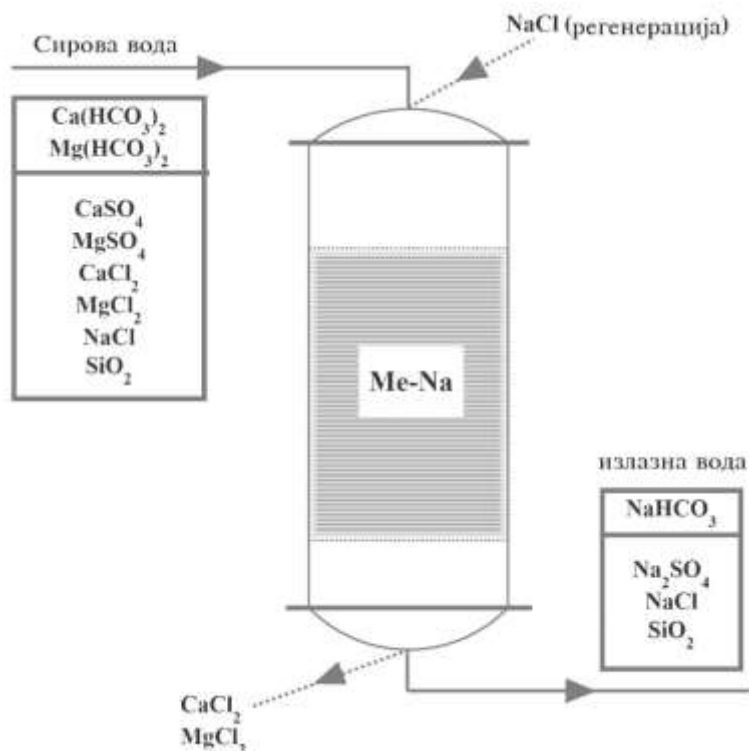
Метода јонске измене се примењује у поступцима обраде природних вода, при чему се могу комбиновати различите јоноизмењивачке колоне (Далмација, Агбаба и Клашња, 2009). Скоро искључиво се користе јоноизмењивачки филтери који су, по начину примене и конструкцији, слични пешчаним филтерима под притиском. Сирова вода се пречишћава јонском изменом да би се извршило:

- директно омекшавање воде,
- декарбонизација воде,
- омекшавање воде са претходном декарбонизацијом,
- деминерализација воде.

#### **• Директно омекшавање воде**

Овим поступком се из воде углавном уклањају јони  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$ , а уместо њих се уводи

јон  $\text{Na}^+$ . Процес се изводи у катјонској колони са натријумом (Me-Na), слика 12.4.



Слика 12.4. Директно омекшавање воде измењивачем катјона у облику натријума

Соли калцијума и магнезијума се преводе у одговарајуће соли натријума, тако да укупна количина соли у води пре и након обраде остаје иста. Вода која излази из постројења је омекшана иако садржи знатне количине соли натријума. Регенерација јоноизмењивачке колоне обавља се раствором кухињске соли ( $\text{NaCl}$ ). Поступак се примењује за припрему воде за етажно грејање, напајање парних котлова нижег притиска и припрему расхладних вода. Уколико се вода омекшава да би се користила за парне котлове, потребно је додатно смањити алкалитет сирове воде, јер би у супротном дошло до стварања  $\text{CO}_2$  и појаве корозије.

#### • Декарбонизација воде

Вода која садржи већу количину хидрогенкарбоната изазива таложење каменца у цевима и уређајима, па је зато потребно извршити декарбонизацију такве воде. Ово се може извести јоноизмењивачима катјона и то:

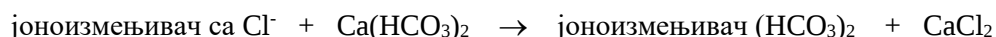
- слабо киселим катјонским јоноизмењивачима,
- јако киселим катјонским јоноизмењивачима и
- директном декарбонизацијом воде анјонским јоноизмењивачима.

Код декарбонизације воде слабо киселим катјонским јоноизмењивачима колона садржи слабо киселу смолу са водониковим јонима ( $\text{Me-COOH}$ ). Јони калцијума и магнезијума из воде истискују водоникове јоне из јоноизмењивача, који се затим неутралишу хидрогенкарбонатним јонима присутним у води дајући слабу угљену киселину. Слабо кисели катјонски јоноизмењивачи имају мали афинитет према

јонима натријума, па уколико је у води концентрација натријум-хидрогенкарбоната већа, оваква декарбонизација није ефикасна.

*Декарбонизација воде јако киселим катјонским јоноизмењивачима* примењује се у случајевима воде која садржи већу концентрацију натријум-хидрогенкарбоната. У ту сврху могу се користити јако кисели катјонски јоноизмењивачи са катјонима  $H^+$ , који се замењују катјонима из воде. Овим јоноизмењивачима могу се „сакупити“ скоро сви катјони растворени у води. На изласку из колоне добија се јако кисела, потпуно декатјонизована вода, која се даље у резервоару меша са одређеном количином сирове воде да би се јаке киселине ( $H_2SO_4$ ,  $HCl$  и друге) неутралисале хидрогенкарбонатима из сирове воде. Добијену воду је потребно даље дегазирати да би се уклонио угљен-диоксид. Недостатак овог поступка је што се мора изводити у кисело-отпорним уређајима, као и издвајање  $CO_2$  у колони.

*Директна декарбонизација воде анијонским јоноизмењивачима* примењује се када је потребно декарбонизовати воду у којој је концентрација хидрогенкарбоната велика (најмање 75% од укупне тврдоће). У ту сврху користе се одређени јоноизмењивачи са јонима хлора чији је афинитет за карбонатне и хидрогенкарбонатне јоне већи од афинитета за јоне хлора<sup>24</sup>:



Након измене јона тврдоћа воде се не смањује, али карбонатна тврдоћа прелази у некарбонатну која не ствара каменац. Овај поступак је финансијски повољан, јер није потребна квалитетна опрема (кисело-отпорна) и уређај за уклањање  $CO_2$ .

#### • Омекшавање воде са претходном декарбонизацијом

Уколико је вода коју треба омекшати алкална, а при томе има велику карбонатну тврдоћу, обрада се може извршити на неколико начина, а то су:

- декарбонизација кречом, а затим омекшавање катјонским јоноизмењивачем који садржи јоне натријума,
- декарбонизација слабо киселим катјонским јоноизмењивачем у водоничном облику, а затим омекшавање јоноизмењивачем катјона који садржи натријум,
- истовремена декарбонизација и омекшавање специјалним јоноизмењивачем.

За извођење првог поступка потребна је једна колона напуњена одговарајућим катјонским јоноизмењивачем који замењује јоне натријума. Други поступак захтева две колоне, и то прву са јоноизмењивачем који мења водоникове јоне, и другу са јоноизмењивачем који мења јоне натријума. Трећи поступак је једноставан јер захтева једну колону са два пуњења, односно два различита јоноизмењивача. Јоноизмењивачка колона садржи две смоле. У горњем слоју се налази смола мање специфичне тежине која је слабо кисела, а у доњем слоју смола веће специфичне тежине, која је јако кисела. Провођењем воде кроз такав слојни филтер у горњем слоју јони калцијума и магнезијума се везују за јоноизмењивач уместо  $H^+$  јона, а у доњем слоју се преостали јони калцијума и магнезијума замењују јонима  $Na^+$  из јоноизмењивача. На тај начин се у истој колони обавља декарбонизација и омекшавање воде. Регенерација колоне прво се обавља хлороводоничном киселином,

<sup>24</sup> Афинитет већине јоноизмењивача према јонима хлора ( $Cl^-$ ) по правилу је већи него према карбонатним ( $CO_3^{2-}$ ) или хидрогенкарбонатним јонима ( $HCO_3^-$ ).

а затим натријум-хлоридом.

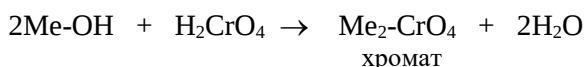
#### • Деминерализација воде

Деминерализација воде подразумева уклањање растворених неорганских супстанци из воде. За овај поступак су потребне две колоне и уређај за одвајање  $\text{CO}_2$ . Прва колона је катјонска и регенерише са  $\text{HCl}$ , а друга је ањонска, а за регенераицију се користи  $\text{NaOH}$ . Међутим, зависно од захтева постројења за деминерализацију воде колоне могу бити и другачије. Ако се захтева вода без и најмањих трагова јонски растворених састојака, постављају се колоне са мешаним измењивачима јона.

#### 12.2.2. Обрада отпадне воде јонским измењивачима

Метода јонске измене се знатно мање примењује код третмана пречишћавања отпадних вода, него код обраде сирове воде (Далмација, 2010). Може се применити за отклањање метала и других наелектрисаних честица код слабо контаминираних отпадних вода, али то захтева већа финансијска улагања. Пречишћавање *отпадне воде која настаје код површинске обраде метала* могуће је вршити методом јонске измене, да би се она могла поново користити у технолошким процесима или за регенераицију и рециркулацију појединих хемикалија. Код поступка површинске обраде метала настају отпадне воде које садрже тешке метале и остатке раствора који су коришћени. Ове отпадне воде су изузетно загађене и токсичне (Јокановић, 2001). Такође, хемикалије које се користе у поступцима обраде метала су скупе, тако да је од економског значаја, да се оне издвоје из отпадне воде и врате у процес.

*Пример:* Код хромирања метала спира се заостали танак слој хромне киселине ( $\text{H}_2\text{CrO}_4$ ). Пречишћавање отпадне воде врши се прво њеним пропуштањем кроз јако кисели катјонски јоноизмењивач да би се уклонили метали (хром и гвожђе). Настала декатјонизована вода се затим пропушта кроз обично слабо базни ањонски јоноизмењивач, у коме се задржава хромна киселина:



Тако настала деминерализована вода може се користити у процесу испирања, а хромат прелази у отпадну воду која се пропушта кроз други катјонски јоноизмењивач где се ослобађа хромна киселина. На тај начин се може у процес вратити и до 99% хромне киселине из пречишћене отпадне воде. Тешки метали који се налазе у испирним водама, након електролитичког наношења, могу се издвојити пропуштањем тих вода кроз катјонски јоноизмењивач. Користе се специјалне јоноизмењивачке смоле (шелирајуће смоле), које карактерише велика селективност, велики афинитет према одређеном јону у присуству других јона сличног наелектрисања. Регенераиција смоле се обавља са одговарајућом киселином. Добијени концентрат може да садржи велике количине више издвојеног метала, који може да се рециркулише у процес. Овакав поступак се највише примењује за рециркулацију никла, бакра, кобалта, цинка, калаја. Јонска измена користи се и код обраде радиоактивних отпадних вода да би се елиминисали радиоактивни елементи, при чему се јоноизмењивачка маса не регенерише већ се замењује новом (Tchobanoglous, Burton, & Stensel, 2003).

#### 12.2.3. Остале примене методе јонске измене за пречишћавање вода

##### • Уклањање амонијака методом јонске измене

Метода јонске измене може се применити за уклањање амонијачног азота (амонијум-јона –  $\text{NH}_4^+$ ). Најпогоднији јоноизмењивач је природни зеолит – клиноптилолит, јер има велики афинитет према амонијум-јонима. При оптималним условима уклања се око 95% амонијачног азота из отпадне воде, под условом да његова концентрација не прелази 20 mg/l. Клиноптилолит се може регенерисати кречом или базама на високим рН вредностима, а у неутралној средини са NaCl. Регенерација базама је бржа, али је недостатак што се при томе таложе калцијум-карбонат и магнезијум-хидроксид који се тешко уклањају. Овај поступак уклањања азота је доста скуп, па се примењује само прималим концентрацијама амонијум-јона и када из неког разлога није погодно користити нитрификацију.

#### • Деманганизација и деферизација воде методом јонске измене

Уклањање мангана и гвожђа из воде може се обавити неорганским катјонским измењивачем (зеолитом). За поступак се користи колона са две врсте испуне. У горњем слоју је смрвљени антрацит као филтрациона маса, а у доњем је јоноизмењивачка маса (зеолит), слика 12.5.



Слика 12.5. Деферизација и деманганизација воде зеолитом

Прво се врши оксидација  $\text{Fe}^{2+}$  и  $\text{Mn}^{2+}$  кисеоником и/или калијум-перманганатом, а исталожени хидроксид и оксид се задржавају у антрацитној филтрационој маси. Евентуално неоксидовани катјони гвожђа и мангана пролазе у доњи део где се механизмом јонске измене везују за зеолит, тако да се на излазу добија деферизована, односно деманганизована вода. Регенерација зеолитне масе може се вишити вишком перманганата, који се убацује у улазну струју воде, пролази кроз антрацитни слој и долази до зеолитне масе.

### 12.3. Аерација

Термин аерација води порекло од латинске речи *aeratio* и дефинише се као снабдевање свежим ваздухом. Аерација се дефинише као процес продувавања ваздуха кроз раствор, а када је реч о пречишћавању вода под аерацијом се подразумева

пречишћавање воде од нечистоћа излагањем ваздуху (Spellman, 2009). Код поступка обраде воде аерација, у ширем смислу, подразумева продувавање неког гаса, не само ваздуха, кроз течну фазу (вода) ради њиховог интензивног контакта и преношења молекула. Аерација се у суштини може сматрати физичком методом, међутим како је основа, односно део поступка без којег се не би могла одвијати флотација, дегазификација, оксидација, биолошка обрада воде и друго, у овом тексту је сврстана у групу физичкохемијских метода.

Пренос гасовите компоненте аерацијом остварује по следећим етапама:

- гас се механички распрашује у виду мехурића или ситних капљица и тиме доводи у непосредан контакт са водом,
- молекули гаса пролазе кроз површину течности,
- молекули гаса се распростиру кроз запремину течности до потпуне засићености.

Гасови који се методом аерацијом преносе из једног у други флуид су углавном неорганске гасовите супстанце:  $O_2$ ,  $CO_2$ ,  $N_2$ ,  $NH_3$ ,  $CH_4$ ,  $H_2S$ , али и поједина испарљива органска једињења.

Поступак аерације се примењује код обраде природних вода ради елиминације супстанци које утичу на органолептичка својства воде за пиће, али и код третмана отпадних вода да би се одстраниле поједине испарљиве неорганске и органске супстанце. У даљем тексту биће наведени неки од поступака пречишћавања воде, где је неопходно применити аерацију.

• Код уклањања гвожђа и мангана, аерацијом се убацује кисеоник ради њихове оксидације и стварања нерастворних једињења, која се таложе, а затим одстрањују. Молекул кисеоника није јако оксидационо средство, па се из тих разлога користи само за оксидацију супстанци које се лако оксидују, при чему се мора водити рачуна да увек постоји довољна количина кисеоника. Поступак се најчешће примењују код обраде природних вода. Када се ради о органским једињењима гвожђа и мангана, потребно је користити јача оксидациона средства, као што су хлор и калијум-перманганат.

• Аерација се примењује и да би се извршила дегазификација воде, односно уклонили непожељни растворени гасови, као што су  $H_2S$  и  $NH_3$  који изазивају непријатан мирис и укус воде, али и гасова чије присуство повећава трошкове даље обраде воде, на пример  $H_2S$  и  $CO_2$ .

Код обраде отпадних вода аерација се знатно шире примењује, на пример:

- Почетном краткотрајном аерацијом отпадне воде повећава се ефикасност даљих третмана, као што су поступци оксидације и таложења. Претходна аерација је посебно корисна када у отпадној води постоји дефицит раствореног кисеоника или код вода са високим садржајем сулфида.
- Аерација ваздухом или воденом паром примењује се ради уклањања испарљивих органских материја из отпадних вода, као што су органски растварачи: дихлорметан, тетрачлоретилен, бензен, толуен, фенол, метанол и други. Ваздух се користи за одстрањивање малих концентрација загађујућих супстанци, док се аерација воденом паром врши код уклањања теже испарљивих материја из отпадне воде, које се тешко уклањају ваздухом. То је далеко скупљи али и ефикаснији метод од коришћења ваздуха, нарочито код

индустријских отпадних вода које треба поново вратити у процес производње или концентрисати ради даље, ефикасније и економичније обраде. Аерација воденом паром примењује се углавном за уклањање: метанола, терпентина, фенола, пестицида, течности за хлађење и слично.

- Уклањање грубог суспендованог материјала из отпадне воде у коморама је знатно ефикасније уколико се примени аерација компримованим ваздухом уз регулацију брзине протока воде. Аерација ваздуха је нарочито значајна код поступка флотације ради уклањања масти и уља, појединих чврстих диспергованих материја или концентровања муља.
- Код биолошке обраде воде, аерацијом се уноси довољна количина кисеоника за метаболизам аеробних микроорганизама, а такође се и аерација врши да би се остварило мешање у биореактору ради ефикаснијег преноса масе и топлоте. Код аерације кисеоником посебно је значајно одржавање оптималне температуре. Уколико је вода хладнија, растворљивост кисеоника је већа, међутим, вода која садржи велику количину кисеоника има корозивно дејство, што проузрокује проблеме у постројењима за третман воде.

Сам поступак аерације воде обавља се у различитим *аерационим системима*, а неки од њих су: гравитациони аератори, спреј аератори, аератори са удувавањем ваздуха, механички аератори, млазни аератори и други. Гравитациони аератори се углавном примењују за пречишћавање воде за пиће, најчешће за уклањање амонијака. Спреј аератори се примњују само код пречишћавања воде за пиће и код њих се вода распршује у виду финих капи у ваздуху, стварајући велику међуповршину између ваздуха и воде. Код аератора са удувавањем ваздуха помоћу компресора удувава се ваздух у воду кроз отворе, порозне цеви или плоче. Механички аератори стварају велику турбуленцију на површини воде чиме повећавају међуповршину додира ваздуха и воде, слика 12.6. У новије време за прераду отпадне воде примену имају млазни аератори.



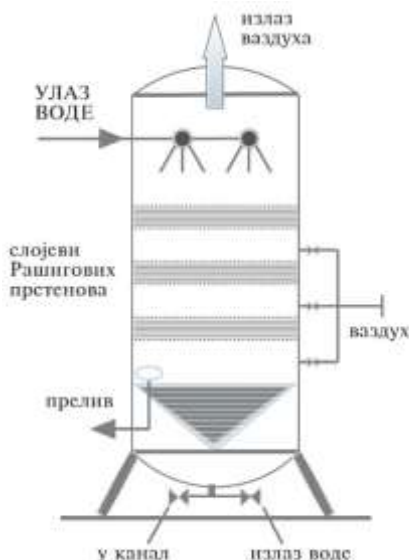
Слика 12.6. Принцип рада механичког аератора

У наредном тексту дате су неке од примена методе аерације.

#### • Уклањање угљен-диоксида

Значајан проблем у водоводној мрежи, резервоарима и другим постројењима представља присуство соли калцијум- и магнезијум-хидрогенкарбоната, који могу довести до стварања кречњачких наслага. Да би се то спречило вода мора да садржи

одређену количину слободног угљен-диоксида<sup>25</sup>. Количина  $\text{CO}_2$  која је потребна да би се хидрогенкарбонати одржали у раствору назива се *припадајући угљен-диоксид*. Међутим,  $\text{CO}_2$  у количини већој од потребне, се назива *агресиван угљен-диоксид* и изазива додатне проблеме, јер доводи до корозије метала. Вишак угљен-диоксида (агресивни  $\text{CO}_2$ ) је потребно уклонити из воде да не би дошло до појаве корозије. Уклањање  $\text{CO}_2$  из воде се може остварити аерацијом ваздуха у дегазаторима. То подразумева стварање непосредног контакта ваздуха и воде у дегазатору. Да би се обезбедила већа додирна површина вода се обично распрашује у виду млаза или се ствара више-степени пад воде – каскаде. Одговарајући гас – ваздух се уводи преко постављених порозних тела – дифузора. Улога гаса који се уводи је да из воде преузме – апсорбује одговарајућу количину  $\text{CO}_2$  (агресивни  $\text{CO}_2$ ). Тиме се одстрањује вишак  $\text{CO}_2$  који може да оштети уређаје и проузрокује додатне трошкове. Ова комбинација аерације и апсорпције се такође може применити и за уклањање гасова који стварају непријатан мирис и укус воде, као што је случај са водоник-сулфидом, метаном и другим.



**Слика 12.7.** Дегазатор у облику торња пуњен Рашиговим прстеновима за уклањање угљен-диоксида из воде помоћу ваздуха

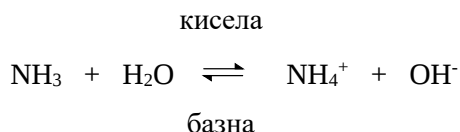
Конструкција дегазатора је различита: дегазатори могу бити у облику торња са различитим пуњењем, са барботажним колонама<sup>26</sup>, вакуумски дегазатори и други. На слици 12.7. приказан је дегазатор у облику торња пуњен керамичким Рашиговим прстеновима, али се могу користити и дрвени опилци, пластична маса или други материјали, чија је намена повећање додирне површине између воде која се слива низ пуњење и гаса (ваздуха) који се убацује.

#### • Уклањање амонијака

<sup>25</sup> Угљен-диоксид се у води на рН мањој од 4,5 највећим делом налази као растворени гас, али, уколико је рН вредност изнад 8,5, сва количина овог гаса се јонизује. Везани угљен-диоксид је онај који се налази у облику карбоната или хидрогенкарбоната.

<sup>26</sup> Барботирање је процес аерације где се мехурићи ваздуха пропуштају кроз текућу подлогу.

Сирове комуналне отпадне воде, отпадне воде прехранбене индустрије и друге отпадне воде које садрже азот или су подвргнуте поступку биолошког пречишћавања садрже и већу количину амонијака.<sup>27</sup> Из таквих отпадних вода је неопходно уклонити што већу количину амонијака и омогућити безбедно уливање отпадне воде у реципијент. Једна од могућности уклањања амонијака је примена методе аерација, односно продувавања ваздухом („*stripping*“ - стрипинг ваздухом). Овим поступком се из отпадне воде може уклонити само нејонизовани амонијак ( $\text{NH}_3$ ), јер у процесу преноса гасова не учествује амонијум-јон ( $\text{NH}_4^+$ ). Постојање јонизованог или нејонизованог облика амонијака зависи од рН вредности средине, а равнотежна реакција се приказује једначином:

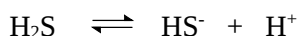


Равнотежа реакције се помера скоро сасвим у лево (у правцу стварања  $\text{NH}_3$ ) уколико је рН вредност вода већа од 11. Отпадне воде у којима се амонијак налази у јонизованом облику,  $\text{NH}_4^+$  (кисели или неутрални раствори), морају се алкалисати до рН = 11, што се најчешће изводи додавањем креча, као јефтиног и природног материјала. Након тога се растворени гас амонијак, уклања. Десорпција амонијака из отпадне воде остварује се продувавањем (аерацијом) ваздуха, при чему се амонијак из течне фазе преноси у гасовиту фазу, односно из воде у ваздух, као последица разлике њихових концентрација.



Поступак се обавља у посебним гравитационим аераторима, односно кулама за стрипинг амонијака. Након извршеног процеса потребно је урадити корекцију рН вредности воде на око 7, што се најчешће постиже удувавањем  $\text{CO}_2$ . Недостатак овог процеса је утрошак велике количине ваздуха, што захтева уградњу компресора и апарата за распрашивање ваздуха, чиме се додатно поскупљује процес. Такође, да би се спречило загађивање околине амонијаком потребно је да се ваздух из постројења ослободи амонијака у посебним уређајима пре испуштања. Стога се овај поступак ретко користи за пречишћавање комуналних отпадних вода.

Сличан поступак се може применити и за уклањање водоник-сулфида раствореног у води. Тада се врши закишељавање воде чиме се равнотежа дисосованог и недисосованог облика помера ка недисосованом гасу ( $\text{H}_2\text{S}$ ):



<sup>27</sup> Амонијак се у отпадним водама јавља као последица анаеробних услова и процеса метанског врења азота. У води природног пријемника амонијак се оксидује до нитрита што представља опасност за живи свет реципијента.

Продување гаса врши се воденом паром. Уклањање водоник-сулфида из вода се може остварити уношењем кисеоника аерацијом. Међутим, како је водоник-сулфид отровна супстанца потребно је предузети посебне мере заштите, нарочито уколико је присутан у високој концентрацији. Уколико вода поред  $\text{H}_2\text{S}$  садржи и  $\text{CO}_2$ , потребно је прво уклонити  $\text{CO}_2$  који је мање растворан у води. Једна од могућности уклањања  $\text{H}_2\text{S}$  је увођење ваздуха са повећаним садржајем  $\text{CO}_2$  и одговарајуће рН вредности воде (Tchobanoglous, Burton, & Stensel, 2003).

## 12.4. Адсорпција

Метода адсорпције примењује се у поступку пречишћавања воде да би се уклониле растворене загађујуће супстанце које су присутне у релативно малој концентрацији, и које се другим поступцима не могу уклонити, односно када је уклањање економски неповољно. Сама физичкохемијска метода адсорпције представља концентрисања честица неке супстанце на површини или на површинском слоју неке друге чврсте супстанце. Процес адсорпције је брз, селективан и повратан. Супротан процес адсорпцији је *десорпција*. Ова два процеса одвијају се истовремено и успостављају стање динамичке равнотеже која се назива *адсорпциона равнотежа* (Стојановић и Голубовић, 2014).

Процес адсорпције треба разликовати од процеса апсорпције<sup>28</sup>. Супстанца која врши адсорпцију назива се *адсорбент* или *адсорбент*, а она која се адсорбује је *адсорбат*. Да би нека материја била адсорбент мора да задовољи одговарајуће услове, односно да има одговарајући степен порозности и капацитет адсорпције, што се дефинише као *адсорпциона моћ*. Адсорбент је бољи што је његова површина порознија, а самим тим већа слободна површина. Приликом пречишћавања воде, до адсорпције долази приликом контакта адсорбента са водом коју треба пречистити, при чему се из воде уклањају нежељене материје. Степен и брзина адсорпције су индивидуални за сваки од адсорбата, а зависе од његове релативне концентрације у води, од сила адсорпције, величине молекула и друго.

Као адсорбенти се могу користити разне глине, магнезијум-оксид, коштани угаљ и друго. Активни угаљ је један од најбољих адсорбената, финансијски је прихватљив па се најчешће и користи у технологији пречишћавања вода (Кемер, 2005). То је посебно припремљен угаљ велике порозности, односно велике специфичне површине. За производњу активног угља користе се различити материјали, као што су угаљ, дрво, тресет, орахова љуска. У поступку активације настаје сложена мрежа шупљина (пора) различитих пречника, које заједно стварају велику унутрашњу површину за адсорпцију. Како активни угаљ има велику површину по јединици масе, то се може употребљавати за адсорпцију различитих молекула, па се сматра неселективним адсорбентом. Стога, се за праћење ефекта адсорпције обично користе неспецифичне анализе као што су: ВРК, НРК, ТОС и друге, којима се обухвата укупна анализа различитих органских материја.

Када се достигне капацитет адсорпције односно, када су адсорпциона места засићена, потребно је извршити *регенерацију адсорбента*. Методом адсорпције активним угљем из воде могу се уклонити органске материје које утичу на мирис, укус и боју воде (фенолна једињења, хуминске супстанце), али и токсична органска једињења, као што

<sup>28</sup> Апсорпција подразумева упијање супстанци у (унутар) чврста или течна тела.

су пестициди, трихлорметани, ароматични угљоводоници и друга. Активни угаљ није погодан за уклањање већине неорганских материја, осим живе, олова и водоник-сулфида. Најчешће коришћени активни угаљ је у облику праха и гранула.

*Прашкasti активни угаљ* се додаје директно у воду, уз мешање ради бољег контакта. Након адсорпције угаљ се накнадно таложи у базене за избистравање воде. Овај третман се углавном користи да би се отклониле супстанце које води дају непожељну боју, мирис и укус.

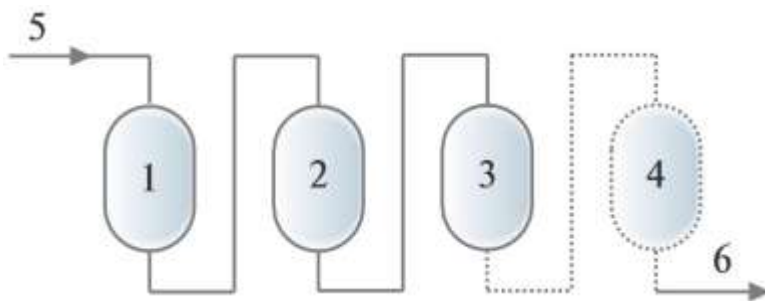
*Гранулисаним активним угљем* се пуне колоне, којима се поред адсорпције може вршити и филтрирање. Након достизања капацитета адсорпције, колону је потребно регенерисати хемијским или термичким третманом (грејањем на 952 °C у атмосфери ваздуха и водене паре, при чему се оксидују органске материје). Гранулисани активни угаљ има значајну примену за уклањање вишка хлора из воде, без обзира да ли се ради о хлору употребљеном за дезодорисање воде, или о активном хлору заосталом након дезинфекције воде. У овом поступку истрошени филтер се не регенерише, већ се баца и замењује новим. У новијој технологији вода као адсорбенти примењују се јоноизмењивачке синтетичке смоле које се једноставно регенеришу, али је такав поступак знатно скупљи.

Поступци адсорпције који се данас најчешће примењују су:

- шаржна адсорпција,
- континуална адсорпција.

*Шаржна адсорпција* је дисконтинуални поступак где се као адсорбент користи искључиво активни угаљ у праху. Поступак је да се одређена количина адсорбената – угља меша са водом у суду (шаржном адсорберу). Оптимално време трајања шаржне адсорпције се претходно одређује експериментално, а након завршене адсорпције раздваја се адсорбент од воде таложењем или филтрацијом. Предност поступка је у томе да се може користити већ постојећа опрема (таложник, филтер), односно да се пречишћавање адсорпцијом може уклопити у постојеће поступке пречишћавања, а искоришћени активни угаљ се издваја на постојећем таложнику или у филтеру. Међутим, шаржну адсорпцију карактерише недовољна искоришћеност адсорбената. За боље искоришћавање адсорбента може се применити поступак двостепене шаржне адсорпције, где свеж адсорбент долази у контакт са претходно обрађеном водом (I степен), а након завршене адсорпције делимично засићени адсорбент се доводи у контакт са необрађеном водом (II степен).

*Континуална адсорпција* се обично користи за уклањање загађујућих супстанци из веће количине воде. Поступак је такав да отпадна вода улази сукцесивно у више торњева, напуњених адсорбентом за пречишћавање (активни угаљ или друго адсорпционо средство), који се могу повезивати серијски или паралелно. Скица поступка приказана је на слици 12.8.



**Слика 12.8 .** Скица система пречишћавања воде на активном угљу. 1.2.3. – редни бројеви торњева у процесу; 4 – торањ на регенерацији; 5 – улаз воде за пречишћавање; 6 – излаз пречишћене воде

Предност овог поступка је што се за време рада постројења може вршити и регенерација адсорбента у колони, при чему се она тренутно искључује из процеса, али то не умањује ефикасност пречишћавања јер се у осталим колонама врши пречишћавање. Бројност колона – торњева са адсорбентом омогућава максималну елиминацију загађујућих супстанци, односно максимално пречишћавање воде, а да при томе није потребно правити паузу за регенерацију колона.

У даљем тексту наведени су неки од примера примене метода адсорпције:

#### • Уклањање бионеразградивих органских материја адсорпцијом

Процес адсорпције на активном угљу се може применити за уклањање бионеразградиве органске материје. Под бионеразградивом органском материјом подразумева се органска материја која се не може разградити секундарним биолошким процесом (применом микроорганизама). За њихово уклањање из воде поред адсорпције на активном угљу, која се највише примењује, може се применити и хемијска оксидација и пречишћавање земљиштем. Након процеса адсорпције концентрација преосталих органских материја износи обично 10 – 20 mg НРК/л, односно 2 – 7 mg ВРК/л. Уколико се примењује активни угаљ, треба имати на уму да он слабо адсорбује поларне органске материје малих молекулских маса, па у том случају треба применити *биолошки активан* угаљ. За уклањање преостале органске материје може се применити поступак хемијске оксидације, чија је предност истовремена дезинфекција (најчешће се користи хлор или озон).

## 12.5. Екстракција

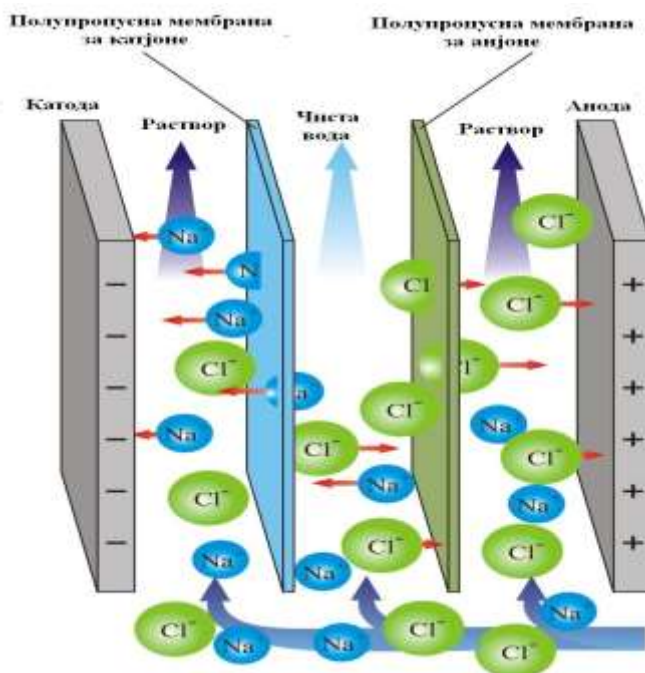
Обрада воде екстракцијом примењује се ради уклањања фенола, масних киселина, анилина и других органских примеса мале растворљивости из воде (Гаћеша и Клашња, 1994). Екстракција се врши органским растварачима (екстракционо средство) у којима се поменута једињења добро растварају. Једнократна екстракција, углавном није ефикасна, па се поступак мора више пута понављати. Такође, може се користити једано екстракционо средство, али се у пракси углавном примењује смеша растварача, односно екстракционих средстава. Они се међусобно не мешају, али су растварачи за поједине течне компоненте воде, које се распоређују у њима у зависности од степена растворљивости.

Екстракциона способност растварача дефинише се *коефицијентом расподеле*<sup>29</sup>, који зависи од: концентрације и хемијске природе растворене супстанце у води, температуре, хемијске природе екстракционог средства. Најповољније је оно екстракционо средство које има највећи коефицијент расподеле и малу растворљивост у води. Најчешћу примену имају органски растварачи који се не мешају са водом, као што су бутил-ацетат, етил-ацетат, бензол, минерална уља, угљен-тетрахлорид и други. Ради ефикаснијег процеса екстракциона средства се дозирају у ситно диспергованом стању. Цео процес се обавља у екстракторима. После екстракције растворена супстанца се од екстракционог средства одваја дестилацијом. Регенерисано екстракционо средство се поново може користити, а екстрахована супстанца се враћа у процес или се уништава. Методом екстракције из воде се уклања 90% органске супстанце. Екстракција се као сепарациони поступак може применити и за одвајање јона метала, при чему се водена фаза која садржи јоне метала доводи у контакт са органском фазом у којој је растворено екстракционо средство. Метали граде комплекс са екстракционим средством стварајући метало-органска једињења.

## 12.6. Електродијализа

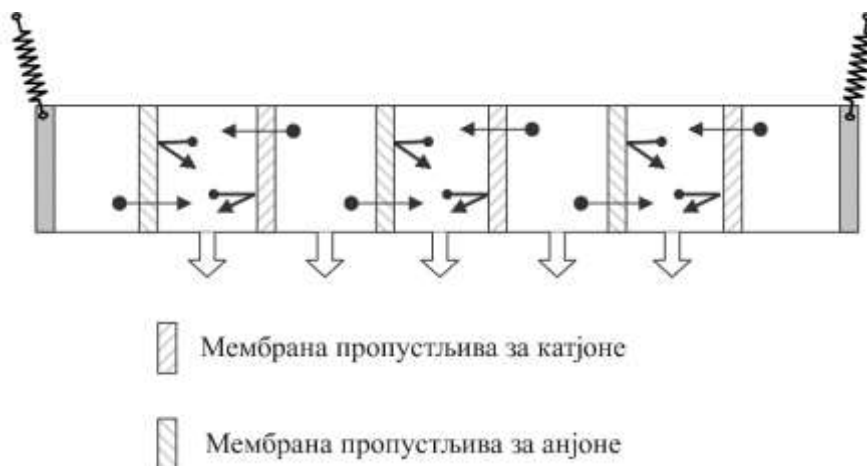
Најшира дефиниција електродијализе је да је то процес дијализе убрзан деловањем електричног поља. Електродијализа је процес електрохемијског мембранског одвајања код ког јони пролазе кроз селективну јоноизмењивачку мембрану из једног раствора у други под дејством електричног поља. Ова метода заузима значајно место код пречишћавања вода од јонских нечистоћа, због могућности издвајања јона из воде у виду концентрованих раствора (Ghyselbrecht et al., 2013). Уклањање растворених јонских супстанци из воде, углавном се врши методом јонске измене. Међутим, уколико су концентрације соли у води велике, поступак је неекономичан, јер се користе велике количине јоноизмењивача и средства за регенерацију колона. Стога је поступак електродијализе прихватљивији, нарочито уколико је потребно само смањити концентрацију растворених соли, а не потпуно их уклонити. Електродијализа се може применити као прва фаза деминерализације воде са великом концентрацијом соли, која се припрема за јонску измену. За извођење електродијализе користи се ћелија (суд) чији су крајеви супротно наелектрисани, што утиче да се катјони и анјони крећу у супротном смеру, слика 12.9. Ћелија је подељена у мање делове мембранама, које су пропустљиве само за катјоне, односно само за анјоне. Ближе катоди је полупропустљива мембрана само за катјоне, док је на другом крају, ближе аноди, друга полупропустљива мембрана само за анјоне. Таквим распоредом мембрана и наелектрисања, ћелија је подељена на три дела. Дејством електричног поља убрзава се путовање позитивних и негативних јона кроз мембрану ка катоди, односно аноди. У делу поред катоде накупља су катјони, а у делу поред аноде анјони, тако да водени раствор садржи све мању количину соли (јона). Производ процеса је обрађена вода у којој је концентарција соли смањена до одговарајуће вредности.

<sup>29</sup> Коефицијент расподеле представља однос концентрације екстраховене супстанце у екстракционом средству и у очишћеној води у стању равнотеже  $k = C_e/C_v$



Слика 12.9. Раздвајање јона електродијализом

У пракси се ћелије не праве само са две мембране, већ се наизменично поставља већи број катјонских и анјонских мембрана, слика 12.10.



Слика 12.10. Шематски приказ ћелије за електродијализу

Постројења за електродијализу могу радити дисконтинуално и континуално. Потрошња електричне енергије зависи од количине соли у сировој води (већа количина соли захтева и већу потрошњу енергије). Методом електродијализе може се добити прерађена вода из које су одстрањене растворене соли, уколико сирова вода садржи до 4% растворених соли. Међутим, таква деминерализација воде је превише скупа. Зато се електродијализом третирају сирове воде у којима је укупан садржај соли у границама 2 – 10 mg/l (0,2 – 1 %), а обрађена вода садржи око 0,5 g/l растворених соли. Недостатак електродијализе доводи до стварања велике количине концентрата,

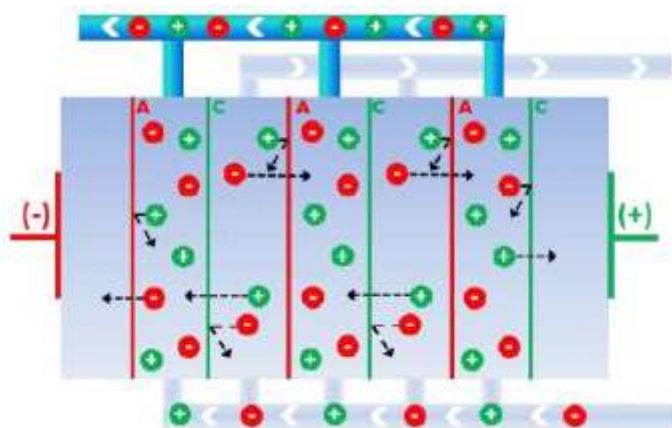
који се обично баца у отпадну воду. Међутим, у неким случајевима он се може употребити као „вештачка“ минерална вода (Tchobanoglous, Burton, & Stensel, 2003).

## 12.7. Електродијареа

Поступак пречишћавања воде методом електродијареа базира се на принципу јонске измене, с тим што се регенерација колона врши континуално без заустављања процеса што је случај код колона са јонским измењивачима. Поступак регенерације колоне врши се помоћу  $H^+$ , односно  $OH^-$  јона електролитички генерисаним на електродама (аноде, катоди), које су уроњене у раствор. Тако створени јони под утицајем електричног поља путују ка супротно наелектрисаној електроди ( $H^+$  ка катоди,  $OH^-$  ка аноди). На том путу наилазе на колоне са измењивачима јона из којих потискују везане катјоне, односно анјоне, настале у току процеса јонске измене. Тиме се врши регенерација колоне без употребе хемијских средстава и заустављања процеса јонске измене.

Овај поступак се изводи у правоугаоном суду, који је подељен на:

- катјонски део где је електрода (анода) за генерисање  $H^+$ , затим катјонске селективне полупропустљиве мембране и катјонска јоноизмењивачка колона и
- анјонски део са катодом за генерисање  $OH^-$  јона, анјонским селективним полупропустљивим мембранама и анјонском измењивачком колоном, слика 12.11.



Слика 12.11. Шема измене јона у колони

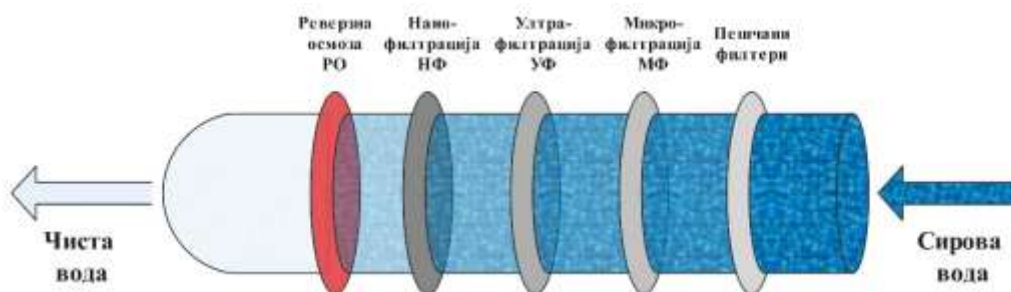
Сирова вода се уводи у колону са катјонском јоноизмењивачком масом одозго и кроз њу струји према доле, при чему се обавља везивање катјона на колони. Са дна те колоне добијена декатјонизована вода се одводи у колону са анјонском масом, где се врши јонска измена. На изласку се добија деминерализована вода. Генерисани  $H^+$  јони регенеришу катјонску колону потискујући катјоне из јоноизмењивачке масе, а генерисани  $OH^-$  регенеришу анјоне у анјонској колони. Елиминисани катјони и анјони из колона се потискују до треће такозване „соне колоне“ где настаје концентрат соли. Ова колона се налази у средини суда, а након засићења се баца. На овај начин врши се јонска измена по колонама, а њихова регенерација се обавља  $H^+$  и  $OH^-$  јонима без употребе хемикалија. Постројењу нису потребни додатни судови за припрему средстава за регенерацију јоноизмењивачких маса, чиме се избегавају еколошки

проблеми везани за неутрализацију истрошених раствора од регенерације и њихово испуштање. Ипак, применом ове методе се не добија потпуно деминерализована вода (Tchobanoglous, Burton, & Stensel, 2003).

## 12.8. Филтрација

Метода филтрације се примењује у технологији пречишћавања воде да би се из ње уклониле суспендоване материје. Поступак се изводи провођењем воде кроз порозне медијуме. Филтрациони поступак може се применити у различитим фазама пречишћавања воде. Користи се код претходног, односно примарног пречишћавања сирове воде за уклањање грубог материјала. То је најједноставнија примена филтрационог поступка и назива се груба филтрација или цеђење, о чему је детаљно било речи у поглављу о механичким методама пречишћавања воде. Међутим, филтрација се често примењује заједно и са другим методама пречишћавања воде. Тако се филтрацијом уклања фин нерастворни материјал или секундарно формиране флокуле из воде, затим се филтрацијом може смањити присуство микроорганизама, или се може примени код извођења одређених хемијских реакција у поступку пречишћавања воде (Tchobanoglous, Burton, & Stensel, 2003). Основни принцип уклањања суспендованих материја из воде филтрацијом састоји се у пропуштању воде кроз порозни филтрациони материјал, при чему долази до раздвајања фаза *филтрата* и *чврсте фазе*. Под филтратом се подразумева течна фаза која је ослобођена чврсте фазе и која је прошла кроз филтер. Чврсту фазу чине суспендоване честице из воде издвојене на филтрационом материјалу. Одабир филтрационог материјала и техничког решења филтрације зависи од захтева обраде воде. У зависности од потребе, процесом филтрације се из воде могу уклонити честице различитих димензија. Према величини честица које се уклањају, разликујемо:

- макрофилтрацију и
- мембранску филтрацију, односно: микрофилтрацију, ултрафилтрацију, нанофилтрацију и реверзну осмозу, слика 12.12.

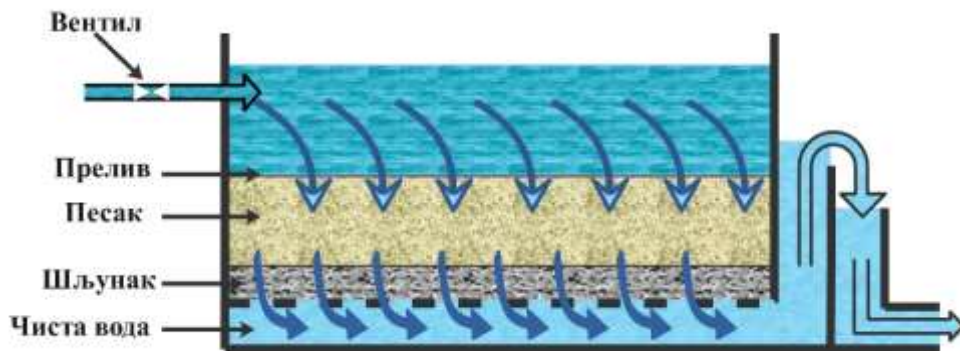


Слика 12.12. Поступак филтрације сирове воде

### 12.8.1. Макрофилтрација

Макрофилтрацијом се из воде уклања нерастворни материјал, чије су честице веће од 10  $\mu\text{m}$ . Поступак се углавном користи за бистрење воде код припреме воде за пиће, чиме се уједно побољшава њен мирис и укус. Такође, код третмана отпадне воде макрофилтрацијом се уклањају суспендоване материје, смањује се ВРК и друго (Правилник о опасним материјама у водама, 1982). Процес филтрирања се изводи на

тај начин што вода пролази кроз филтрациони слој од зрнастог материјала постављеног на одговарајућу подлогу. Суспендоване честице се задржавају на филтрационом слоју или продиру у зрнасту структуру до различите дубине. Честице које се на већој или мањој дубини налазе у филтрационом слоју задржавају се под утицајем: електростатичког привлачења, Ван дер Валсових сила, гравитационих сила или хемијске адсорпције. Из изложеног се може закључити да је процес филтрације сложен и да на ток филтрације утичу разни физичко-хемијски фактори. Из воде која пролази кроз филтрациони материјал се одстрањује највећа количина суспендованих и колоидних материја, поједине бактерије и планктони, вода се бистри, уклања се боја и мирис воде (70-80%), а смањује се и њен непријатан укус. Као филтрациони материјал најчешће се користи песак<sup>30</sup>. Посебно ефикасни, али зато доста скупљи, јесу филтери са активним угљем, који се примењују претежно за уклањање органских материја из воде. Иако је ово једноставна метода пречишћавања воде важно је правилно одржавање филтера, њихово испирање и регенерација. Најједноставнији уређаји за макрофилтрацију је отворен или затворени суда у коме се налази филтрациони материјал, отвор за улаз воде коју треба пречистити и други отвор где излази пречишћена вода, слика 12.13.



Слика 12.13. Шематски изглед колоне од песка и шљунка као филтрационим материјалом

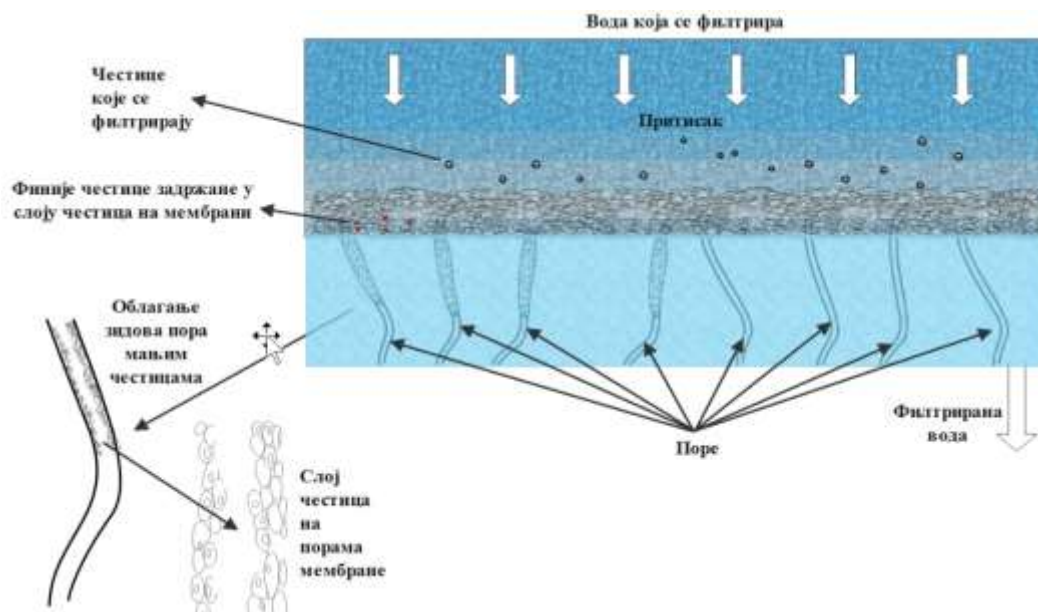
Пешчани филтери који су најчешће у употреби су: спори или брзи гравитациони филтери, дијатомејски филтери и други. *Спори пешчани филтери* се користе за бистрење воде која није хемијски третирана. Филтрациони материјал је од песка или шљунка, а простор изнад се тако димензионише да омогућава задржавање воде 3 до 15 h. Слој воде изнад песка износи 0,90-1,20 m, а брзина филтрирања је 0,1-0,4 m/h (око 2-10 метра по дану). Због мале издашности користи се за водове са мањим бројем потрошача. Ефикасност ових филтера је задовољавајућа, а уколико се врши и хлорисање воде, ефекат пречишћавања је значајно већи. *Брзи пешчани филтери* су знатно бржи у раду од претходних (око 40 пута). Филтрациони материјал је крупнији него код спорих филтера. Задржавање воде изнад филтрационог материјала је 10-20 минута, а у самом материјалу 5-10 минута. Чишћење филтера врши се 1-2 пута дневно, користећи обратни ток воде (одоздо на горе). Ефикасност пречишћавања није задовољавајућа, јер се њиме одстрани знатно мање бактерија. *Дијатомејски филтери* се користе за потребе мањег броја потрошача, у војсци, за пречишћавање воде у рекреативним базенима итд. У затворене челичне цилиндрице се поставља дијатомејска,

<sup>30</sup> Сам развој филтрационе технике у припреми воде започео је са пешчаним филтерима, а са поопштравањем критеријума за бољи квалитет воде развијале су се и технике филтрације.

инфузоријска земља, која служи као филтрациони материјал. (Tchobanoglous, Burton, & Stensel, 2003).

### 12.8.2. Мембранска филтрација

Развојем технологије, последњих двадесет година мембранска филтрација заузима значајно место у поступку пречишћавања воде (Далмација, Агбаба и Клашња, 2009; Далмација, 2010). Сам поступак подразумева потискивање течности кроз полупропустљиву мембрану, при чему се као погонска сила користи хидростатички притисак. Погонска сила може бити и електрични потенцијал, као што је случај код електродијализе, или градијент притиска-первапорација. Међутим, у пракси се углавном користи мембранска филтрација чија је погонска сила притисак, па ће зато у овом делу о томе и бити говора. Уклањање материја мембранском филтрацијом је сложен процес који зависи од више физичких и хемијских параметара, као што су облик честица, електростатички набој, могуће интеракције између мембране и материја и друго. У основи то је процес који се базира на механизму просејавања, али се додатно знатно усложњава стварањем секундарне мембране и адсорпцијом честица у току процеса (слика 12.14.).



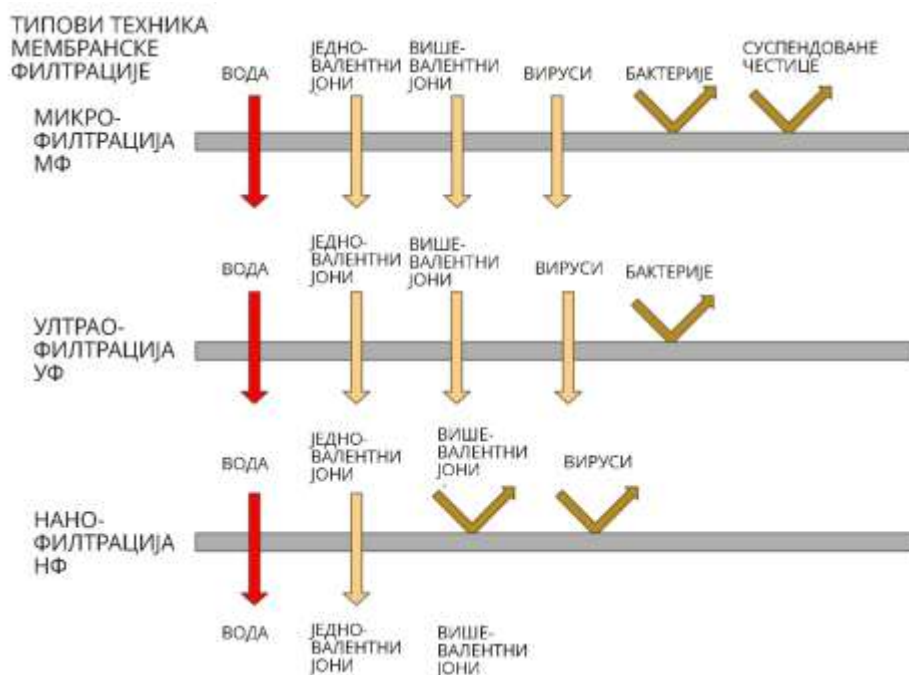
Слика 12.14. Механизам уклањања супстанци из воде из воде која се третира методом мембранске филтрације

Секундарна мембрана настаје од честица пречника већих од пречника пора мембране, које се задржавају на површини мембране, стварајући слој који се понаша као нови филтрациони слој. Такође, поједине мале честице, које су у току просејавања ушле у поре и шупљине мембрана, могу се адсорбовати за њихове зидове, стварајући облоге, чиме се пресек самих шупљина смањује

Идеално просејавање огледа се у уклањању сваке материје чији је пречник већи од пречника пора мембране. Међутим, у пракси, услед поменутих ефеката то није случај. Из свега наведеног може се очекивати да ће мембрана задржати и честице мањих димензија од пречника пора мембрана, али и пропуштати део већих материја од

номиналног пречника пора, као што је дато на слици 12.14.

Мембрански материјали који се користе израђени су од деривата целулозе, полипропилена, најлона, тefлона, керамике и другог. Мембрански филтери су веома мале дебљине. Садржај који се задржи на филтеру приликом пропуштања воде назива се *ретенат*, а онај који прође кроз филтер је *пермеат*. Основна карактеристика мембрана је ретенција и граница пропустљивости. Ретенција представља количник концентрације материје која се уклања у пермеату и њене концентрације у води која се пречишћава. Граница пропустљивости се односи на молекулску масу најмањих молекула који се задржавају на полеђини мембране. Технички проблем мембранске филтрације се углавном односи на оштећења. Када се мембрана запрља, процес филтрације се зауставља и мембрана се чисти. У зависности од параметара пропустљивости мембране разликују се следеће мембранске филтрације: микрофилтрација (МФ), ултрафилтрација (УФ), нанофилтрација (НФ) и реверзна осмоза или хиперфилтрација (РО), слика 12.15.



Слика 12.15. Ефекти различитих техника мембранске филтрације

### • Микрофилтрација

Микрофилтрацијом се уклањају честице веће од  $0,1-10 \mu\text{m}$ . Овим поступком се из воде одстрањују суспендоване и колоидне честице одговарајуће величине, бактерије, али се не уклањају растворене честице у облику јона или молекула и вируси. Филтрација се обавља релативно брзо, око  $1-3 \text{ m/s}$ , под ниским до умереним притиском од око  $0,1-0,5 \text{ MPa}$ . Микрофилтрација првенствено има примену код производње пића (газираних сокова, филтрације пива и вина), индустрији прераде млека, за раздвајање уља и воде, али и код појединих етапа секундарног третмана отпадне воде. Примењује се и у процесу пречишћавања површинских и подземних вода, ради припреме за пиће, да би се уклониле суспендоване и колоидне дисперговане честице, за одстрањивање микроорганизама и дезинфекцију воде, код поступка бистрења воде и друго.

### • Ультрафилтрација

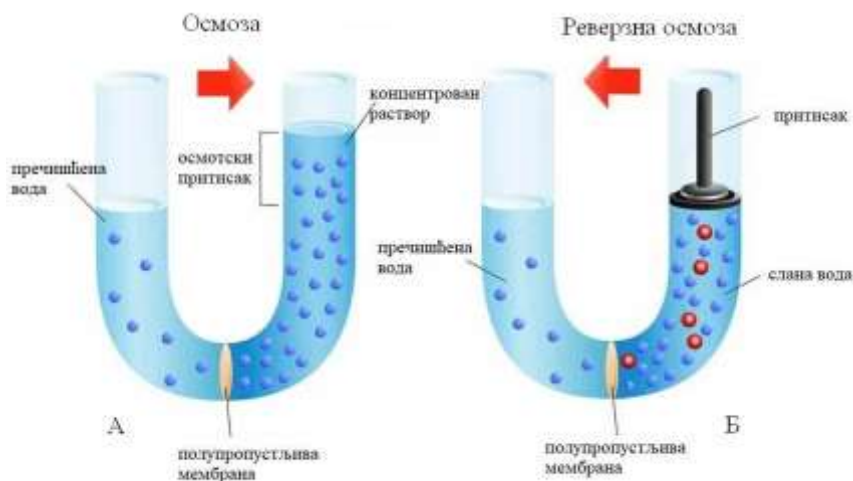
Ультрафилтрацијом се издвајају честице величине  $0,01\text{--}0,1\ \mu\text{m}$ . У технологији пречишћавања воде поступак ультрафилтрације се примењује ради уклањања вируса (поливируси, вирус хепатитиса), бактерија, али и колоидних честица и протеина. Примена поступка ультрафилтрације је ограничена због високих трошкова који настају услед задржаности мембране и потребе њеног честог чишћења или замене. Да би се ублажили трошкови пожељно је урадити претретман воде. Ультрафилтрација се примењује као претретман и додатни третман у припреми воде за фармацеутску и прехранбену индустрију. Такође, овај поступак се примењује за обраду морске воде, површинске воде и биолошки третиране градске воде.

### • Нанофилтрација

Нанофилтрација је савремен процес микрофилтрације којим се уклањају све честице чије су димензије веће од  $0,001\text{--}0,01\ \mu\text{m}$ . Овом филтрацијом се уклања део растворених материја молекулске масе веће од  $400\text{--}500\ \text{Mw}$ , растворене неорганске соли са једновалентним анјоном, као што су натријум-хлорид, калцијум-хлорид (20-80%) и са двовалентним анјонима, магнезијум-сулфат и калцијум-карбонат (90-98%). Овај тип мембранске филтрације се у одређеним случајевима може користити и за уклањање полутаната из воде, као што су пестициди, арсен, нитрати, али су поступци економски неповољни

### • Реверзна осмоза

Метода реверзне осмозе, или како се често назива повратна осмоза или хиперфилтрација примењује се у поступку пречишћавања воде ради уклањања неорганских минералних материја, соли, јона и осталих нечистоћа. Уопштено се може рећи да се реверзном осмозом уклањају све растворене материје. Реверзна осмоза је процес супротан процесу осмозе, слика 12.16.



Слика 12.16. Шема процеса осмозе (А) и реверзне осмозе (Б) (модификовано према Spellman, 2019)

До осмозе долази само онда када су полупропустљивом мембраном одвојени раствори различитих концентрација, при чему растварач прелази из раствора мање концентрације у раствор веће концентрације кроз полупропустљиву мембрану

(Стојановић и Голубовић, 2014). Односно, уколико се између два раствора различитих концентрација постави полупропустљива мембрана, долази до дифундовања молекула растварача из раствора мање концентрације ка раствору веће концентрације, слика 12.16.А. Током процеса осмозе уочава се постепено повећање запремине раствора веће концентрације у односу на раствор мање концентрације, а самим тим и појаве притиска – *осмотски притисак*. Поступак пречишћавање воде огледа се у томе што се процесу осмозе подвргавају непречишћена и чиста вода, при чему се осмотски притисак јавља у делу са непречишћеном водом. Када се на непречишћену воду делује притиском већим од осмотског притиска (смањује се осмотски притисак) настаје процес супротан осмози, односно реверзна осмоза. Кроз полупропустљиву мембрану сада пролазе молекули воде из простора са непречишћеном водом у простор са чистом водом док, молекули и јони остају, јер не могу да прођу мембрану, слика 12.16.Б. Реверзном осмозом се најчешће добија 75 – 80% пречишћене воде и 20 – 25% непречишћене, отпадне воде са повећаном концентрацијом супстанци, која се мора даље обрадити. Ако концентрат има погодан састав, може се употребити као минерална вода.

Мембрана за реверзну осмозу мора бити што је могуће тања (обично је дебљине око 1  $\mu\text{m}$ ). Пошто се тако танка мембрана механички лако оштећује, поставља се тако да „лежи“ на носачу мембрана. Квалитет мембране значајно утиче на ефикасност и капацитет реверзне осмозе. Мембране се углавном израђују од пластичних маса као што су ацетат целулозе и полиамид. Ацетатне мембране су јефтиније и углавном су отпорне према оксидационим средствима (хлор из хлорисане воде), међутим, погодна су подлога за раст микроорганизама, који их разграђују, па је потребно претходно извршити дезинфекцију воде. Мембране од полиамида су отпорне на микроорганизме и на већину хемикалија, али не и према оксидационим средствима (хлор). Оне су дуготрајније од ацетатних мембрана. Реверзна осмоза се користи за уклањање бактерија, соли, шећера, протеина и других материја које имају веома малу молекулску масу. Данас се у свету највише примењује за дестилацију морске воде и слане подземне воде. У индустрији се примењује за добијање врло чисте воде за фармацеутску индустрију. Из свега претходно реченог могу се сликовито приказати различити процеси филтрације, слика 12.17.



Слика 12.17. Уклањање супстанци различитим процесима филтрације

**Питања за проверу знања:**

1. Навести које се физичкохемијске методе најчешће користе код третмана пречишћавања вода.
2. На којим физичкохемијским особинама супстанци се заснива поступак коагулације, а на којим поступак флокулације?
3. Која је разлика између поступка флокулације и коагулације?
4. Објаснити суштину методе екстракције.
5. Објаснити принцип пречишћавања воде методом јонске измене.
6. Шта су јоноизмењивачи и како се деле?
7. За које поступке пречишћавања воде се користи метода јонске измене?
8. Објаснити механизам адсорпције.
9. Који се поступци адсорпције данас примењују?
10. Дефинисати методу електродијализе и објаснити како се примењује код третмана вода.
11. Која је повезаност између методе електродијарезе и јонске измене у поступку пречишћавања воде?
12. По чему се разликују процеси макрофилтрације и микрофилтрације?
13. Навести процесе микрофилтрације и њихову примену у третману воде.
14. Објаснити реверзну осмозу.

**Литература:**

1. Гаћеша, С., и Клашња, М. (1994). *Технологија воде и отпадних вода*. Београд: Југословенско удружење пивара.
2. Ghyselbrecht, K., Huygebaert, M., Van der Bruggen, B., Ballet, R., Meesschaert, B., & Pinoy, L. (2013). Desalination of an industrial saline water with conventional and bipolar membrane electrodialysis. *Desalination*, 318(3), 9-18.
3. Далмација, Б. (2010). *Основи управљања отпадним водама*. Нови Сад: Природно-математички факултет, Департман за хемију, биохемију и заштиту животне средине и Удружење за унапређење и заштиту животне средине.
4. Далмација, Б., Агбаба, Ј., и Клашња, М. (2009). *Савремене методе у припреми воде за пиће*. Нови Сад: Природноматематички факултет, Департмант за хемију, биохемију и заштиту животне средине.
5. Јокановић, М. (2001). *Токсикологија*. Београд: Савремена администрација.
6. Кемер, Ф. (2005). *Налков приручник за воду*. Београд: Савез инжењера и техничара Србије.
7. Љубисављевић, Д., Ђукић, А., и Бабић, Б. (2004). *Пречишћавање отпадних вода*. Београд: Грађевински факултет Универзитета у Београду.
8. Стојановић, М., и Голубовић, Т. (2014). *Основи опште и неорганске хемије са задацима*. Ниш: Факултет заштите на раду у Нишу Универзитета у Нишу.
9. Spellman, F. (2009). *Handbook of Water and Wastewater Treatment Plant Operations*. Boca Raton, FL: CRC Press Taylor & Francis Group.
10. Spellman, F. (2019). *Reverse Osmosis: A Guide for the Nonengineering Professional*. Boca Raton, FL: CRC Press Taylor & Francis Group.
11. Tchobanoglous, G. Burton, F., & Stensel, D. (2003). *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse*. New York: McGraw-Hill Science, Engineering and Mathematics.

**Правна регулатива:**

12. Правилник о опасним материјама у водама, *Службени гласник СРС*, бр. 31/1982.





## 13. ХЕМИЈСКЕ МЕТОДЕ ПРЕЧИШЋАВАЊА ВОДА

### Циљеви поглавља:

- Упознавање са хемијским процесима на којима се базирају хемијске методе пречишћавања вода
- Стицање знања о основним принципима хемијских метода пречишћавања вода
- Упознавање са могућностима примене хемијских метода пречишћавања вода

### Резиме:

Пречишћавање вода хемијским методама заснива се на одређеним хемијским реакцијама. Најчешће коришћене хемијске методе за пречишћавање вода су: хемијско таложење, оксидо-редукција, неутрализација. Метода хемијског таложења заснива се на превођењу растворених материја из воде у нерастворне облике додатком таложних реагенса. Примењује се за уклањање тешких метала, као и за омекшавање воде. Оксидо-редукционе методе пречишћавања вода примењују се за поступке: хлорисања, за дезинфекцију воде, уклањање кисеоника, азота, цијанида, сумпорводоника и хлора из воде. Хлорисањем воде успешно се уклањају патогене бактерије и знатан део вируса. Оксидациона средства која се користе за дезинфекцију воде су: водоник-пероксид, калијум-перманганат, калцијум-перманганат или смеша баријум и алуминијум-перманганата. У свим овим случајевима активни агенс је насцентни кисеоник. рН вредност отпадних вода и рН водопријемника у највећем броју случајева треба одржавати између 6 и 8, чиме се сузбија штетни ефекат на живи свет у водопријемнику. Због тога се многе отпадне воде пре испуштања морају неутралисати. Киселост, која обично потиче од сумпорне киселине, најчешће се неутралише кречом, натријум-карбонатом, натријум-хидроксидом и амонијаком. За неутрализацију алкалитета најјефтинија је сумпорна киселина.

### Summary:

Chemical purification of water is based on chemical reactions. The most frequently used chemical methods for water purification are chemical precipitation, oxidoreduction, and neutralization. Chemical precipitation is based on turning soluble substances into an insoluble form by adding a precipitation reagent. It is used for heavy metals removal and water softening. Oxido-reduction methods of water purification are chlorination, use of halogens, permanganates, and ozone for water disinfection, or removal of oxygen, nitrogen, cyanide, hydrogen sulfide, and chlorine from the water. Chlorination has proved to be successful in removing pathogenic bacteria and a considerable number of viruses. Other oxidizing agents that may be used for water disinfection are hydrogen peroxide, potassium permanganate, calcium permanganate, or a mixture of barium and aluminum permanganate. In all these cases, the active agent is nascent oxygen. The pH value of wastewater and the pH of receiving water bodies in most cases should be maintained between 6 and 8 to suppress the harmful effect on the living beings. Therefore, many wastewaters must be neutralized before discharge. The acidity, which usually comes from sulfuric acid, is generally neutralized with lime, sodium carbonate, sodium hydroxide, and ammonia. Sulfuric acid is the cheapest reagent for neutralizing alkalinity.

Под хемијским методама пречишћавања воде подразумева се примена хемијских

реакција са циљем потпуног или делимичног елиминисања појединих супстанци из воде (Далмација, Агбаба и Клашња, 2009). Примена ових метода изискује знатна материјална улагања, а често у току поступка може доћи до повећања концентрације растворених материја у води, што додатно отежава процес пречишћавања и повећава трошкове. Ипак, неки хемијски процеси немају алтернативу кад је у питању уклањање појединих загађујућих супстанци из отпадне воде. Поједини неоргански јони ( $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{CN}^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$  и други), као и нека сложена синтетичка органска једињења, се не могу ефикасно уклонити конвенционалним поступцима у оквиру примарног и секундарног пречишћавања воде, већ је неопходно применити хемијске методе у оквиру завршног третмана пречишћавања. У последње време нарочито се придаје значај уклањању нутријената (азота и фосфора), јер они највише доприносе еутрофикацији водотокова (Почуча, 2008). Није могуће разматрати све потенцијалне хемијске поступке пречишћавања вода, па ће у даљем тексту укратко бити размотрене најчешће коришћене хемијске методе пречишћавања вода:

- хемијско таложење,
- оксидо-редукција,
- неутрализација.

Избор поступка или комбинације поступака зависи од више фактора: типа воде која се пречишћава, карактеристика и концентрације загађујућих супстанци, од начина испуштања или употребе пречишћене отпадне воде, од облика у коме се загађујуће супстанце одлажу (муљ, течност) и начина одлагања, те од компатибилности одређених поступака, њихове економичности итд (Далмација, 2010).

### 13.1. Хемијско таложење

Пречишћавање воде методама хемијског таложења заснива се на таложним реакцијама. Додавањем одређених реагенаса, који се називају таложни реагенси, једињења растворна у води се преводи у нерастворна, а затим се уклањају адекватним поступцима. Технолошки поступци делимичног или потпуног уклањања соли из воде називају се процеси омекшавања воде. Уколико се вода омекшава уклањањем само соли које дају карбонатну тврдоћу воде, поступак се назива декарбонизација (делимично омекшавање воде). Уклањање укупне тврдоће воде (све соли присутне у води) назива се поступак потпуног омекшавања воде (Гаћеша и Клашња, 1994). Ова метода се најчешће примењује за уклањање појединих метала, посебно тешких метала, као и за омекшавање воде.

#### 13.1.1. Омекшавање воде методом таложења

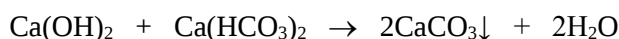
У природним водама се увек налазе растворене соли, при чему су најзаступљеније соли калцијума и магнезијума, мање соли натријума, калијума, гвожђа, и знатно мање остале соли. Повећана количина растворених соли у води мења особине воде, а може да проузрокује оштећење опреме и инструмената који су у додиру са водом. За декарбонизацију воде се, поред термичких и јоноизмењивачких метода (о којима је било речи у претходним поглављима), може применити и метода хемијског таложења. Да би се нека супстанца могла користити као таложни реагенс ради омекшавања воде, мора испунити следеће захтеве: да буде јефтина, нешкодљива, да се лако припрема (тј. раствара у води или суспендује у њој), да се једноставно дозира и квантитативно издваја из воде, односно да не заостаје у количинама које би могле изменити особине

и употребну вредност воде (Гаћеша и Клашња, 1994). Најчешће коришћени реагенси у поступку хемијског омекшавања воде, односно декарбонизације су:

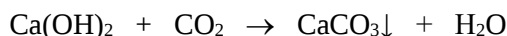
- креч (калцијум-оксид)-кречно млеко (суспензија калцијум-хидроксида)
- натријум-карбонат,
- натријум-хидроксид (каустична сода) и
- соли фосфорне киселине (тринатријум-фосфат и соли полимерних фосфорних киселина).

• **Омекшавањe - декарбонизација воде кречом.**

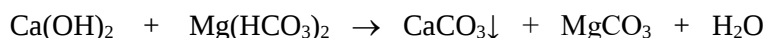
Декарбонизација воде кречом (калцијум-оксидом,  $\text{CaO}$ ), односно кречним млеком<sup>31</sup> (суспензијом калцијум-хидроксида,  $\text{Ca(OH)}_2$ ), првенствено се примењује за уклањање калцијум-хидрогенкарбоната из воде. Производ реакције је, у води нерастворни, калцијум-карбонат ( $\text{CaCO}_3$ ) који се јавља у виду талога:



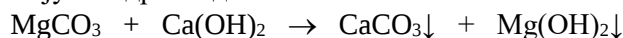
Када се реакција изводи на ниским температурама кречно млеко реагује и са слободним угљен-диоксидом из воде стварајући, такође, талог калцијум-карбоната:



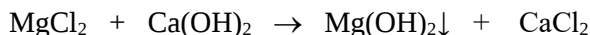
Под истим условима са кречним млеком реагује и присутни магнезијум-хидрогенкарбонат дајући растворно једињење магнезијум-карбонат ( $\text{MgCO}_3$ ):



У том случају је потребно реакцију вршити са вишком креча, при чему се талози нерастворни магнезијум-хидроксид:



Кречно млеко реагује и са евентуално присутним солима хлорида, сулфата и нитрата магнезијума, а производ је нерастворни магнезијум-хидроксид, на пример:



Уколико вода садржи натријум-бикарбонат, такође долази до реакције са кречним млеком, а производ реакције је нерастворни (талог) калцијум-карбонат и растворни натријум-карбонат:

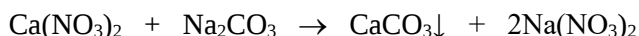
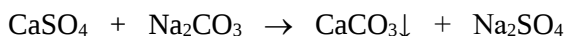
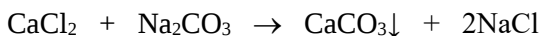


Потребно је нагласити да се при поступку декарбонизације воде кречом морају прецизно дефинисати количине креча и услови реакције. Као што се из претходних реакција види, користи се „гашени креч“, односно кречно млеко ( $\text{Ca(OH)}_2$ ). Међутим, у техничким условима се углавном користи „негашени креч“ ( $\text{CaO}$ ), који је, пре почетка реакције, потребно „угасити“, односно суспендовањем у води превести у калцијум-хидроксид. Поступак се примењује у завршној фази припреме воде уколико се њиме добија вода жељеног квалитета. Међутим, чешћи је случај да декарбонизација воде кречом чини само прву фазу припреме воде, која ће се даље омекшавати применом јоно-измењивача или неким другим поступком.

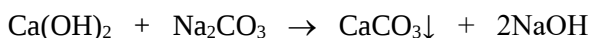
<sup>31</sup> Суспендовањем  $\text{CaO}$  у води добија се кречно млеко (суспензија  $\text{Ca(OH)}_2$  у води). Овај процес се одвија по реакцији:  $\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca(OH)}_2$ .

### • Омекшавање воде по поступку креч – натријум-карбонат

Омекшавање воде по поступку креч – натријум-карбонат<sup>32</sup> је најстарији хемијски поступак пречишћавања воде. Реагенси за таложeње су креч (калцијум-оксид, CaO), односно гашени креч (калцијум-хидроксид, Ca(OH)<sub>2</sub>) заједно са натријум-карбонатом (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>). Може се користити анхидровани (безводни) натријум-карбонат или његов кристалохидрат (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>·10H<sub>2</sub>O). Улога натријум-карбоната у овом поступку је да реагује са солима калцијума (хлоридима, сулфатима и нитратима) и награди нерастворни калцијум-карбонат, док креч има идентичну улогу као у претходно описаном поступку декарбонизације:



Да би омекшавање воде по овом поступку било потпуно, реагенси се додају у вишку, што не ремети процес, с обзиром да они реагују и међусобно:



Овај поступак је погодан за оне воде које садрже велику карбонатну и некарбонатну тврдоћу, али са малим учешћем соли магнезијума.

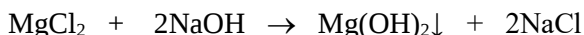
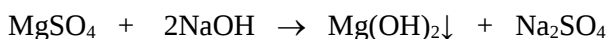
### • Омекшавање воде натријум-хидроксидом

Омекшавање воде се може извршити и коришћењем натријум-хидроксида, уколико добијена алкална вода не смета технолошком поступку. Услов за примену ове методе је да карбонатна тврдоћа воде буде већа од некарбонатне.

Додатим натријум-хидроксидом се прво таложе хидрогенкарбонатне соли калцијума и магнезијума:



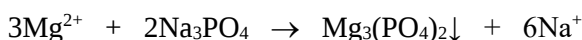
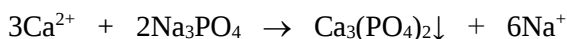
а затим и остале некарбонатне соли магнезијума:



Овим поступком се из воде уклања целокупна количина калцијумове и магнезијумове карбонатне тврдоће, уз истовремено настајање натријум-карбоната, који даље реагује са присутним солима калцијума (CaCl<sub>2</sub>, CaSO<sub>4</sub>).

### • Омекшавање воде тринатријум-фосфатом.

Поступком омекшавања воде тринатријум-фосфатом (Na<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>) стварају се нерастворни фосфати калцијума и магнезијума према реакцијама:



<sup>32</sup> Натријум-карбонат (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) се често погрешно назива сода.

Да би се реакција ефикасно извела потребно је да водена средина буде алкална. Како је тринатријум-фосфат веома скуп, то се овај поступак користи за допунско омекшавање вода које су претходно већ биле омекшане неким другим хемијским поступком. Поступак се примењује код припреме воде за парне котлове.

• **Омекшавање воде солима полимерних фосфорних киселина.**

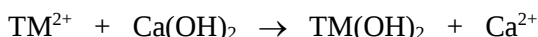
Поступак се примењује код воде која се користи за хлађење или као котловска вода, код котлова ниског притиска. Од соли фосфорних киселина користе се углавном метафосфати и полифосфати, и то најчешће натријум-хексаметафосфат ( $\text{NaPO}_3$ )<sub>6</sub>, калијум-метафосфат ( $\text{KPO}_3$ ), натријум-триполифосфат ( $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$ ) и хексанатријум-тетраполифосфат ( $\text{Na}_6\text{P}_4\text{O}_{13}$ ). Соли инхибирају настајање талога калцијум-карбоната у расхладним или у котловским водама. Додају се у малим количинама, 2-3 g/m<sup>3</sup> воде. Употребљавају се у води чија температура не прелази 50 °C, јер на вишим температурама долази до хидролитичког распадања метафосфата и полифосфата у ортофосфате. Из тих разлога се неоргански мета - и полифосфати све више замењују одређеним органским једињењима фосфора, која немају негативне особине неорганских једињења фосфора.

• **Уређаји за хемијско омекшавање вода.**

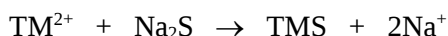
Постројења за хемијско омекшавање или хемијску декарбонизацију воде обично раде континуирано, са посебним делом где са припремају раствори. Да би се обезбедио неометан рад, постројење треба да обухвата: висинске резервоаре, судове за припрему раствора, уређај за дозирање раствора, уређај за мешање хемикалија са водом, судове у којима се одигравају реакције, судове за флокулацију талога, филтере и таложнике.

### 13.1.2. Уклањање тешких метала из воде хемијским таложењем

Метода хемијског таложења може се применити за уклањање агресивних или токсичних супстанци, а нарочито је ефикасна за уклањање тешких метала (ТМ) из отпадних вода. Основни принцип поступка је да се тешки метали преведу у њихова нерастворна једињења и таложе у облику хидроксида и сулфида или, евентуално, карбоната. Нерастворни хидроксиди тешких метала се добијају додавањем калцијум-хидроксида или натријум-хидроксида:

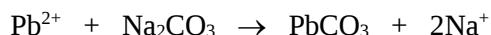
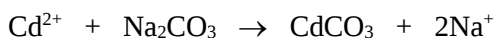


Ефикасност уклањања тешких метала овом методом је задовољавајућа, јер њихова заостала концентрација буде обично мања од 1,0 mg/l. Неке тешке метале није могуће таложити директним додавањем реагенса. Такав случај је са шестовалентним хромом, који се прво преводи у тровалентни хром редукцијом (са  $\text{SO}_2$  или неким другим редукционим средством) у киселој средини (pH = 2-3), а затим се у алкалној средини (pH > 8) таложи хидроксидима у облику хром(III)-хидроксида (Јокановић, 2001). Погоднији поступак је таложење тешких метала у облику сулфидних соли, јер је њихова растворљивост знатно мања у односу на хидроксиде и сулфиди тешких метала нису амфотерни као хидроксиди. За превођење се обично користе натријум-сулфид, натријум-бисулфид или слабо растворни сулфиди (гвожђе(II)-сулфид):



У појединим случајевима реакција таложења се може вршити превођењем тешких метала у карбонатне соли и то најчешће додатком натријум-карбоната. Тако се

кадмијум и олово из отпадне воде могу уклонити превођењем у скоро нерастворни карбонатни облик:



Предност таложења карбонатом је у томе што није потребна неутрализација обрађене отпадне воде. Ефикасност методе хемијског таложења тешких метала зависи и од тога да ли у отпадним водама има материја које ометају таложење, на пример лиганди који граде комплексе са металима (цијаниди, амонијак). Тада је потребно да се прво они уклоне, а затим се спроведи поступак хемијског таложења. Постројења за хемијско таложење тешких метала су судови са мешалицом у којима се остварује контакт отпадне воде и средства за таложење. Уз постројење се налази и одговарајућа пумпа за дозирање средстава за таложење, као и судови за припрему тих средстава. Пре почетка процеса мора се дефинисати: доза средстава за таложење, оптимална рН-вредност, таложне карактеристике насталих суспендованих честица, као и преостала концентрација тешких метала

### **13.1.3. Уклањање фосфора из воде хемијским таложењем**

Фосфор присутан у отпадним водама један је од фактора који доводе до еутрофикације водотокова и акумулација у које се отпадне воде испуштају. У отпадним водама фосфор се налази у облику ортофосфата, полифосфата и органског фосфора (Веселиновић и др., 1995). Њихов међусобни однос зависи од карактеристика отпадне воде и од степена разградње сложених форми фосфора, полифосфата и органског фосфора до ортофосфата. Пре испуштања отпадне воде у реципијент неопходно је да се уклони присутан фосфор (Правилник о опасним материјама у водама, 1982). У ту сврху може се користити хемијска метода таложења. У пракси се ова метода често комбинује са биолошком методом. Издвајање фосфора хемијском методом таложења у облику фосфата врши се уз додатак: калцијум-оксида, алуминијум-сулфата или гвожђе-хлорида, при чему се граде тешко растворни фосфати калцијума, алуминијума или гвожђа. Процес се изводи при рН-вредностима 7 – 8. Реакције представљају једноставне и ефикасне начине уклањања фосфора из отпадних вода и њима се може уклонити и до 90% растворених фосфата

## **13.2. Оксидо-редукционе методе**

Оксидо-редукционе реакције подразумевају реакције размене електрона између атома, јона и/или молекула. Оксидација подразумева отпуштање, а редукција примање електрона. У технологији пречишћавања воде поменуте реакције се примењују да би се штетне и непожељне хемијске супстанце из воде превеле у нетоксичне и/или како би се њихова количина смањила испод максимално допуштених вредности. При томе није неопходно извршити потпуну оксидацију супстанци, пошто у неким случајевима производи потпуне оксидације могу бити токсичнији него интермедијерна једињења (Јокановић, 2001). Из тих разлога, код примене ових метода потребно је потпуно познавање механизма саме реакције, као и свих потребних параметара и услова који морају бити испуњени. Код третмана воде за поступак оксидације користе се оксидациони реагенси, као што су: озон ( $\text{O}_3$ ), водоник-пероксид ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ), калијум-перманганат ( $\text{KMnO}_4$ ), хлор-диоксид ( $\text{ClO}_2$ ), хлор

(Cl<sub>2</sub>) или хипохлораста киселина (HOCl) и кисеоник (O<sub>2</sub>). За хемијске реакције редукције највише се користе: гвожђе(II)-сулфат (FeSO<sub>4</sub>) и сумпор-диоксид (SO<sub>2</sub>). За процес оксидације најчешће се користи течни хлор због ниске цене и лакоће коришћења. Хлором се избељују обојене отпадне воде, спречава се стварање наслага биолошке слузи и врши дезинфекција, а служи и за бистрење воде у процесу примарног пречишћавања. Неповољни ефекат је стварање хлорованих органских једињења, од којих су нека канцерогена.

У новије време све више се употребљавају такозвани „напредни оксидациони процеси“ (AOPs – енгл. *advanced oxidation processes*) где се користи слободни хидроксил-радикал (HO•), као јако оксидационо средство за разградњу специфичних органских једињења која се не могу оксидовати конвенционалним оксидансима (Далмација, Агбаба и Клашња, 2009). Код процеса третмана воде за пиће метода оксидације се углавном примењује за дезинфекцију воде, уклањање азота, цијанида и хлора, док се код третмана отпадних вода нарочито примењује за смањење биолошке потрошње кисеоника (BPK) и хемијске потрошње кисеоника (HPK), као и за оксидацију амонијака, неразградивих органских једињења и других токсичних супстанци (Љубисављевић, Ђукић и Бабић, 2004). Поступак оксидације не треба примењивати код обраде отпадних вода са великим садржајем укупног загађења (преко 1%), јер су оксиданси неселективни, тако да ће, поред оксидације жељене компоненте, реаговати и са другим материјама које се могу оксидовати. То вишеструко повећава утрошак оксиданса, а тиме и цену поступка оксидације. У технологији пречишћавања отпадних вода процес оксидације се, углавном, примењује за уклањање:

- биоразградивог органског загађења (феноли, амини, хуминске киселине и многа друга једињења која су токсична или која води дају непријатан мирис или стварају услове за раст бактерија или стварање алги),
- неорганских састојака, као што су: јони Mn<sup>2+</sup>, Fe<sup>2+</sup>, S<sup>2-</sup>, CN<sup>-</sup>, SO<sub>3</sub><sup>2-</sup>, амонијак и друго.

Пре него што се приступи процесу оксидо-редукције воде, неопходно је одредити које супстанце треба модификовати или потпуно уклонити из воде.

### 13.2.1. Дезинфекција воде оксидацијом

Дезинфекција и сирове и отпадне воде може се извршити применом оксидационих средстава. Природна вода је најчешће хигијенски неисправна, па је потребно спровести процес дезинфекције. Под поступком дезинфекције воде подразумева се уништавање бактерија, односно редукција укупног броја свих живих бактерија до броја који је стандардом дозвољен. Вода која се користи за пиће мора бити хигијенски исправна, односно мора да задовољава одређене прописе у погледу хемијског састава, присуства микроорганизама и других изазивача заразних болести, што је регулисано Правилником о хигијенској исправности воде за пиће (Службени гласник РС, 28/2019). По овом правилнику није неопходно да вода за пиће буде потпуно стерилна, али она не сме да садржи микроорганизме изазиваче разних обољења, док садржај појединих микроорганизама мора бити испод максимално дозвољених вредности.

Дезинфекција воде се често обавља и превентивно, без обзира на тренутни бактериолошки квалитет воде. Вода за коју се у било ком тренутку утврди да је бактериолошки неисправна, мора се дезинфиковати (Далмација, Агбаба и Клашња,

2009). Дезинфекцији се подвргава вода која је прошла остале фазе пречишћавања: коагулацију, таложење, филтрацију и слично, јер у избистреној води нема лебдећих материја које би могле заштитити бактерије од деловања дезинфекционог средства. Чак и незнатно замућена вода омета процес дезинфекције, па се не може са сигурношћу говорити о добијању бактериолошки исправне воде. Такође, претходним пречишћавањем се уклања знатан део присутних микроорганизама. Реагенси који се користе за дезинфекцију воде морају задовољити следеће критеријуме:

- да уништавају, односно инактивирају патогене микроорганизме евентуално присутне у води,
- да се дезинфекција заврши у оквиру расположивог времена и у условима већих варијација температуре,
- да концентрације којима се ефикасно дезинфикује вода не стварају непријатан мирис и укус и да нису токсичне,
- да се лако и брзо може одредити њихова концентрација у води,
- да се лако дозирају, без примене сложене и скупе апаратуре,
- да су јефтине и да се лако набављају,
- да у дужем временском периоду обезбеђују биолошку исправност воде.

Дезинфекција воде се поред оксидационих поступака може извести и поступцима без реагенаса, као што су третман ултраљубичастим зрачењем, ултразвуком и топлотном енергијом (топлотна дезинфекција), о чему је било речи у претходним поглављима. Овим третманима воде врши се тренутна дезинфекција, али биомаса уништених микроорганизама и осталих органских састојака остаје у води, тако да постоји могућност поновног размножавања микроорганизама. Поред поменутих поступака примену имају и поједине савремене методе као што су електрофореза, јонизујуће зрачење, електрокоагулација и друге. Такође, дезинфекција мањих количина воде се може извршити металним јонима, као што су јони сребра, бакра, цинка, олова. Бактерицидно дејство јона тешких метала познато је као *олигодинамички ефекат*. Стерилизација воде се може извршити и поступцима микрофилтрације кроз одговарајуће филтрационе улошке или мембране чије су поре довољно мале да задрже микроорганизме. Предност коришћења оксидационих реагенаса за дезинфекцију воде је у томе што се уништавају не само вегетативни облици микроорганизама, него се истовремено оксидишу и органски састојци присутни у води, који могу представљати остатке биомасе самих микроорганизама, и који би, у случају поновног контаминирања, могли да послуже као супстрати за развој нових микроорганизама. Поред тога, оксидациона средства остају и дуже време у води.

Најчешће примењивани поступци дезинфекције воде применом оксидационих средстава су: хлорисање, озонизација, дезинфекција водоник-пероксидом и перманганатима (Гаћеша и Клашња, 1994).

#### • Дезинфекција воде хлором и једињењима хлора

Хлорисање воде је један од најзаступљенијих поступака дезинфекције воде. У ту сврху се користе различити реагенси, а њихова ефикасност зависи од садржаја активног хлора. Хлор и његови деривати су веома добри бактерициди и вируциди. При нормалним условима хлор је отрован гас, жуто-зелене боје, а у води се мало раствара, табела 13.1.

**Табела 13.1.** Растворљивост хлора у води у зависности од температуре  
(Гаћеша и Клашња, 1994)

| Температура (°C)          | 0    | 10   | 20   | 25   |
|---------------------------|------|------|------|------|
| Растворљивост хлора (g/l) | 14,6 | 9,97 | 7,29 | 6,40 |

Најчешће коришћени деривати хлора су:

- Хлор-диоксид ( $\text{ClO}_2$ ) – садржи 50% активног хлора и најефикаснији је препарат.
- Гасовити хлор ( $\text{Cl}_2$ ) – у трговини познат под називом *течни хлор*. Садржи 100% активног хлора и углавном се користи за веће водоводне системе.
- Калцијум-хлорид-хипохлорит ( $\text{CaCl}(\text{OCl})$ ) – трговачки назив је *хлорни креч*. Садржи 25 – 35% активног хлора и најнестабилнији је препарат.
- Калцијум-хипохлорит ( $\text{Ca}(\text{OCl})_2$ ) – садржи 70% активног хлора.
- Натријум-хипохлорит ( $\text{NaClO}$ ) – у трговини познат под називом *Жавелова вода*. Садржи 4 – 16% активног хлора, тако да примену има код мањих система, цистерни, базена и слично.
- Неоргански хлораминаи,  $\text{NH}_2\text{Cl}$ ,  $\text{NHCl}_2$ ,  $\text{NCl}_3$  – птрговачки назив је *амонијум хлораминаи*. Садрже до 25% активног хлора.

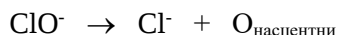
Ефикасност хлорисања воде набројаним препаратима, односно њихово бактерицидно дејство, опада у низу:

хлор-диоксид > гасовити хлор > хипохлораста киселина > хипохлоритни јон > калцијум-хипохлорит > хлорни креч > натријум-хипохлорит > хлораминаи.

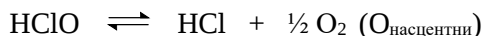
Дезинфекција воде се не врши директно гасовитим хлором, већ раствањањем хлора у води настају хипохлораста и хлороводонична киселина:



Хипохлораста киселина, у зависности од рН вредности делом прелази у хипохлоритни јон ( $\text{OCl}^-$ ), који се даље распада на хлоридни јон и насцентни кисеоник<sup>33</sup>, који заправо врши дезинфекцију и једно је од најјачих оксидационих средстава:



Потпуна реакција разлагања хипохлорасте киселине се може представити следећом једначином:



Разлог јаког бактерицидног дејства хипохлорасте киселине је вероватно њена електрична неутралност, што омогућава да лако дифундује кроз ћелијски зид микроорганизама, реагујући са многим биомолекулима (ДНК, РНК, аминокиселинама, ензимима и друго). Насцентни кисеоник, као јако оксидационо средство, оштећује ћелијске системе оксидативним механизмом. Хлор, као изузетно реактиван атом може да замени водоник или неки други атом (реакцијама супституције) из ензима или биомолекула у бактеријама и другим ћелијама. Ово узрокује да цео молекул мења облик или се распада, што доводи до ћелијске смрти и

<sup>33</sup> Насцентни кисеоник је кисеоник у атомском стању и врло је реактиван.

умирања организма. Поменути механизам је одговоран и за оксидативно уклањање органских и других састојака из воде елементарним хлором.

Укупна количина хлора у води, који се налази у облику  $\text{Cl}_2$ ,  $\text{HClO}$  и  $\text{ClO}^-$  назива се слободни или расположиви хлор. Под појмом *резидуални хлор* подразумева се концентрација хлора ( $\text{mg/l}$ ) која је заостала у води, као вишак, након реакције оксидације. Ефекат дезинфекције воде хлором зависи од рН вредности воде, температуре, врсте присутних микроорганизама, времена хлорисања и друго.

Потребно је да вода буде благо кисела, јер је тада ефекат дезинфекције највећи, табела 13.2. Уколико је  $\text{pH} > 8$ , неће бити присутна довољна количина хипохлорасте киселине и као последица тога дезинфекција ће потрајати знатно дуже<sup>34</sup>.

**Табела 13.2.** Дезинфекциони ефекат хлора у зависности од рН средине (Гаћеша и Клашња, 1994)

| рН                             | 6,8 | 7,2 | 8  |
|--------------------------------|-----|-----|----|
| Дезинфекциони ефекат хлора (%) | 100 | 84  | 55 |

За исту ефикасност хлорисања потребна је двоструко већа доза хлора на температури од  $10^\circ\text{C}$ , него на  $20^\circ\text{C}$ . Температура воде која се дезинфикује би требало да буде изнад  $15^\circ\text{C}$ , јер се на нижим температурама издвајају хлорати који се као беличасте насlage талоче на зидовима апаратуре. Ефекат хлорисања зависи од врсте присутних микроорганизама, јер се отпорност микроорганизама на деловање хлора разликује од врсте до врсте. Дезинфекција воде хлором није тренутна, већ је за процес потребно одређено време (око 20 – 30 минута), за које је потребно обезбедити концентрацију активног хлора од 0,3 – 0,5  $\text{g/l}$ . Веома је важно да се дезинфекција воде хлором не сме изводити уколико су присутне веће количине амонијака или органског азота, јер у зависности од рН воде, настају моно-, ди- и три-хлорамина ( $\text{NH}_2\text{Cl}$ ,  $\text{NHCl}_2$ ,  $\text{NCl}_3$ ), веома токсична једињења. Такође, хлор реагује са фенолима, бромом и другим супстанцама из воде, при чему настају штетни нуспродукти.

Хлор-диоксид ( $\text{ClO}_2$ ) се у води разлаже на хипохлорасту киселину и насцентни кисеоник, који појачава оксидационо и дезинфекционо деловање. Овај гас је експлозиван, те се мора произвести на месту коришћења и директно користити за хлорисање. Добија се реакцијом натријум-хлорита ( $\text{NaClO}_2$ ) са хлороводоничном киселином или хлором:

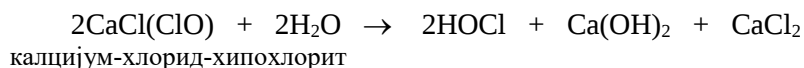
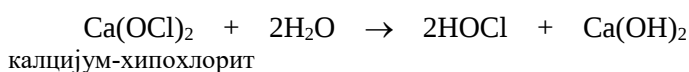
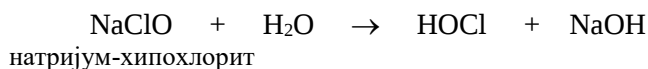


Предност хлор-диоксида као дезинфекционог средства огледа се у томе што уништава бактерије, али и њихове споре, а да при томе не показује негативне карактеристике

<sup>34</sup> Хипохлорати јон ( $\text{ClO}^-$ ) је слабије дезинфекционо средство од хипохлорасте киселине јер електрични набој отежава продор у ћелију. Хипохлораста киселина је електрично неутрална, тако да је у стању да оксидује све микроорганизме веома брзо, док је за процес оксидације хипохлорастим јонима потребан дужи временски период. То је један од значајних фактора који диктира услове процеса, односно услов дезинфекције воде да рН треба одржавати између 6,5 – 8, када је хлор у облику смеше  $\text{HClO}$  и  $\text{ClO}^-$ .

које има сам хлор, односно хипохлорит. Такође, значајно је да хлор-диоксид, насупротив хлору, не гради токсични хлорфенол и једињења која води дају неповољне органолептичке особине. Хлор-диоксид делује брже и ефикасније од свих деривата хлора који се користе за дезинфекцију воде, па се сматра најјачим дезинфекционим средством. Међутим, поступак дезинфекције хлор-диоксидам је технички сложен и скуп, тако да се исплати само за постројења у којима се дезинфикују велике количине воде.

Поред хлора за дезинфекцију воде могу се користити и његови деривати, као што су *хипохлорити*. Они делују истим механизмом као и хлор, при чему настаје хипохлораста киселина:



*Неоргански хлорамини* су нестабилна једињења и полако се распадају до хипохлорасте киселине, тако да је њихово деловање дуготрајније. Из тих разлога се води, која се превентивно хлорише, додају мале количине амонијака, ради дужег дејства дезинфекционог средства и да не би дошло до загађивања воде током њене дистрибуције. Такође, поједини негативни ефекти хлорисања воде, као што је непријатан мирис хлора, евентуална потреба за дехлорисањем и друго, у већој или мањој мери се могу избећи уколико се води дода амонијак, односно амонијумова со пре процеса хлорисања. Такав поступак се назива хлорисање уз преамонизацију или *хлораминисање воде*.

Хлор и његова једињења ефикасно уништавају патогене бактерије и поједине вирусе у води, али се истовремено убијају и микроорганизми који су корисни, јер учествују у процесу разградње отпадне материје. Ако се не контролише количина хлора, може доћи до потпуне стерилизације воде, тј. до елиминисања свих микроорганизама. У току процеса хлорисања воде хлор се дозира, али се извесна количина троши на оксидацију супстанци пре него што почне његово дезинфекционо деловање. Израчунавање потребне количине хлора, коју треба дозирати у воду, за поступак дезинфекције мора да обухвати хлор који се троши за оксидацију и хлор за саму дезинфекцију. Количина хлора која се троши за оксидацију назива се *везани хлор*, а онај који ће бити утрошен за дезинфекцију је *активни хлор*.

Укупна количина дозираног хлора се израчунава изразом:

$$\text{дозирани хлор} = \text{активни хлор} + \text{везани хлор}$$

У ванредним ситуацијама, ратним условима или при обради воде са већом концентрацијом органских или неорганских супстанци које је потребно оксидовати примењује се поступак *прехлорисања* или *суперхлорисања*. Тада се дозира активни хлор у концентрацији која је знатно изнад оне која је потребна за рутинску дезинфекцију воде (обично 1 – 10 mg/l). Вишак хлора се, због токсичности, мора

уклонити из воде пре њене даље употребе. Ово уклањање вишка хлора из воде представља *дехлорисање воде*.

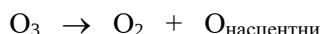
У зависности од места постављања уређаја за хлорисање воде разликују се поступци *предхлорисања* и *постхлорисања*. Поступак предхлорисања се обично примењује за обраду речних вода пре њиховог избистравања (флокулације, филтрације) и основни задатак није сама дезинфекција, већ и побољшање ефикасности наредних операција обраде воде. Поступак постхлорисања врши се након избистравања воде, пре њеног пуштања у мрежу, и често има карактер суперхлорисања, ради побољшања органолептичких карактеристика воде.

Зависно од количине воде коју је потребно дезинфиковати могу се применити поступци *дисконтинуалног* и *континуалног* (у протоку) хлорисања. *Дисконтинуални поступци* се користе када треба дезинфиковати малу количину воде, за одређене сврхе, у појединачим погонима, или у ванредним и ратним приликама, када је потребно обезбедити најнужније количине воде за потребе становништва. Ово хлорисање се обично обавља у погодним резервоарима или боцама, када се у воду додају строго контролисане количине реагенса. *Континуално хлорисање* се обавља дозирањем гасовитог хлора или раствора хлорних препарата у прорачунатим контролисаним количинама, да би се добила концентрација активног хлора 0,3 – 0,5 mg/l. Хлорисана вода се у мрежи или у посебним резервоарима пре употребе мора задржати најмање 30 минута да би се присутни микроорганизми ефикасно уништили.

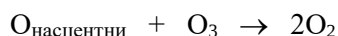
Хлорисање воде обавља се у уређајима *хлоринаторима*.

#### • Дезинфекција воде озоном

Озон ( $O_3$ ) представља алотропску модификацију кисеоника. Озон је знатно нестабилнији од двоатомског молекула кисеоника и лако се распада на молекулски и насцентни кисеоник:



Озон се слабо раствара у води, али је његова растворљивост знатно већа од растворљивости кисеоника. Боље се раствара у киселој води него у алкалној, али се у алкалној води знатно брже распада. Из тих разлога рН вредност воде која се третира озоном треба да буде слабо кисела до неутрална. Како је производ распада озона насцентни кисеоник то се озон сврстава у веома реактивне молекуле, па налази примену у технологији пречишћавања воде, укључујући воду за пиће, индустријске отпадне воде, воду за хлађење и друго. Користити се као биоцид али и као класичан оксидант за уклањање соли гвожђа и мангана, као и сулфида, и за уклањање компоненти које води дају боју, непожељни мирис и укус. У процесу дезинфекције воде озон је много мање селективан него хлор. Његово дејство је 15 – 20 пута брже и 300 – 600 пута јаче од хлора. Испољава бактерицидно и вируцидно дејство и ефикасно уништава не само вегетативне облике, него и споре микроорганизама. Иако је озон добро оксидационо средство за дезинфекцију воде, при великим концентрацијама у води његова реактивност се значајно смањује, јер долази до реакције са насталим насцентним кисеоником и стварања молекулског облика кисеоника:

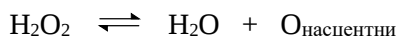


За успешну дезинфекцију воде озоном важно је да ефективна концентracија озона у води буде изнад критичне концентracије (бар краткотрајно), која износи око 0,4 – 0,5

mg/l. За дезинфекцију веома чистих површинских или подземних вода, по правилу, треба употребити око 0,5 mg/l озона, вода након хемијске обраде и филтрације захтева 0,5 – 1 mg/l, а код вода обојених хуминским материјама потребно је чак 2 – 5 mg/l озона за успешну дезинфекцију. Време контакта воде са озоном треба да буде 5 – 20 минута. Код третмана воде, озон се мора производити на лицу места, јер се не може транспортовати на већа растојања или чувати пошто може доћи до експлозије. Као сировина за добијање озона користи се атмосферски ваздух, ваздух обогаћен кисеоником, или чист кисеоник. Ако се ради са ваздухом, производ је озонизовани ваздух који садржи 1 до 5% озона, а уколико се користи кисеоник за добијање озона, његов садржај може бити и до 10%. Предности коришћења озона код третмана дезинфекције воде су: дезинфекција се врши при кратком времену контакта и ниским концентрацијама, елиминише се широк спектар неорганског, органског и микробиолошког загађења, као и проблеми мириса и укуса воде, током третмана се не користе додатне хемикалије и друго. Недостаци процеса су: може доћи до формирања дезинфекционих нуспродукта као што су алдехиди, кетони, бромати (уколико је присутан бром), озон је корозивна и токсична супстанца, а такође је и цена поступка релативно висока.

#### • Дезинфекција воде водоник-пероксидом

Водоник-пероксид се на повишеној температури распада на воду и насцентни кисеоник, који има бактерицидно дејство:



Принцип дезинфекције воде водоник-пероксидом је сличан принципу дезинфекције озоном. Међутим, овај поступак је знатно скупљи од претходно поменутих, а разлог је тај што микроорганизми поседују ензим пероксидазу, који разлаже додати пероксид. Због тога се приликом дезинфекције воде мора постићи велика концентрација пероксида, како би се превазишао капацитет његовог ензимског разлагања од стране микроорганизма. Зато се дезинфекција воде пероксидом ретко примењује, мада може бити погодна у ванредним и ратним приликама.

#### • Дезинфекција воде перманганатима

За дезинфекцију воде могу се користити и оксидационе супстанце, као што су: калијум-перманганат, калцијум-перманганат и смеша баријум и алуминијум-перманганата. У свим овим случајевима, активни агенс је насцентни кисеоник. Предност овог начина дезинфекције је у томе што се додају релативно мале количине реагенса. На пример, довољно је у воду додати 0,025% калијум-перманганата, па да она након 15 минута буде стерилна. Вишак перманганата се може уклонити водоник-пероксидом, који се распада на воду и насцентни кисеоник, чиме се појачава бактерицидно дејство. Такође, могуће је користити гвожђе, које се оксидује у  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , уз истовремено настајање оксида мангана. Исталожени оксиди се пре употребе воде морају уклонити, што се постиже филтрацијом, али то усложњава и поскупљује процес, па се и ови поступци користе веома ретко. Перманганати се могу користити за приручну дезинфекцију воде у ванредним и ратним приликама. Након 10 минута вода се филтрира кроз стерилне филтре да би се уклонили исталожени оксиди мангана, после чега се може користити.

#### • Дезинфекција воде бромом, јодом, флуором

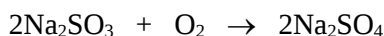
Ефикасност дезинфекције бромом и јодом је иста или чак и боља од деловања хлора. Код примене ових халогених елемената нису забележени негативни ефекти, који су карактеристични за хлор (промене укуса и мириса воде). Бром и јод су, такође, токсични халогени елементи, али су мање испарљиви, тако да је опасност од тровања мања него када се примењује хлор. Уколико је потребно добити мању количину дезинфиковане воде могу се користити такозвани јодофори, односно сунђерасте пластичне масе импрегнисане јодом, кроз које се вода филтрира, при чему се у њу лагано отпуштају неопходне количине јода. Ипак, примена брома и јода у поступку дезинфекције вода, мада безбеднија, није довољно заступљена, а разлози су првенствено економске природе.

### 13.2.2. Уклањање раствореног кисеоника оксидацијом

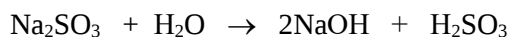
Уклањање кисеоника из воде назива се *деоксигенација воде*. Растворени кисеоник се из воде, најчешће уклања термичком или методом оксидације (Кемер, 2005). О термичкој методи уклањања кисеоника било је речи у поглављу о физичким методама пречишћавања воде. Термичким поступком се поред кисеоника из воде могу уклонити и други растворени гасови, док се оксидацијом уклања само кисеоник.

Да би се извршила деоксидација у воду се уводе једињења, која се лако и брзо оксидују раствореним кисеоником и на тај начин га троше, односно елиминишу из воде. Најчешће се користе једињења: натријум-сулфит ( $\text{Na}_2\text{SO}_3$ ), хидразин ( $\text{N}_2\text{H}_4$ ), сумпор (IV)-оксид.

*Увођењем натријум-сулфита* у воду долази до његове оксидације раствореним кисеоником и настанка натријум-сулфата:

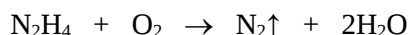


Реакција је веома брза при температурама око и већим од  $80^\circ\text{C}$ . Натријум-сулфит се обично користи у облику комерцијално доступног кристалохидрата ( $\text{Na}_2\text{SO}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ). Овај поступак уклањања раствореног кисеоника је погодан за мања постројења, јер је натријум-сулфит јефтина супстанца, лако се припрема и дозира. Међутим, у води могу да заостану растворене соли, а у води која се користи за напајање котлова, чија је температура висока, натријум-сулфит хидролизује при чему настаје гас сумпор-диоксид.



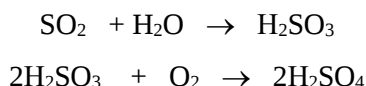
Појавом овог гаса повећава се корозивност паре, па се опрема која долази у додир са паром мора заштитити антикорозивним облогама.

*Коришћењем хидразина* готово се у потпуности врши деоксигенација воде. Хидразин везује кисеоник при чему се ослобађа инертни гасовити азот:



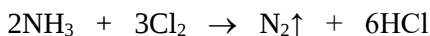
Ово је најбоља, али и најскупља метода деоксигенације воде. Хидразин је скупа, јако отровна, а при концентрацијама преко 40% и експлозивана супстанца, па се њом мора пажљиво руковати. Из тих разлога је његова употреба ограничена. Најчешће се користи после физичке методе деоксигенизације воде, да би се уклонила заостала количина кисеоника.

Сумпор-диоксид се уводи у воду, при чему настаје сумпораста киселина, која се оксидује кисеоником раствореним у води до сумпорне киселине.



### 13.2.3. Уклањање амонијака из воде оксидацијом

У води се могу наћи разноврсна неорганска и органска једињења азота. Највећи део азота у отпадним водама налази се у облику амонијачног азота. Уклањање амонијака из воде може се вршити заједо са поступком хлорисања воде. Хемијски процес у коме се хлор користи за оксидацију амонијака и његово уклањање назива се *хлорисање преко превојне тачке*. Суштина поступка је у томе да се води додаје количина хлора која је већа од минималне количине потребне да би се извршила дезинфекција воде, чиме се врши оксидација присутног амонијака. Хлорисањем се амонијачни азот оксидује прво до хлорамина, а затим до гасовитог азота. Укупна реакција може се приказати једначином:

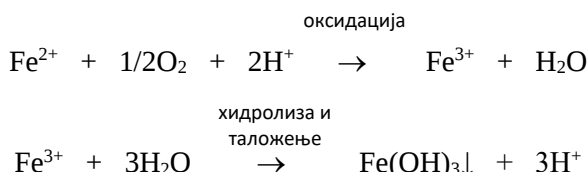


Брзина оксидације амонијачног азота зависи од температуре, рН и присуства других (органских) материја које троше хлор. Ефекат процеса је задовољавајући, јер се, уз одговарајућу контролу, може оксидовати 90 – 95% присутног амонијака, а настали гасовити азот није штетан и може се испустити у атмосферу. Међутим, поступком хлорисања се повећава садржај растворених материја у води, што није пожељно, посебно ако се ради о отпадној води која се поново користи. Такође, могу настати и токсични производи оксидације, као што су хлорована органска једињења, па се хлорисање у највећем броју случајева користи за уклањање малих количина амонијачног азота преосталих након обраде неким другим поступком уклањања азота. Овај поступак се може применити и код припреме воде за пиће, када се ради о изворишту са повећаном концентрацијом амонијака, коју није могуће уклонити само биолошким третманом.

### 13.2.4. Деферизација и деманганизација воде оксидацијом

Гвожђе и манган су честе компоненте природних вода, јер су стални састојци Земљине коре. Подземне воде, углавном садрже већу количину ових метала. По количини у Земљиној кори гвожђе је на четвртом месту, а манган међу првих петнаест метала. Њихово понашање у природним водама је слично. Повећана концентрација соли гвожђа и мангана у води је неповољна, јер негативно утиче на органолептичке карактеристике воде за пиће, а код технолошких процеса настаје талог на опреми. Мале концентрације (око 0,1 mg/l) гвожђа или мангана могу стимулисати раст одређених бактерија у резервоарима, филтерима и водоводним цевима. Поступци уклањања гвожђа и мангана из воде називају се деферизација, односно деманганизација. Они се, углавном врше у једном степену, истовремено, а уколико то није могуће, потребно је да се деферизација обави пре деманганизације воде. Један од начина за уклањање њихових редукованих облика ( $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ) из воде је омекшавање воде. Најједноставнији поступак врши се засићењем воде ваздушни кисеоником, при чему се редуковани облици метала преводе у више оксидационо стање ( $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Mn}^{4+}$ ), односно оксидују (Кемер, 2005).

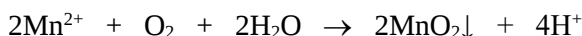
Процес оксидације гвожђа приказан је следећим реакцијама:



Оксидацијом раствореног двовалентног гвожђа ( $\text{Fe}^{2+}$ ) настаје талог гвожђе(III)-хидроксида ( $\text{Fe(OH)}_3$ ).

Гвожђе се може уклонити и биолошком оксидацијом помоћу ферозних бактерија (гвожђевитих бактерија). Поступак се састоји у томе што се у одговарајуће базене који садрже воду са повећаним садржајем гвожђа уводи кисеоник до zasiћења. На зидовима базена ствара се биогена зона са гвожђевим бактеријама, које оксидишу соли гвожђа у биомасу. Након овог третмана вода подлеже хлорисању или озонирању. Предност овог поступка је у томе што не долази до стварања муља који садржи гвожђе.

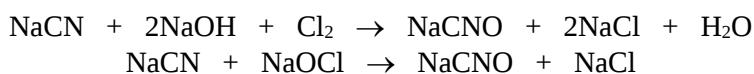
Постројења за деферизацију воде су торњеви са природном промајом или са удувавањем ваздуха помоћу компресора. Уклањање мангана из воде може се, такође вршити процесом оксидације ваздушним кисеоником, при чему настаје нерастворни талог манган(IV)-оксида,  $\text{MnO}_2$ :



Међутим, недостатак је што реакција тече доста споро, а производ реакције манган-диоксид је мање или више хидратисан па се тешко издваја у облику талоба. Да би се постигли бољи резултати у постројења се додаје извесна количина  $\text{MnO}_2$ , који делује аутокаталитички, односно убрзава реакције оксидације и таложeња. Код нових колона се прво врши реакција са калијум-перманганатом да би настао манган-диоксид, а затим се врши оксидација кисеоником. Уколико су гвожђе и манган у облику органометалних једињења или се ради о киселој води, оксидација се врши јачим оксидационим средствима као што су: хлор, озон, хлор-диоксид, калијум-перманганат. Код воде која садржи и гвожђе и манган лакше се уклања манган оксидацијом ваздушним кисеоником за разлику од оних у којима се налази само манган. Већа количина амонијачног азота и хлорида у води отежава процес деманганизације ваздушним кисеоником.

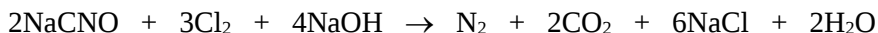
### 13.2.5. Уклањање цијанида оксидацијом

Реакција оксидације се примењује за уклањање цијанида<sup>35</sup> из отпадних вода постројења за прераду руда, производњу синтетичких органских материја и површинске обраде метала. Оксидација се врши хлором или дериватима хлора, у алкалној средини:



Настали цијанат ( $\text{NaCNO}$ ) се оксидује вишком хлора до нетоксичних једињења:

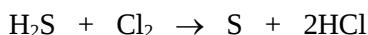
<sup>35</sup> Цијаниди представљају веома токсичну супстанцу за живи свет реципијента.



Процес је веома брз и одвија се у времену од 10 до 30 минута (Кемер, 2005).

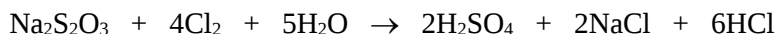
### **13.2.6. Уклањање водоник-сулфида оксидацијом**

Водоник-сулфид ( $\text{H}_2\text{S}$ ) је отрован гас, који се јавља у неким минералним водама. Води даје непријатан мирис, а није пожељан ни као састојак вода за технолошки процес. Водоник-сулфид се из воде уклања оксидацијом хлором до елементарног сумпора или сумпорне киселине:



### **13.2.7. Уклањање хлора из вода редукцијом**

Слободан хлор се из воде може уклонити редукцијом натријум-тиосулфатом, при чему се хлор редукује до хлорида:



## **13.3. Метода неутрализације**

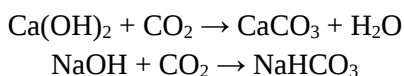
Под појмом неутрализације, уопштено, подразумева се хемијска реакција између киселине и базе при чему настају со и вода. Третман воде применом поступка хемијске неутрализације врши се додавањем одговарајућих супстанци ради подешавања рН вредности воде. Наутрализација се може применити у процесу обраде воде за пиће и осталих потреба становништва (базени и друго), али и код процеса пречишћавања отпадних вода. Код припреме воде за пиће поступак неутрализације се спроводи да би се створили адекватни услови за примену метода које захтевају одговарајућу рН вредност воде, као што су методе таложења, коагулације, флокулације и друго. Отпадне воде су често изразито киселе, односно алкалне, тако да је њихова неутрализација неопходна фаза обраде, без обзира да ли се отпадна вода испушта директно у реципијент или се пре испуштања третира још неком од метода пречишћавања.<sup>36</sup> Поступком неутрализације киселих, односно алкалних отпадних вода, које се директно испуштају у реципијент, није неопходно постићи рН вредност 7 (неутрална средина), већ је дозвољен опсег од 6 до 8,5 или 9, чиме се не угрожава живи свет у реципијенту. У случају биолошког пречишћавања то је опсег рН од 6,5 до 8, што нема негативни утицај на радну микрофлору.

Неутрализација се може извести у „пакетном“ или континуираном режиму. Отпадна вода се задржава у „пакетном“ режиму све док се не достигне захтевани квалитет пре испуштања. Овај поступак је адекватан код постројења за пречишћавање малих количина воде или воде која садржи малу количину отпада и када је проток воде променљив. Поступак са континуалним процесом примењује се код отпадних вода које садрже већу количину отпадних материја, када је проток отпадне воде релативно константан, када су карактеристике отпадне воде непромењиве и када није потребно вршити неутрализацију у неколико фаза. Осим стандардног додавања киселине или

<sup>36</sup> Ово је нарочито значајно код биолошког пречишћавања воде, јер неадекватна рН вредност воде може негативно да утиче на радну микрофлору.

базе, неутрализација се може извршити на разне начине: мешањем киселих и базних отпадних вода, додавањем реагенаса, филтрацијом киселих вода кроз материјале за неутрализацију, апсорпцијом киселих гасова у случају алкалних вода или апсорпцијом амонијака у случају киселих вода. Која од ових метода ће се корисити зависи од количине и концентрације отпадних вода, режима њиховог прилива и цене реагенаса. У току процеса неутрализације може настати талог о чему такође треба водити рачуна приликом избора методе неутрализације. За неутрализацију киселих отпадних вода могу се користити базе: натријум-хидроксид, калијум-хидроксид, натријум-карбонат, амонијум-хидроксид, карбонати калцијума и магнезијума и друго.

Најјефтинији реагенс је кречно млеко<sup>37</sup>. Међутим није препоручљиво користити га за неутрализацију отпадних вода које садрже сумпорну киселину, јер се може издвојити гипс (калцијум-сулфат) који се таложи на зидовима цевовода. Неутрализација алкалних вода се постиже додавањем киселине или киселих отпадних гасова. Применом киселих гасова поред неутрализације отпадне воде, истовремено се врши и ефикасно пречишћавање отпадних гасова. Гасови који могу да се користе су: сумпор-диоксид, угљен-диоксид, оксиди азота и други. Коришћење угљен-диоксида за неутрализацију алкалних отпадних вода има низ предности у односу на киселине ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{HCl}$ ...), јер се услед слабе растворљивости угљен-диоксида смањује опасност од превелике киселости третираних раствора. Такође, настали карбонати имају ширу примену у поређењу са сулфатима и хлоридима, а корозивни и токсични ефекат карбонатних јона је мањи него сулфатних и хлоридних јона. Да би се избегао или смањио губитак угљен-диоксида потребно је користити затворене системе за неутрализацију. Реакције неутрализације се одвијају према следећем механизму:



Економски најприхватљивија могућност неутрализације отпадних вода је коришћење кисело/алкалних токова отпадних вода, уколико постоје у технолошком процесу, којима се може обавити бар делимична неутрализација. Количина средстава за неутрализацију израчунава се аналитичком методом титрације отпадне воде уз примену стандардних раствора. У току извођења самог процеса неутрализације неопходно је вршити интензивно мешање раствора и контролу рН. Реакције неутрализације су углавном јако егзотермне, тако да их треба изводити пажљиво да не би дошло до прегревања. Опрема (судови, пумпе, уређаји за мешање) морају бити заштићени или од материјала који су отпорни на агресивност оваквих отпадних вода и средстава за неутрализацију (Tchobanoglous, Burton, & Stensel, 2003).

<sup>37</sup> Кречно млеко је суспензија честица  $\text{CaCO}_3$  у води.

**Питања за проверу знања:**

1. Која је суштина пречишћавања вода хемијским методама?
2. Објаснити механизам методе хемијског таложења.
3. Које поступке обухватају оксидо-редукционе методе пречишћавања вода?
4. Када се примењује метода хлорисања воде?
5. Који се хлорни препарати употребљавају за хлорисање воде?
6. На којим хемијским процесима се базира дезинфекција воде водоник-пероксидом, пермаганатима и озоном?
7. У које сврхе се примењује поступак пречишћавања воде оксидацијом?
8. Објаснити поступак деферизације и деманганизације воде методом оксидације.
9. Како се врши и којим средствима пречишћавање вода методом неутрализације?
10. Који реагенси се користе за неутрализацију алкалне, а који киселе воде?

**Литература:**

1. Веселиновић, Д., Гржетић, И., Ђармати, Ш., и Марковић, Д. (1995). *Стања и процеси у животној средини*. Београд: Факултет за физичку хемију Универзитета у Београду.
2. Гаћеша, С., и Клашња, М. (1994). *Технологија воде и отпадних вода*. Београд: Југословенско удружење пивара.
3. Далмација, Б. (2010). *Основи управљања отпадним водама*. Нови Сад: Природно-математички факултет, Департман за хемију, биохемију и заштиту животне средине и Удружење за унапређење и заштиту животне средине.
4. Далмација, Б., Агбаба, Ј., и Клашња, М. (2009). *Савремене методе у припреми воде за пиће*. Нови Сад: Природноматематички факултет, Департман за хемију, биохемију и заштиту животне средине.
5. Јокановић, М. (2001). *Токсикологија*. Београд: Савремена администрација Београд.
6. Кемер, Ф. (2005). *Налков приручник за воду*. Београд: Савез инжењера и техничара Србије.
7. Љубисављевић, Д., Ђукић, А., и Бабић, Б. (2004). *Пречишћавање отпадних вода*. Београд: Грађевински факултет Универзитета у Београду.
8. Почуча, Н. (2008). *Екохидрологија (Загађење и заштита вода)*. Београд: Грађевинска књига.
9. Tchobanoglous, G. Burton, F., & Stensel. D. (2003). *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse*. New York: McGraw-Hill Science, Engineering and Mathematics.

**Правна регулатива:**

10. Правилник о опасним материјама у водама, *Службени гласник РС*, бр. 31/1982.
11. Правилник о хигијенској исправности воде за пиће, *Службени лист СРЈ*, бр. 42/98 и 44/99.
12. Правилник о хигијенској исправности воде за пиће, *Службени гласник РС*, бр. 28/2019.





## 14. БИОЛОШКЕ МЕТОДЕ ПРЕЧИШЋАВАЊА ВОДА

### Циљеви поглавља:

- Стицање основних знања о биолошким методама пречишћавања вода
- Упознавање са аеробним методама пречишћавања вода
- Упознавање са анаеробним методама пречишћавања вода

### Резиме:

Биолошке методе пречишћавања вода најчешће се примењују код секундарног поступка пречишћавања и њима се уклањају преостале колоидне честице и растворене органске материје из воде. Биолошко пречишћавање заснива се на активности комплексне микрофлоре, која користи загађујуће органске и део неорганских материја за одржавање животних активности и за стварање нових ћелија. За процесе пречишћавања вода најважнији су микроорганизми из класе бактерија, гљивица и алги. Аеробне методе пречишћавања вода примењују се у обради отпадних вода са малом и средњом концентрацијом органског загађења. Поступци аеробног пречишћавања се деле на поступке са суспендованом микрофлором и поступке са микрофлором имобилисаном на погодном инертном носачу. Основна карактеристика анаеробног пречишћавања је могућност пречишћавања отпадне воде са много већом концентрацијом загађења. Процес анаеробног пречишћавања заснован је на метанском врењу органског загађења отпадних вода.

### Summary:

Biological methods of water purification are most frequently used in secondary water treatment for the removal of the remaining colloidal particles and dissolved organic matter. Biological purification is based on the activity of complex micro-flora which uses polluting organic matter and part of inorganic matter for performing some vital activities and formation of new cells. The most important microorganisms that are involved in the biological purification of water belong to bacteria, fungi, and algae. Aerobic methods of water purification are used in the treatment of wastewaters with a low or medium concentration of organic pollutants. Aerobic purification can be divided into suspended micro-flora processes and the processes using micro-flora immobilized on a suitable inert support. The main characteristic of anaerobic treatment is the possibility of wastewater treatment with a much higher concentration of pollution. The process of anaerobic treatment is based on methane fermentation of organic wastewater pollution.

Суштину метода биолошког пречишћавања воде чине биохемијски процеси којима се одстрањују разградиве органске и део неорганских материја из воде. У ту сврху користе се различите врсте микроорганизама. У постројењима за биолошко пречишћавање воде одвијају се процеси слични онима који се природно дешавају код самопречишћавања воде, када се у њу унесе загађујућа супстанца. Разлика је једино у томе што се у биореактору стварају повољни услови којима се убрзава биолошки процес, чиме се знатно смањује време извођења. Такође, простор у коме се одвија процес је ограничен (Веселиновић и др., 1995).

Сваки поступак биолошког пречишћавања је специфичан и захтева детаљно познавање квалитативног и квантитативног састава воде која се третира, а самим тим и одговарајућу врсту флоре и фауне која се примењује. Разноврсна микрофлора користи загађујуће органске и поједине неорганске материје из воде за одржавање животних активности и за стварање нових ћелија. Органска материја се у овом процесу не губи, већ се само из раствореног облика трансформише у ћелијску биомасу. Да би деловање микроорганизама било ефикасно, као биолошки реактор, потребно је да се остваре одређени услови околине – еколошки фактори. Морају се испунити биотички услови, односно утицај од стране других живих организама и абиотички, односно физичко-хемијски услови средине као што су: температура, одговарајућа концентрација и врста загађујућих супстанци у отпадним водама, рН вредност, концентрација кисеоника, интензитет светлости, мешање и друго (Кристофоровић-Илић и др., 1998).

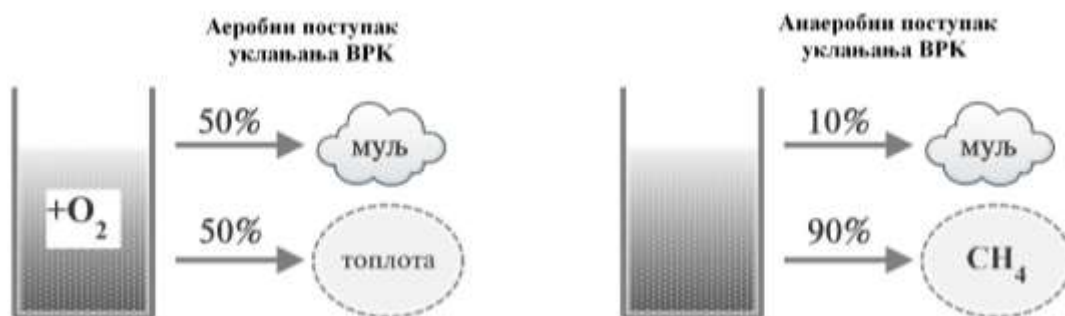
Микробиолошки процеси се одвијају у присуству кисеоника – *аеробни* и у одсуству слободног кисеоника – *анаеробни*, односно помоћу аеробних или анаеробних микроорганизама. Разлика ова два основна процеса је у путевима биолошке оксидације органске материје (Љубисављевић, Ђукић и Бабић, 2004).

На примеру глукозе приказана је разлика између аеробног и анаеробног процеса (Гаћеша и Клашња, 1994):



Аеробним процесом настаје велика количина слободне енергије, али долази и до брзог и интензивног раста биомасе микроорганизама, што омогућава и брже пречишћавање воде. Анаеробним процесом настаје мања количина слободне енергије, али су крајњи продукти гасовите компоненте (метан и угљен-диоксид), који се могу користити као енергенти – биогаз. Код анаеробних процеса спорији је раст биомасе, а самим тим процес је спорији, а ефект пречишћавања је мањи, слика 14.1. Из поменутих разлога се, након аеробне обраде воде, може добити знатно бољи квалитет воде, док се након анаеробне обраде врши додатна аеробна обрада. При овим процесима треба имати у виду и количину насталог муља.

Аеробним поступцима се органске материје реакцијом оксидације могу трансформисати у крајње продукте као што су:  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{SO}_2$  или биосинтезом у биомасу. Да би се у току биолошког пречишћавања вода одржали аеробни услови потребно је стално доводити потребну количину кисеоника. Поступак аеробног пречишћавања вода је у пракси заступљенији од анаеробног, које се најчешће користи за пречишћавање отпадних вода са великим садржајем биоразградиве органске материје (Далмација, 2001).



Слика 14.1. Аеробни и анаеробни процеси уклањања ВРК (модификовано према Љубисављевић, Ђукић и Бабић, 2004)

Биолошко пречишћавање се у третману отпадних вода широко примењује, јер се на економичан начин и са довољном ефикасношћу (80-90%) из воде могу уклонити органске загађујуће материје. Иако се првенствено примењује за уклањање органских загађујућих супстанци из отпадне воде, може се користити и за уклањање појединих биогених елемената, као што су азот и фосфор (Уредба о граничним вредностима емисије загађујућих материја у воде и роковима за њихово достизање, 2016). Такође, примењује се и за уклањање органских фракција муља који настаје током примарног пречишћавања (таложења), за разградњу вишка биомасе након секундарне обраде муља, што се назива *биолошка стабилизација муља* или *дигестија*.

Биолошка обрада отпадне воде обавља се након претходног физичког, односно механичког пречишћавања, али се може изводити и као независан поступак. Након уклањања суспендованих и колоидно диспергованих честица, које могу да се талоче, преостале колоидне честице и биолошки разградиве органске супстанце се из воде морају уклонити секундарним пречишћавањем, односно применом биолошких метода. Овакав третман отпадних вода је од изузетног значаја за очување ресурса питке воде, а посебно подземних вода које су због интензивне индустријализације значајно угрожене.

Након завршеног биолошког процеса пречишћавања обавља се поступак издвајања микрофлоре из воде таложењем, пошто ћелије микроорганизама имају свој облик и масу, па се стога могу третирати као чврсте честице. Издвојена биомаса у виду талоба садржи концентровану органску материју, зато мора проћи третман накнадне обраде, како би се учинила безбедном по животну средину и одложила у природу. Такође, након биолошког третирања, вода се мора пречистити од мале количине заостале органске материје, која је биолошки неразградива, али и од продуката метаболизма које је микрофлора излучила у воду (Далмација, 2010).

## 14.1. Аеробне методе пречишћавања вода

Аеробни процеси се углавном примењују за обраду воде са малом и средњом концентрацијом органских материја. Два основна начина аеробног пречишћавања воде су (Tchobanoglous, Burton, & Stensel, 2003):

- са суспендованом микрофлором и
- процес са имобилисаном микрофлором.

### 14.1.1. Аеробни поступци са суспендованом микрофлором

Поступци са суспендованом микрофлором користе се првенствено за обраду великих количина слабо и средње загађених отпадних вода, као што је комунална отпадна вода.

Најчешће се примењују поступци:

- са биолошким активним муљем,
- аеробне аерисане лагуне и
- аеробна (плитка) језера.

Поступак са биолошким активним муљем је најчешће примењивани биолошки поступак за пречишћавање отпадних вода. Активни муљ<sup>38</sup> чини велики број, односно више слојева микроорганизама, који се суспендују у воду у облику флокула. По физичкој структури активни муљ представља лебдеће пахуљице велике површине. Шема поступка са активним муљем приказана је на слици 14.2.



Слика 14.2. Шема поступка са активним муљем  
(модификовано према Љубисављевић, Ђукић и Бабић, 2004)

Вода коју треба пречистити уводи се у биореактор у коме је активни муљ. У биореактору се одиграва биолошка оксидација загађујућих органских супстанци из воде, односно теку, практично истовремено, реакције (Почуча, 2008; Кемер, 2005):

- *дисимилације* – оксидација органске материје:

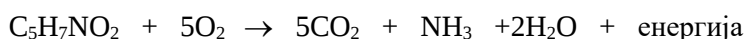
$\text{COHNS} + \text{O}_2 + \text{микрофлора} \rightarrow \text{CO}_2 + \text{NH}_3 + \text{други производи} + \text{енергија}$   
 органска материја  
 отпадне воде

- *асимилације* – синтеза нових ћелија микрофлоре ( $\text{C}_5\text{H}_7\text{NO}_2$ ):

$\text{COHNS} + \text{O}_2 + \text{микрофлора} + \text{енергија} \rightarrow \text{C}_5\text{H}_7\text{NO}_2$   
 органска материја  
 отпадне воде

- *ендогена респирација* – аутооксидације ћелија микрофлоре:

<sup>38</sup> Биолошки активни муљ се назива биолошки активна биомаса.



Поступци пречишћавања воде биолошки активним муљем разликују по типу и раду реактора. Неки од стандардних су: конвенционални поступак, поступак са степенастом аерацијом, поступак реактора са потпуним мешањем, поступак са продуженом аерацијом, контактни поступак, поступак са активним муљем и аерацијом чистим кисеоником<sup>39</sup>.

*Поступак аерисане лагуне* је сличан природном процесом самопречишћавања воде, али се убрзава додавањем потребне количине кисеоника за биолошку оксидацију. Лагуне са аерацијом су велики отворени земљани базени. Поступак аеробног пречишћавања воде обавља се удувавањем кисеоника површинским аераторима или дифузерима. Дифузерима се ваздух уноси при дну лагуне, што је повољно код области са хладнијом климом. Дубина лагуна је обично око 3 – 4 m. Време задржавања отпадне воде у лагунама је 3 – 30 дана (углавном 5 – 8 дана). Базени се морају довољно удаљити од насеља због појаве непријатних мириса. Због величине базена потребно је обезбедити већи простор.

*Код поступака са аеробним језерима* користе се велики базени, као и код поступка аеробне аерисане лагуне. У великим и плитким земљаним базенима – *аеробна језера*, пречишћавање воде се врши уз минималну регулацију, практично кроз процес природног самопречишћавања. Из тих разлога је и овај процес најсличнији природном самопречишћавању вода. Потребна количина кисеоника обезбеђује се фотосинтезом алги, а бактерије које разграђују загађење стварају материје неопходне за раст алги. Додатне количине кисеоника могу се обезбедити дифузијом атмосферског кисеоника кроз површину воде. Време задржавања отпадне воде у аеробним језерима је дуго, обично не мање од 90 дана (Љубисављевић, Ђукић и Бабић, 2004).

#### **14.1.2. Аеробни поступци са имобилисаном микрофлором**

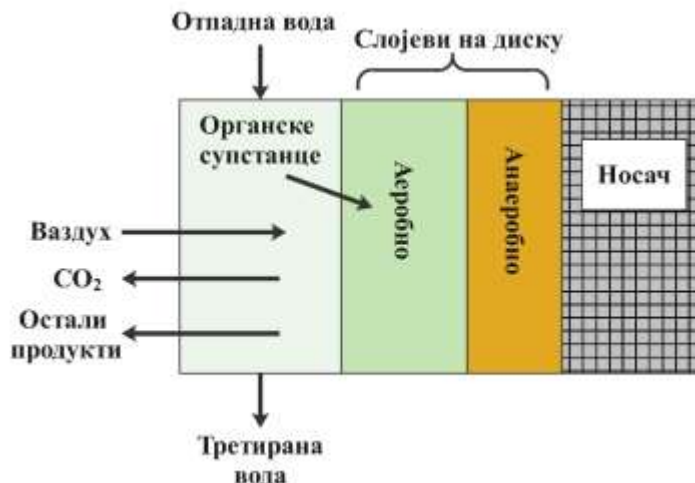
Поступци се користе за пречишћавање комуналних отпадних вода мањих насеља и за претходну обраду појединих индустријских вода (Gavrilescu & Macoveanu, 2000).

Аеробно пречишћавање отпадне воде са имобилисаном (фиксираним) микрофлором на погодном инертном носачу се често назива и *аеробна биофилтрација*.

Примена ових поступака се нарочито интензивирала након увођења пластичних инертних носача микрофлоре – биофилтери. Биофилтери нису класични филтери, већ имају улогу да створе површину за настанак танког слоја микроорганизама – биофилма. Поступак пречишћавања воде је сличан поступку са активним муљем. То је аеробан процес у коме се биолошка оксидација органског загађења из воде обавља помоћу имобилисане аеробне микрофлоре. И у овом случају теку процеси: дисимилације, асимилације и ендогене респирације. Разлика у односу на активни муљ је у механизму транспорта органске материје и кисеоника у фиксираним биофилму. Ваздух, односно кисеоник дифундује кроз слој воде у коме је потопљен биофилтер. Микрофлора на биофилтеру метаболише органску материју. У току процеса долази до постепеног раста дебљине слоја биофилма, услед настајања нових ћелија. Аеробна зона биофилма – дубина слоја микроорганизама до које допире кисеоник ограничена

<sup>39</sup> Детаљније објашњење ових поступака се може наћи у специјализованој литератури која је дата на крају поглавља.

је на 0,05 – 0,1 mm од укупне дебљине биофилма која обично износи 0,1 – 2 mm. Остали део биофилма до површине носача је у анаеробној зони, јер до ње не долази кисеоник и у којој доспева само незнатни део органске материје, слика 14.3. Из тог разлога временом долази до спирања биофилма, а на слободној површини формира се нови слој микроорганизама (Љубисављевић, Ђукић и Бабић, 2004).

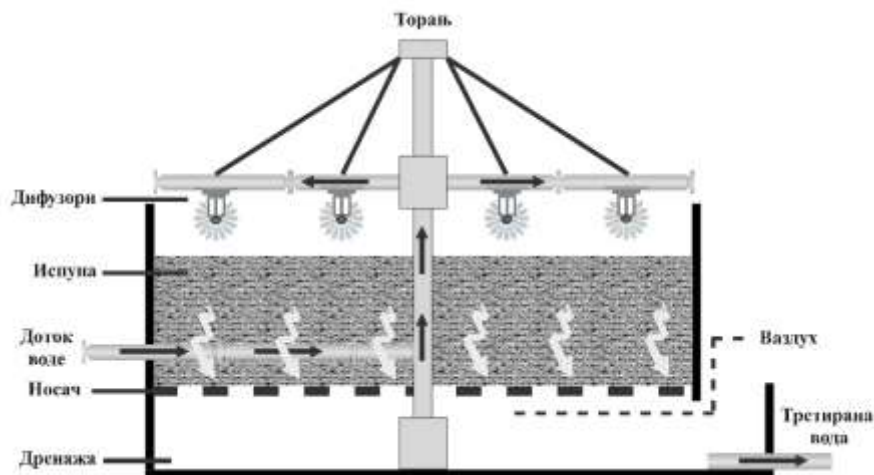


Слика 14.3. Слојеви биофилма и материјални токови при биофилтрацији

Од поступака аеробне биофилтрације данас се највише користе:

- капајући филтер и
- биофилтер са ротирајућим плочама – биодиск.

*Капајући филтер* састоји се од испуне филтера велике пропустљивости. На површини носача се формира танак слој имобилисаних ћелија микроорганизама, односно биофилма, слика 14.4.

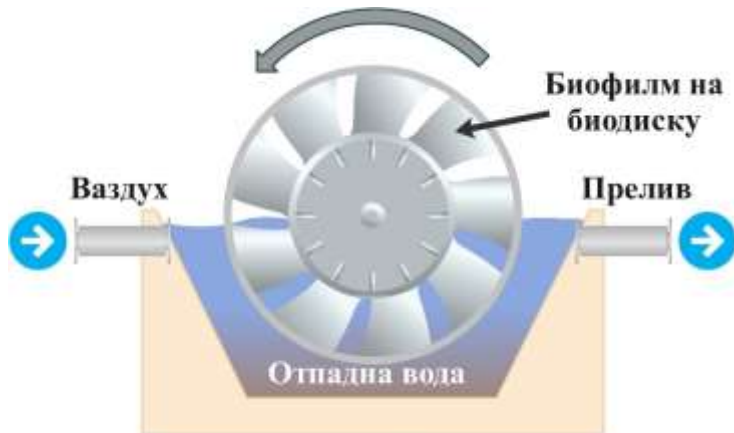


Слика 14.4. Шема рада капајућег филтера (модификовано према US EPA, 2000)

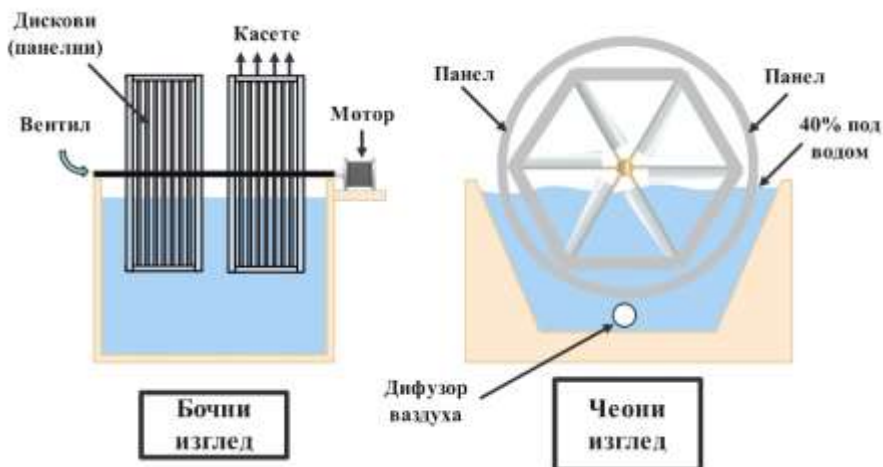
Отпадна вода се распршује по врху суда, а одатле се цеди кроз испуну, скупља на дну филтера и одводи у секундарни таложник, где се уклањају суспендоване честице из

отпадне воде и честице биофилма које су спране. Аерација се врши природним проветравањем. Капајући филтери се примењују за мање протоке вода. Код нискоефикасних филтера као носач користи се речни шљунак или каме, а код високоефикасних филтера носач је обично од камена. Могуће је постављање више филтера у серији.

*Биодиск* је добио назив по ротирајућем пластичном перфорираном диску на коме је имобилисана микрофлора – аеробни биофилтер. Дискови се постављају на малом растојању уроњени до половине у суд са водом која се пречишћава, слика 14.5. и 14.6.



Слика 14.5. Шематски приказ процеса биофилтрације на биодиску



Слика 14.6. Бочни и чеони пресек биодиска (модификовано према WTE, 2020)

Постоје и други поступци са имобилисаном микрофлором за аеробно пречишћавање појединих индустријских отпадних вода, чија је основа модификован поступак капајућег или биодиск филтера, као што су: аерисани биолошки филтери, биофилтер са флуидизованим слојем и други.

## 14.2. Анаеробне методе пречишћавања вода

Анаеробним поступцима се углавном пречишћавају воде са већом концентрацијом

загађујућих супстанци, тако да се и примењују за третман индустријских вода, али нису погодни за третман градских отпадних вода (Јованчићевић, 2006). Анаеробни процес биолошког пречишћавања воде је јефтин, а као производ добија се гас, који се може применити за производњу топлоте или електричне енергије. Гасови који настају приликом анаеробног биолошког третмана су:  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{N}_2$ .

Анаеробног пречишћавање вода заснова се на метанском врењу супстанци које стварају органско загађење отпадних вода и представља низ биохемијских реакција у које учествују анаеробне бактерије. Реакцијама се органска материја преводи у смешу гасова, углавном метан и угљен-диоксид. Процес разлагања се обавља у три фазе:

- у првој фази се сложене органске материје нерастворне у води преводе се у растворан облик. То је процес хидролизе катализован ензимима које стварају бактерије анаеробног врења. Пошто се у овој фази супстанце преводе у растворан облик често се назива и фаза хидролизе, разградње или ацидогенезе.
- у другој фази растворене органске материје (без обзира да ли су унете у систем или су настале у првој фази), под дејством бактерија киселинског врења, се преводе у различите метаболите или у биомасу самих бактерија. Органска материја, која је већ била присутна у растворном облику брже се разграђује од оне која је прошле претходну (прву) фазу. Овим се добија знатна количина органских киселина, па се и ова фаза назива фазом киселинског врења или ацетогенезе.
- трећа фаза се одиграва под утицајем бактерија метанског врења. У овој фази се претходно формиране органске киселине, дејством бактерија, разлажу на метан и угљен-диоксид, уз стварање и одређене количине бактеријске биомасе. Ова је фаза метаногенезе.

Све три фазе разлагања органских супстанци обављају се сукцесивно у истом биореактору. Међутим, због значајне разлике у физиолошким особинама између бактерија киселинског и метанског процеса у биореакторима није могуће постићи оптималне услове, па се најчешће раздвајају средине у којима делују поменуте врсте микроорганизама, што додатно повећава трошкове.

Ефикасност анаеробног процеса зависи од великог броја фактора: врсте органске супстанце која се обрађује, особина бактерије анаеробног процеса, времена боравка у биореактору, температуре, рН вредности и друго (Јокановић, 2001; Tchobanoglous, Burton, & Stensel, 2003).

Постројење за анаеробно пречишћавање воде обично се састоји од суда за прихват воде, биореактора и суда за прихват пречишћене отпадне воде, као и пропратну опрему: измењивач топлоте, пумпе, мешалице, инсталације за прихват, складиштење и пречишћавање биогаса, опрему за вођење и контролу процеса и слично.

Разлике у технолошким поступцима везане су за тип реактора, а њихова уобичајена подела је на реакторе прве и реакторе друге генерације.

*Реактори прве генерације* су први реактори који су развијени и још увек су највише заступљени анаеробни реактори.

*Реактор са клипним током* је погодан за пречишћавање отпадних вода са изузетно великом концентрацијом суспендованих честица и великом концентрацијом

органског загађења. Због једноставне конструкције, лаког одржавања и надзора, а самим тим и мале цене, погодан је за мале капацитете. Овај реактор је обично укопан у земљу због мањих грађевинских трошкова и боље термоизолације.

*Реактор са потпуним мешањем* примењује се за обраду отпадних вода са великом концентрацијом суспендованих честица. Због мале брзине раста метаногених бактерија, ефикасност пречишћавања се може остварити само код дужег времена задржавања воде. Овај тип реактора се најчешће користи.

*Реактор са анаеробним контактним поступком* представља комбинацију реактора са потпуним мешањем и уређаја за сепарацију флокулисане анаеробне микрофлоре (анаеробног муља) од пречишћене отпадне воде.

*Реактори друге генерације* су развијени за анаеробно пречишћавање слабо и средње загађених отпадних вода. Њихова карактеристика је првенствено дуго време задржавања воде и велика концентрација микрофлоре унутар реактора. Велика концентрација анаеробне микрофлоре у реактору омогућава да се слабо и средње загађене отпадне воде са успехом пречишћавају и на собним температурама. Као непокретни чврст инертни носач имобилисаног биофилма анаеробне микрофлоре користе се најразноврснији материјали (камен, керамика, дрво, стакло), а у последње време највише пластични материјали.

### 14.3. Биолошки поступци уклањања фосфора

Биолошка метода уклањања фосфора базира се на томе да поједине врсте бактерија користе фосфор или његова једињења (ортофосфате и полифосфате) као извор енергије, чиме се она издвајају из воде. У ту сврху користе се анаеробни микроорганизми (Далмација и Иванчев-Тумбас, 2003).

За биолошку деградацију фосфора неопходни су анаеробни услови и одсуство нитрата, јер они неповољно утичу на метаболичке процесе бактерија које користе фосфате. Овим поступком уклања се само око 10 – 30% фосфора. Међутим, коришћењем специјално развијених биолошких метода, проценат уклоњеног фосфора се може значајно повећати (Далмација, 2000).

**Питања за проверу знања:**

1. Објаснити механизам биолошког пречишћавања вода.
2. Како се класификују микроорганизми?
3. Објаснити основе аеробног пречишћавања воде.
4. Који се поступци аеробног пречишћавања воде најчешће користе?
5. Како се врши аеробно пречишћавање са имобилисаном микрофлором?
6. Која је основна карактеристика анаеробног пречишћавања вода?
7. Шта је метанско врење?
8. Наведите фазе метанског врења.
9. Како се из воде уклања фосфор биолошким пречишћавањем воде?

**Литература:**

1. Веселиновић, Д., Гржетић, И., Ђармати, Ш., и Марковић, Д. (1995). *Стања и процеси у животној средини*. Београд: Факултет за физичку хемију Универзитета у Београду.
2. Gavrilescu, M., & Macoveanu, M. (2000). Attached-growth process engineering in wastewater treatment. *Bioprocess Engineering*, 23, 95–106.
3. Гаћеша, С., и Клашња, М. (1994). *Технологија воде и отпадних вода*. Београд: Југословенско удружење пивара.
4. Далмација, Б. (2000). *Контрола квалитета вода у оквиру управљања квалитетом*. Нови Сад: Институт за хемију, Природно-математички факултет Универзитета у Новом Саду.
5. Далмација, Б. (2001). Проблеми квалитета вода у Републици Србији. У: *Зборник IV Југословенски симпозијум Хемија и заштита животне средине – Зрењанин*, (стр. 11-13). Београд: Српско хемијско друштво.
6. Далмација, Б. (2010). *Основи управљања отпадним водама*. Нови Сад: Природно-математички факултет, Департман за хемију, биохемију и заштиту животне средине и Удружење за унапређење и заштиту животне средине.
7. Далмација, Б., и Иванчев-Тумбас, И. (2003). *Управљање квалитетом вода са аспекта оквирне директиве Европске уније о водама*. Нови Сад: Департман за хемију, Природно-математички факултет Универзитета у Новом Саду.
8. Јованчићевић, Б. (2006). *Дуготрајне органске загађујуће супстанце*. Београд: Хемијски факултет у Универзитета Београду.
9. Јокановић, М. (2001). *Токсикологија*. Београд: Савремена администрација.
10. Кемер, Ф. (2005). *Налков приручник за воду*. Београд: Савез инжењера и техничара Србије.
11. Кристофоровић-Илић, М., Радовановић, М., Вајагић, Л., Крњетин, С., Обркнежев, Р., Јефтић, З., и Фолић, Р. (1998). *Комунална хигијена*. Нови Сад: Прометеј.
12. Љубисављевић, Д., Ђукић, А., и Бабић, Б. (2004). *Пречишћавање отпадних вода*. Београд: Грађевински факултет Универзитета у Београду.
13. Почуча, Н. (2008). *Екохидрологија (Загађење и заштита вода)*. Београд: Грађевинска књига.
14. Tchobanoglous, G. Burton, F., & Stensel. D. (2003). *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse*. New York: McGraw-Hill Science, Engineering and Mathematics.
15. US EPA. (2000). Wastewater Technology Fact Sheet - Trickling Filters. Washington: United States Environmental Protection Agency (US EPA). [https://www3.epa.gov/npdes/pubs/trickling\\_filt\\_nitrification.pdf](https://www3.epa.gov/npdes/pubs/trickling_filt_nitrification.pdf).
16. WTE. (2020). Sewage Treatment Systems. United Kingdom Water Technology Engineering (WTE). <https://www.wte-ltd.co.uk/>.

**Правна регулатива:**

17. Уредба о граничним вредностима емисије загађујућих материја у воде и роковима за њихово достизање, *Службени гласник РС*, бр. 67/2011, 48/2012 и 1/2016.







## 15. КОМБИНОВАНЕ МЕТОДЕ ПРЕЧИШЋАВАЊА ВОДА

### Циљеви поглавља:

- Упознавање са комбинованим методама пречишћавања вода
- Стицање основних знања о пречишћавању вода земљиштем
- Стицање основних знања о олигодинамичким методама пречишћавања вода

### Резиме:

Комбиноване методе за пречишћавање вода обухватају пречишћавање вода земљиштем и олигодинамичке методе. Процеси пречишћавања вода земљиштем су комплексни процеси уклањања загађујућих супстанци из воде који се одигравају на површини и у горњем, површинском слоју земљишта. У пречишћавању учествују микроорганизми присутни у земљишту и биљке. Три најзаступљенија поступка пречишћавања воде земљиштем су наводњавање земљишта отпадном водом, брза инфилтрација отпадне воде кроз земљиште и преливање земљишта отпадном водом. Олигодинамичке методе пречишћавања вода базирају се на бактериоидном деловању малих количина јона метала. Олигодинамичке методе пречишћавања вода се заснивају на употреби тешких метала и њихових једињења као дезинфекционих средстава. Највећу примену имају јони сребра, али и јони других метала, као што су јони бакра, цинка, олова, гвожђа. Међутим, делотворне концентрације ових метала су сувише велике да би се они могли користити континуално за дезинфекцију воде за пиће или за технолошке сврхе.

### Summary:

Combined methods of water purification include methods of water purification through the soil and oligodynamic methods. Water purification through soil is a complex process of removal of pollutants from water by its incorporation on the surface and upper layer of the soil. The treatment is carried out by means of soil microorganisms and plants. The three most common methods of water purification through the soil are soil irrigation by wastewater, quick infiltration of wastewater through the soil, and soil flooding with wastewater. Oligodynamic methods of water purification are based on the use of heavy metals and their compounds as disinfectants. Silver ions are most commonly applied, but other metal ions like copper, zinc, lead, iron ions, can also be used. However, efficient concentrations of these metals are too high to be used continuously for the disinfection of drinking water or technological purposes.

Од комбинованих методе за обраду вода значајне су:

- пречишћавање вода земљиштем,
- олигодинамичке методе пречишћавања вода.

## 15.1. Пречишћавање вода земљиштем

Пречишћавање отпадне воде земљиштем је један од најчешће примењиваних природних система пречишћавања вода (NTS, енгл. *Natural Treatment Systems*). Најчешће се користи код мањих насеља, која имају мање од пет хиљада становника (Sonkamble et al., 2018).

Методе пречишћавања воде земљиштем се заснивају на физичко-хемијским, хемијским и биолошким процесима, који се одигравају на површини и у горњем, површинском слоју земљишта, а којима се уклањају загађујуће супстанце из воде (Веселиновић и др., 1995).

У процес пречишћавања укључени су микроорганизми из земљишта и биљке. При интеракцији земљишта и загађујућих материја из воде одигравају се процеси хемијског таложења, адсорпције и јонске измене. Процеси се морају контролисати да не би дошло до продирања штетних материја у подземне воде или до оцеђивања у површинске водотокове (Далмација, 2010). То се најбоље постиже регулацијом количине отпадне воде којом се натапа земљиште. Отпадна вода се додаје у оној количини која неће довести да преовладају анеробни услови у земљишту (Гаћеша и Клашња, 1994).

Процедура пречишћавања вода земљиштем примењује се код секундарног третмана пречишћавања воде за уклањање органског загађења из отпадне воде и код терцијарног третмана првенствено за уклањање нутријената (Љубисављевић, Ђукић и Бабић, 2004).

Најчешће се користе следећи модели пречишћавања земљиштем: наводњавање земљишта отпадном водом, брза инфилтрација отпадне воде кроз земљиште и преливање земљишта отпадном водом (Почуча, 2008).

*Наводњавање земљишта отпадном водом* се сматра најпоузданијим моделом пречишћавања и њиме се добија најбољи квалитет отпадне воде, тако да се и најчешће примењује. Приликом наводњавања обрадивог земљишта отпадном водом, око 50 – 70% доведене отпадне воде усвајају биљке, а остатак се процеђује кроз доње слојеве земљишта. Количина отпадне воде која се пречишћава, варира у зависности од низа фактора, као што су: клима, врста усева, карактеристике земљишта, карактеристике отпадне воде и друго. Избор биљака које ће се гајити је разноврстан и зависи, такође, од низа фактора: од капацитета усвајања азота, количине воде коју усвајају, толеранције према повећаној количини влаге у земљишту, отпорности на загађење отпадним водама и друго. Према наведеним условима, најпогодније су разне врсте трава.

*Брза инфилтрација* подразумева периодично наливање отпадне воде у плитке канале или у плитке базене, ископане на земљишту које је велике пропустљивости, као што је песковито и шљунковито земљиште. Вода се пречишћава током процеђивања кроз слојеве земље. Уколико се не дозвољава да пречишћена отпадна вода доспе у подземне воде, сакупља се у одговарајуће канале или извлачи на површину преко

система бунара. Највећи део отпадне воде се процеђује, а само мали део испарава. Код овог поступка најчешће нема вегетације или је она занемарљива.

*Преливање земљишта* је процес који се може применити код благо нагнутог глатког земљишта. Земљиште мора бити мале водопропустљивости, обрасло биљним покривачем. Отпадна вода се полива на врху нагиба, затим у танком слоју тече низ нагиб и сакупља се у подножју. Од укупне количине отпадне воде која се прелива, око 30% испарава и биљке је апсорбују, 10 – 20% се процеђује кроз земљу, а сакупља се 50 – 60% пречишћене отпадне воде. Важно је извршити адекватан избор биљака, чиме се повећава капацитет и ефикасност пречишћавања.

Биомаса која се добија у току пречишћавања воде углавном се не користи, јер може да садржи патогене микроорганизме или токсичне супстанце. Из тих разлога се пречишћавање земљиштем може применити само када је концентрација загађујућих супстанци мала (Правилник о опасним материјама у води, 1982).

## 15.2. Олигодинамичке методе пречишћавања вода

Јони појединих метала делују бактерицидно, што је познато као олигодинамички ефекат метала (Кемер, 2005). Ова особина метала може се користити као један од поступака за дезинфекцију воде. У ту сврху најчешће се примењује чисто сребро. Сребро припада групи тешких метала и веома се слабо раствара у води, тако да су довољне и мале концентрације јона сребра у води да би се уништили нижи организми, као што су алге, бактерије и друго (Јокановић, 2001).

Данас се за дезинфекцију воде сребром користи поступак електролитичког растварања сребра у води. Тим поступком се, путем једносмерне струје, у воду уноси 0,05 – 0,1 mg/l јона сребра. Механизам олигодинамичког ефекта сребра још увек није у потпуности разјашњен, иако постоји више хипотеза. Поступак је погодан за мању количину воде, али се не препоручује за воде са великим садржајем хлорида и/или органских састојака. Сребро је погодно јер дуготрајно штити воду и нема неповољни утицај на органолептичка својства воде, као што је случај приликом коришћења хлора. Основни недостатак поступка је релативно дуго време потребно за дезинфекцију (Далмација, 2000).

Сличан олигодинамички ефекат имају и јони других метала, као што су бакар, гвожђе, цинк, олово, али су делотворне концентрације једињења ових метала сувише велике, да би се могли користити континуално за дезинфекцију воде (Јованчићевић, 2006).

Важно је да коришћење јона метала у поступку дезинфекције воде врши стручно лице, јер нестручним коришћењем може доћи до тешких здравствених проблема.

**Питања за проверу знања:**

1. Које су основне комбиноване методе пречишћавања вода?
2. Објаснити основу процеса пречишћавања воде земљиштем.
3. Како се врши пречишћавање наводњавањем, брзом филтрацијом и преливањем земљишта?
4. Објаснити механизам олигодинамичке методе пречишћавања вода.
5. Који метали, осим сребра, имају олигодинамички ефекат?

**Литература:**

1. Веселиновић, Д., Гржетић, И., Ђармати, Ш., и Марковић, Д. (1995). *Стања и процеси у животној средини*. Београд: Факултет за физичку хемију Универзитета у Београду.
2. Гаћеша, С., и Клашња, М. (1994). *Технологија воде и отпадних вода*. Београд: Југословенско удружење пивара.
3. Далмација, Б. (2000). *Контрола квалитета вода у оквиру управљања квалитетом*. Нови Сад: Институт за хемију, Природно-математички факултет Универзитета у Новом Саду.
4. Далмација, Б. (2010). *Основи управљања отпадним водама*. Нови Сад: Природно-математички факултет, Департман за хемију, биохемију и заштиту животне средине и Удружење за унапређење и заштиту животне средине.
5. Јованчићевић, Б. (2006). *Дуготрајне органске загађујуће супстанце*. Београд: Хемијски факултет у Универзитета Београду.
6. Јокановић, М. (2001). *Токсикологија*. Београд: Савремена администрација Београд.
7. Кемер, Ф. (2005). *Налков приручник за воду*. Београд: Савез инжењера и техничара Србије.
8. Љубисављевић, Д., Ђукић, А., и Бабић, Б. (2004). *Пречишћавање отпадних вода*. Београд: Грађевински факултет Универзитета у Београду.
9. Почуча, Н. (2008). *Екохидрологија (Загађење и заштита вода)*. Београд: Грађевинска књига.
10. Sonkamble, S., Wajihuddin, M., Jampani, M., Sarah, S., Somvanshi, V., Ahmed, S., Amerasinghe, P., & Boisson, A. (2018). Natural treatment system models for wastewater management: A study from Hyderabad, India. *Water Science and Technology*, 77(2), 479–492.

**Правна регулатива:**

11. Правилник о опасним материјама у водама, *Службени гласник СРС*, бр. 31/1982.







## 16. ПОТРЕБАН СТЕПЕН ПРЕЧИШЋАВАЊА ОТПАДНИХ ВОДА, МОНИТОРИНГ, АСПЕКТИ БЕЗБЕДНОСТИ И ЗДРАВЉА НА РАДУ

### Циљеви поглавља:

- Упознавање са методологијом која се примењује за одређивање потребног степена пречишћавања отпадних вода
- Стицање основних знања о мониторингу, тј. основама контроле процеса на постројењима за третман отпадних вода,
- Упознавање са основама безбедности и здравља на раду у постројењима за третман отпадних вода

### Резиме:

Прорачун потребног степена пречишћавања било пијаће или отпадне воде је дефинисан одговарајућим законским актима (закон, уредба, правилници...), док се његово достизање у пракси реализује применом различитих јединичних операција третмана, које контролишу компетентне институције. Пројектовање постројења је важно и због чињенице да се оно пројектује за оптималан рад у најмање наредних 30 година. Применом мерно-информационих система у управљању процесима третмана отпадних вода постиже се двоструки ефекат: виши квалитет третиране воде уз уштеду времена, енергије и материјала. Управљање професионалним ризиком на постројењима за третман вода представља сложен задатак који се мора анализирати са више аспеката. Процена реалне професионалне изложености оператера на овим постројењима као и утицај на ментално и физичко здравље могућа је једино систематичном анализом услова радне средине.

### Summary:

The calculation of the required degree of purification of either drinking or waste water is defined by appropriate legal acts (law, regulation, rulebooks ...), while its achievement in practice is realized by applying various unit treatment operations, which are controlled by competent institutions. The design of the plant is also important due to the fact that it is designed for optimal operation for at least the next 30 years. The application of measurement and information systems in the management of wastewater treatment processes achieves a double effect: higher quality of treated water while saving time, energy and materials. Occupational risk management in water treatment plants is a complex task that must be analyzed from several aspects. Assessment of the real occupational exposure of operators at these facilities as well as the impact on mental and physical health is possible only through a systematic analysis of working environment conditions.

Потребан степен пречишћавања отпадних вода дефинише се одговарајућим позитивним законским мерама (закон, уредбе и правилници), док се његова реализација постиже применом различитих процеса тј. јединичних операција пречишћавања отпадних вода. Спровођење ових мера контролишу надлежне институције.

У пракси се приликом одређивања потребног степена пречишћавања отпадних вода (PSP) јављају се два основна приступа (комбиновани приступ):

1. Применом стандарда за реципијент (имисионих стандарда) - одређивање PSP-а на основу захтеваног квалитета воде у реципијенту након мешања са пречишћеном отпадном водом (мешавина речне и отпадне воде из система градске канализације). За све загађујуће супстанце за које у води у реципијенту после мешања са отпадном водом није задовољен услов:  $C_M < C_{DOZ}$  (MDK за реципијент, односно граничне вредности имисије - GVI) неопходно је пречишћавање,
2. Применом стандарда за ефлуент (емисиони стандарди) - одређивање PSP-а на основу захтеваног квалитета пречишћене воде, тј. ефлуента без разматрања квалитета воде у реципијенту. За све загађујуће материје за које није задовољен услов:  $C_K < C_{DOZ}$  (MDK за ефлуент, односно граничне вредности емисије - GVE) неопходно је пречишћавање.

Пројектовање постројења за прераду отпадних вода представља изузетно сложен проблем и захтева ангажовање стручњака различитих профила:

- грађевинских инжењера,
- технолога,
- биолога,
- машинских инжењера,
- инжењера електронике,
- инжењера зр, зжс и зоп.

Централно постројење за третман отпадних вода пројектују се тако да се задовоље потребе које ће се јавити и до 30 година након изградње (аналогно капацитету регионалне санитарне депоније комуналног чврстог отпада). Основни улазни подаци за пројектовање постројења су (Љубисављевић, Ђукић и Бабић, 2004):

1. Количине и састав отпадних вода. До ових података долази се израдом одговарајућих студија, при чему је често потребно спровести обимна испитивања на терену у циљу дефинисања постојећих количина и квалитета отпадних вода. Да би се правилно процениле будуће количине и квалитет отпадних вода потребно је анализом обухватити: величину сливног подручја са кога могу доћи отпадне воде на постројење, демографске прогнозе кретања броја становника на разматраном сливном подручју, постојеће стање и будући развој канализационе мреже, специфична потрошња воде становништва односно специфична продукција отпадних вода, постојећа развијеност и планови за развој индустрије, као и количине и квалитет индустријских отпадних вода, и др.
2. Потребан степен пречишћавања отпадних вода одређује се према важећим законским прописима који регулишу ову материју, тј. применом имисионих или емисионих стандарда.

3. Избор локација постројења. Приликом одређивања локације постројења потребно је водити рачуна о: постојећем стању и плановима развоја канализационе мреже, положају природног пријемника, погодности, терена за изградњу, ружи ветрова и др. Постројења се обично не лоцирају у непосредној близини насеља.

На основу свега наведеног приступа се изради идејног решења и идејног пројекта. У идејном решењу потребно је обрадити неколико варијанти постројења за пречишћавање отпадних вода. У оквиру идејног решења потребно је спровести техно-економску анализу варијантних решења. На основу резултата ове анализе добија се најповољнија варијанта, за коју се ради идејни пројекат (Милојевић, 1990).

У идејном пројекту детаљније се разрађују поједини објекти постројења, и у оквиру њега прилажу се детаљни технолошки и хидраулички прорачуни, и мање детаљни статички и остали прорачуни.

Код пројектовања постројења за пречишћавање отпадних вода нарочити проблем представља избор хидромашинске опреме коју производе специјализовани произвођачи у земљи и иностранству. Пројектант ради идејни пројекат на бази претпостављене опреме. На основу идејног пројекта израђује се посебна документација (тендер) на основу које инвеститор приступа избору најповољнијег понуђача хидромашинске опреме. У нашој земљи треба превасходно тежити примени домаће опреме, али се нека специфична опрема мора увозити пошто се још увек не производи у нашој земљи (опрема за анаеробну стабилизацију муља, филтер пресе, секвенцијални шаржни реактори и др.).

После уговарања опреме приступа се изради главних архитектонско- грађевинских, машинских, хидро-машинских и електро-пројеката. Испоручилац опреме за ту сврху доставља пројектанту радионичке цртеже уговорене опреме. Поред горе наведених неопходно је израдити и пројекте заштите на раду, студију о процени утицаја на животну средину, пројекат аутоматике и управљања и упутство за рад. Према главном пројекту врши се изградња објеката постројења.

Овакав редослед израде пројеката је оптималан али се у пракси срећу и другачији поступци: уговарање по систему „кључ у руке“ без претходно израђене пројектне документације или израда варијантних решења код виших фаза пројеката (идејни и главни пројекат на пр.).

Код неких индустријских отпадних вода потребно је у фази идејног решења израдити и лабораторијска или пилот постројења за доказивање технолошких параметара и избор технолошког поступка пречишћавања.

Технолошки и хидротехнички пројекат треба да садрже:

1. анализу количина и квалитета отпадних вода,
2. одређивање захтеваног квалитета пречишћених вода,
3. избор технолошког поступка пречишћавања,
4. технолошко димензионисање објеката,
5. хидраулички прорачун постројења,
6. опис мерења, регулације и управљања постројењем,
7. спецификацију опреме и предрачун радова.

Технолошки поступак пречишћавања графички се дефинише технолошком шемом. У главном пројекту потребно је у технолошку шему унети и елементе аутоматике (мерна места, начин процесирања сигнала и начин управљања моторима и затварачима). На основу ових разматрања, изабрано постројење за третман отпадних вода треба да се заснива на поузданим технологијама, већ тестираним широм света, без компликованих структура (Spellman, 2013).

Критеријуми који су предмет анализе приликом пројектовања СРРОВ:

1. Процена утицаја на животну средину током изградње и експлоатације,
2. Флексибилност процеса третмана - у вези са променама које би могле настати у смислу хидрауличног и органског оптерећења,
3. Инвестициони трошкови и трошкови одржавања постројења,
4. Изабрана технологија не би требала да буде компликована за оператере,
5. Систем контроле треба да буде што је могуће једноставнији.

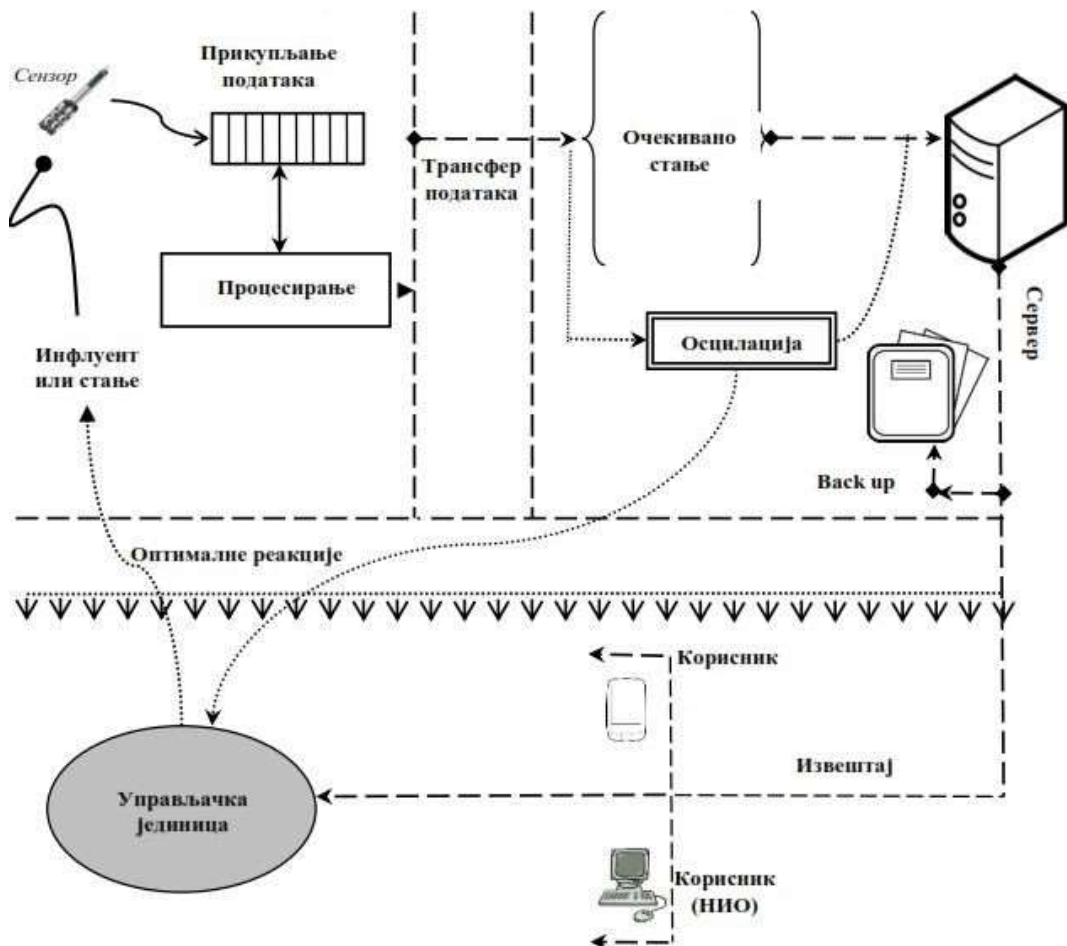
## 16.1. Контрола процеса у централним постројењима за третман отпадних вода

Комплексни динамички системи, као што су централизовани системи третмана отпадних вода, са великим бројем процеса који међусобно интерагују, по правилу се увек налазе у стању благих осцилација параметара процеса. Управљање одступањима од жељених параметара процеса представља основни разлог увођења мерно-информационих система. У системима третмана отпадних вода таква одступања се везују за улазни квалитет воде и на неравномерност масених протока током времена. Применом мерно-информационих система у управљању процесима третмана отпадних вода постиже се двоструки ефекат: виши квалитет излазних величина уз уштеду времена, енергије и материјала. Појам контроле процеса у централизованим системима за третман употребљених вода се може ближе дефинисати као скуп активности којима се управља постројењем у целини или појединачним процесима у оквиру постројења (СРРОВ) са тежњом достизања дефинисаних циљева (најчешће потребног степена пречишћавања по одређеним, захтеваним параметрима) упркос честих, временски зависних осцилација квалитативних и квантитативних карактеристика инфлуента. Поред тога, примена савремених мерно-информационих система своје место и улогу има и у дефинисању репрезентативних узорака у смислу места и времена узорковања, чиме се смањује могућност настанка грешака у мерном ланцу (Stojanović, Miltojević, & Vasović, 2018).

Основни разлог контроле процеса у системима за третман употребљених вода лежи у немогућности потпуног детерминисања процеса и појаве периодичних одступања од захтеваног или планираног стања система. Основни разлог увођења и примену напредних мерно-информационих система у централизованим системима затретман употребљених вода јесте учестала варијабилност квалитативних и квантитативних карактеристика инфлуента, што за оператора на СРРОВ представља изазов на који мора адекватно одговорити. Као што је познато, квалитативне и квантитативне карактеристике инфлуента могу у великој мери осциловати током дана, недеље, месеца али и година. Квалитет улазних употребљених вода осцилује било због континуалних, предвидивих активности становништва (културолошке навике) али и прикључене индустрије (предвидивост технолошких операција које као последицу имају емисију употребљених вода). Међутим, на улазни квалитет инфлуента могу

утицати и повремени, дисконтинуални догађаји као што су повећан доток атмосферских вода као последица обилних падавина (код општих канализационих система), испуштање у канализациони систем употребљених вода које садрже токсичне или било које друге материје које далеко превазилазе максимално допуштене концентрације дефинисане правилницима о санитарно-техничким условима за испуштање употребљених вода у градску канализацију, инцидентни доток токсичних вода итд.

Имајући то у виду, оператор на централизованом постројењу за третман употребљених вода често мора да реагује у ситуацијама које знатно одступају од пројектом дефинисаних услова рада постројења. Међутим, уместо реакције оператора, такозвани „respond and fix concept“ у модерним системима за третман употребљених вода се тежи ка „predict and prevent“ концепту, подразумевајући у значајној мери предикцију варијација улазних параметара. Као саставни део „predict and prevent“ приступа, модерни мерно – информациони системи интегришу модул за управљање генерисаним подацима као и интродукцију неуронских мрежа, које све више налазе примену. Структура овако дефинисаног система је дата на слици 16.1.



Слика 16.1. Упростиена структура мерно-информационих система на CPPOV

Проактивни мониторинг јединичних операција у оквиру централизованих система за третман употребљених вода (CPPOV) подразумева аквизицију и организовање огромне количине података и трансформацију истих у лако разумљиве информације. Стога је приликом разматрања ширег коришћења мерно – информационих система у CPPOV системима неопходно водити рачуна о хијерархији информација, што је приказано на слици 16.2.



Слика 16.2. Хијерархија управљања информацијама у оквиру CPPOV мерно – информационих система

Основни разлози који говоре у прилог ширем коришћењу мерно – информационих система у централизованим системима за третман употребљених вода огледају се у следећем:

- Аквизиција података у реалном времену данас не представља хардверски а ни финансијски изазов као некада,
- Олакшана организација података и креирање динамичких, предиктивних модела,
- Повећање ефикасности рада уз смањење трошкова,
- Могућност проширења примене мерно – информационих система и у друге сврхе, нпр. превентивне,
- Иновативни карактер оваквих система пружа могућност субвенционисања, што у економском смислу није занемарљиво.

Имајући у виду квалитет савремених система аквизиције података може се закључити да ће будуће развојне активности у оваквим системима бити усмерене првенствено на унапређење предиктивних модела. Наравно да овакви системи морају бити усмерени, пре свега, ка мониторингу репрезентативних параметара процеса који се дешавају на централном постројењу за пречишћавање отпадних вода, што је приказано у табели 16.1.

**Табела 16.1.** Карактеристична мерна места и параметри контроле ефеката пречишћавања

| Фаза технолошког процеса     | Мерно место | Параметар                                                                                                                              |
|------------------------------|-------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Улаз/Инфлуент                | 1           | pH, температура (°C), ВРК, НРК, суспендована материја (SM), укупан органски угљеник (TOC), запремински проток (Q), електропроводљивост |
| Примарна таложница           | 2           | SM, ВРК, НРК, TOC                                                                                                                      |
| Биоаерациони базен           | 3           | pH, °C, редокс потенцијал, растворени кисеоник                                                                                         |
| Секундарна таложница         | 4           | SM, TOC, ВРК, НРК                                                                                                                      |
| Анаеробна стабилизација муља | 5           | pH, температура (°C), укупан органски угљеник (TOC)                                                                                    |
| Кондиционирање муља          | 6           | садржај влаге, потенцијално токсични елементи, микроорганизми                                                                          |

## 16.2. Аспекти безбедности и здравља на раду

Током процеса добијања квалитетне воде за пиће или током третмана употребљених вода због минимизовања њиховог утицаја на природне реципијенте, запослени на постројењима која се баве неким од поменутих третмана, морају извршити низ оперативних, лабораторијских и физичких радних обавеза. Под овим обавезама се подразумевају и активности мониторинга процеса рада постројења, као и стална праћења индикатора технолошког процеса третмана вода и реаговање у смислу чињења неопходних модификација. Остале битне активности укључују одржавање постројења и опреме, или нпр. рад са инсинераторима муља код постројења за третман употребљених вода. Током вршења радних активности, запослени на овим постројењима су подвргнути низу хазарда који укључују буку, покретне механичке склопове, изворе електричне енергије, хемикалије, гасове, паре, аеросоле, магле, слабу вентилацију, кретање у различитим нивоима као и рад у скученим просторима као што су тунели и цеви, итд. Поменуте операције би се требале, због наведених опасности, спроводити под надзором одговорног лица за безбедност, делом и због тога што би се информације добијене надзором требале користити за побољшање безбедоносних процедура као и за унапређивање елемената управљања професионалним ризиком на овим постројењима (ILO, 2009).

Управљање професионалним ризиком на постројењима за третман вода (како пијаћих тако и отпадних вода) је веома комплексно питање које се мора анализирати са више аспеката (Krstić, Krstić, & Kusalo, 2011). Поред тога што је императив утврђивање нивоа изложености професионалном ризику, као неодвојива потреба се намеће и нужност процене димензија штета које би могле настати уколико би на овим постројењима дошло до акцидента који је проузрокован неадекватним условима рада (Закон о безбедности и здрављу на раду, 2017). Реално стање изложености радника на овим постројењима као и утицај параметара радне средине на њихово психофизичко здравље као и радне способности би се могло пројектовати уколико би се на овим постројењима водила систематска испитивања услова рада (Правилник о начину и поступку процене ризика на радном месту и у радној околини, 2015). Оваква испитивања, нажалост, у нашој земљи нису вршена у последњих петнаестак година,

те се треба креирати допринос стварању јасније слике о изложености радника професионалном ризику на овим постројењима као и позив за систематично, редовно и свеобухватно испитивање параметара радне околине на поменутим постројенима. Циљ је сагледавање ризика коме су изложени радници на постројењима за третман вода (радно место, процес и организација рада, присуство физичких и хемијских штетности итд) као и предлог мера превенције у циљу смањења нивоа ризика (Miltojević, Stojković, & Stojanović, 2019). Главни професионални здравствени ризици повезани са оператерима који раде на CPPOV су:

- Механичког карактера - рад у скупљеном простору, на висини/дубини, различитим нивоима, итд.
- Физичко - хемијског карактера - хемикалије, гасови, испарења, бука итд.
- Биолошког карактера – микроорганизми из отпадних вода и муља, инсекти, итд.

**Табела 16.2.** Карактеристичне хемијске опасности и штетности на PPOV

| Карактеристичне хемијске опасности и штетности којима су изложени оператери на постројењима за третман вода | Третман пијаће воде                                                                                                    | Третман отпадних вода                                                                                                                                                                                                                                          |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                             | <i>Примарни третман – балансирање рН вредности: неорганске киселине;</i>                                               | Све хемијске штетности које се јављају приликом третмана пијаће воде, уз додатак: фенола, водоник-сулфида, метана, итд. (у отпадним водама које се третирају у овим постројењима постоји око 200 идентификованих хемикалија којима радници могу бити изложени) |
|                                                                                                             | <i>Секундарни третман: испарења органских киселина и амонијака, алуминијум-сулфат;</i>                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                |
|                                                                                                             | <i>Терцијарни третман и дезинфекција воде: озон, гасовити хлор, натријум-хипохлорит, трихалометани, гасовити азот;</i> |                                                                                                                                                                                                                                                                |
|                                                                                                             | <i>Стандардна лабораторијска једињења</i>                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                |

С обзиром на чињеницу да у Републици Србији још увек не постоје систематизовани докази о повредама на раду у комуналним делатностима, тј. комуналним привредним гранама, није могуће приказати податке у вези са овом делатношћу. Из овог разлога, као илустрација представљени су подаци који се односе на повреде на раду у грани привреде Е - Снабдевање водом; управљање отпадним водама (систем јавне канализације), управљање чврстим отпадом и санација животне средине у Републици Хрватској у 2014. години. У Републици Хрватској се током радних активности у 2014. години догодило 13.929 повреда на раду, док је у грани привреде Е - Снабдевање водом; управљање отпадним водама (систем јавне канализације), управљање чврстим отпадом и санација животне средине - 425 повреда на раду, што чини 3,05% од укупног броја повреда на раду. Према броју повреда на раду, ова активност је рангирана на 11. месту, од 21 привредне делатности за које се води евиденција. Табела 16.3. илуструје дате податке о повредама на раду (Hrvatski zavod za zaštitu zdravlja i sigurnost na radu, 2015).

**Табела 16.3.** Повреде на раду у грани привреде Е - Снабдевање водом; управљање отпадним водама (систем јавне канализације), управљање чврстим отпадом и санација животне средине у Републици Хрватској у 2014. години (Хрватски завод за заштиту здравља и сигурност на раду, 2015)

|   | Сектор                                                   | Повреде на раду |                         |        |       |
|---|----------------------------------------------------------|-----------------|-------------------------|--------|-------|
|   |                                                          | На радном месту | На путу до радног места | Укупно | %     |
| 1 | Систем јавног водоснабдевања                             | 102             | 13                      | 115    | 27,06 |
| 2 | Систем јавне канализације                                | 13              | 3                       | 16     | 3,76  |
| 3 | Прикупљање чврстог отпада, транспорт, третман и одлагање | 251             | 24                      | 275    | 64,71 |
| 4 | Санација и ремедијација животне средине                  | 19              | 0                       | 19     | 4,47  |
|   | Укупно:                                                  | 385             | 40                      | 425    | 100   |

На основу изнетих података може се закључити да је највећи број повреда на раду забележен у области прикупљања чврстог отпада, транспорта, третмана и одлагања отпада - 64,71%. Иначе, у овој области запослени су много чешће повређени на радном месту (251) - 91,3%, него на путу до радног места, или обрнуто (24) - 8,7%. На другом месту је сектор јавног водоснабдевања, са активностима пречишћавања и дистрибуције пијаће воде, са уделом повреда на раду од 27,06%, док је у сектору канализације (систем јавне канализације) релативно мали удео повреда на раду, односно само 3,76%. Разлог је чињеница да Република Хрватска има врло мали број оперативних постројења за пречишћавање отпадних вода и, сходно томе, мали број запослених у овој области, што објашњава релативно мали проценат повреда на раду.

#### • Мере превенције

Примарни циљеви имплементираних система безбедности и здравља на раду треба да се остваре анализом свих послова у посматраној организацији у складу са важећим законима и подзаконским актима. Да би се дефинисали послови са повећаним ризиком, који подлежу посебним законодавним процедурама, неопходно је утврдити све штетности и опасности на радном месту и идентификовати све потенцијалне професионалне ризике и оптерећења радника који проистичу из самих карактеристика посла, радне активности и услова рада, као и мере повећања ефикасности заштите на раду (Forrester, 2014).

Ово је вишефазни процес који усмерава одговоре одговорних лица на ефикасан и делотворан начин у смислу идентификовања, процене и контроле професионалних ризика. Процена ризика је почетни начин да се утврди која је опасност или штетност најозбиљнија и на тај начин дефинише приоритет. Приоритет се обично одређује узимајући у обзир тежину догађаја и вероватноћу појаве. Доделом листе приоритета или листе рангирања (рангирања) приоритетне активности могу се ефикасно идентификовати применом матрице за оцену професионалног ризика (Benjamin, 2012).

Следећи фактори чине основу за дефинисање матрице ризика:

Озбиљност излагања - тежина догађаја и вероватноћа појаве - стопа инцидентије.

Резултати процене ризика обично су представљени у матрици ризика. Матрица ризика је основно средство за процес доношења одлука у вези са контролом ризика. У том смислу, ризик се може израчунати помоћу следеће формуле:

Ризик (R) = вероватноћа (L) × озбиљност последица (S), тј.

$$R = L \times S$$

док су R, L и S бездимензионалне јединице.

На основу знања о вероватноћи и озбиљности могуће је направити основну матрицу ризика, као што је приказано у табели 16.4.

**Табела 16.4.** Основна матрица ризика

|                     |   |           |    |       |    |    |
|---------------------|---|-----------|----|-------|----|----|
| Вероватноћа         | 5 | 5         | 10 | 15    | 20 | 25 |
|                     | 4 | 4         | 8  | 12    | 16 | 20 |
|                     | 3 | 3         | 6  | 9     | 12 | 15 |
|                     | 2 | 2         | 4  | 6     | 8  | 10 |
|                     | 1 | 1         | 2  | 3     | 4  | 5  |
| Озбиљност последица |   | 1         | 2  | 3     | 4  | 5  |
| Ниво ризика         |   | Екстреман |    | 15-25 |    |    |
|                     |   | Висок     |    | 8-14  |    |    |
|                     |   | Умерен    |    | 4-6   |    |    |
|                     |   | Низак     |    | 1-3   |    |    |

Неке од опасних активности које обављају оператери на PPOV укључују:

1. Рад у затвореном, скученом простору као што су:
  - Ревизиона окна,
  - Таложнице, песколони, аерациони базени, итд.,
  - Црпне станице,
  - Тунели.
2. Дизање тешких предмета,
3. Кориштење мердевина и степеника,
4. Рад у простору са испарењима,
5. Рад с електричним инсталацијама.

Ризик се може представити на различите начине у смислу расподеле ризика унутар компаније или на радном месту. У том смислу, идентификација опасности представља почетни поступак за квантификовање опасности и уклањање или смањење ризика од повреда на раду/болести радника, као и штете на имовини, опреми и непосредном окружењу. Примена матрице ризика у систему управљања водама дата је у табели 16.5 (Vasović, Stanković, & Vranjanac, 2018).

Табела 16.5. Матрица ризика – систем јавног водоснабдевања и систем јавне канализације

| Фаза/активност                         | Опасности и штетности      | Штетни догађај         | Штетни ефекат      | Ниво ризика |   |      |
|----------------------------------------|----------------------------|------------------------|--------------------|-------------|---|------|
|                                        |                            |                        |                    | L           | S | Скор |
| Водоснабдевање – захват и третман воде | Затворени простори, тунели | Гушење, давлeње        | Повреда, смрт      | 2           | 3 | 6    |
|                                        | Рад на висини              | Пад, проклизавање      | Повреда, смрт      | 3           | 3 | 9    |
|                                        | Узорковање и тестирање     | Лом опреме             | Повреда            | 1           | 3 | 3    |
|                                        | Процеси дезинфекције       | Удисање једињења хлора | Повреда            | 4           | 5 | 20   |
| Систем јавне дистрибутивне мреже       | Тешки објекти              | Пад објекта            | Повреда            | 3           | 3 | 9    |
|                                        | Рад на висини              | Пад                    | Повреда            | 2           | 4 | 8    |
| Систем јавне канализације              | Затворени простори, тунели | Проклизавање           | Повреда            | 5           | 1 | 5    |
|                                        | Тешки објекти              | Пад објекта            | Повреда            | 5           | 1 | 5    |
| Третман отпадних вода                  | Области са испарењима      | Удисање                | Иритација          | 5           | 1 | 5    |
|                                        | Електричне инсталације     | Удар                   | Повреда, смрт      | 3           | 4 | 12   |
|                                        | Тешки објекти              | Пад                    | Повреда            | 3           | 3 | 9    |
|                                        | Рад на висини              | Пад, проклизавање      | Повреда            | 2           | 4 | 8    |
|                                        | Процеси дезинфекције       | Удисање продуката      | Повреда, иритација | 3           | 4 | 12   |
|                                        | Инфективне области         | Контакт                | Болест             | 4           | 4 | 16   |

Када се дефинишу опасности и изврши процена ризика, могу се предузети превентивне мере како би се осигурало да се ове информације узимају у обзир у процесу рангирања ризика.

Опште мере заштите подразумевају:

1. Заштитне ограде,
2. Аспекте заштите од пожара и експлозија,
3. Сигурносне ознаке,
4. Одговарајућу вентилацију,
5. Одговарајућу расвету,
6. Одговарајући манипулативни простор,
7. Лак приступ, и
8. Одговарајућу радну температуру.

У смислу мера превенције потребно је урадити следеће:

- Одржавати личну хигијену,
- Унапредити све аспекте безбедности и здравља на раду,
- Имплементирати системе менаџмента квалитетом и животном средином.

Због максималне заштите запослени на постројењу могу се додатно вакцинисати против хепатитиса А и Б, грипа, богиња, заушки, плућних обољења, рубеола, тетануса, итд.

Да би се спечиле опасности везане за хемијске супстанце које се користе на постројењу, потребно је учинити следеће:

- Пописати све опасне хемикалије и направити опис утицаја.
- Направити и применити програм контроле.

Оператори на постројењима за третман отпадне воде често морају да реагују на ситуације које значајно одступају од пројектних услова постројења. Управљање одступањима од жељених параметара процеса основни је разлог увођења напредних система заштите на раду (Frank, 2018).

### **Питања за проверу знања:**

1. Које су основни приступи у процесу одређивања потребног степена пречишћавања вода?
2. Објаснити основне улазне податке од значаја за пројектовање постројења за третман отпадних вода.
3. Објаснити садржај технолошког и хидротехничког пројекта.
4. Који су основни критеријуми који се анализирају приликом пројективања централног постројења за третман отпадних вода?
5. Шта подразумева појам контроле процеса у централним постројењима за третман отпадних вода?
6. Објаснити карактеристична мерна места и параметре контроле ефеката пречишћавања.
7. Објаснити основе безбедности и здравља на раду на постројењима за третман отпадних вода као и основне здравствене ризике.



**Литература:**

1. Benjamin, O. (2012). *Fundamental principles of occupational health and safety*. Geneve: International Labour Office.
2. Vasović, D., Stanković, S., & Vranjanac, Ž. (2018). Working Conditions at the Water Treatment Plants: Activities, Hazards and Protective Measures. *Safety Engineering*, 8(1), 27-32.
3. IOSH, ILO, & CIS. (2009). International Hazard Datasheets on Occupation - Wastewater Treatment Plant Operator.  
[https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---ed\\_protect/---protrav/---safework/documents/publication/wcms\\_190172.pdf](https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---ed_protect/---protrav/---safework/documents/publication/wcms_190172.pdf)
4. Croatian bureau for occupational health and safety. (2015). Analysis of occupational injuries in economy branch E - Water supply; wastewater management (sewage system), solid waste management and environmental remediation activities in the Republic of Croatia for the year 2014.
5. Krstić, I., Krstić, D., & Kusalo, A. (2011). Analysis of indicators for occupational risk assessment. *Safety Engineering*, 1(1), 45-58.
6. Љубисављевић, Д., Ђукић, А., и Бабић, Б. (2004). *Пречишћавање отпадних вода*. Београд: Грађевински факултет Универзитета у Београду.
7. Milojević, A., Stojković, A., & Stojanović, M. (2019). N-Nitrozo jedinjenja - „Nezvani gosti“ u radnoj sredini. U: *Zbornik radova sa 16. Međunarodne konferencije „Zaštita na radu - Prioritet u poslovanju“*, (pp. 115 – 122). Štip: Univerzitet Goce Delčev.
8. Милојевић, М. (1990). *Снабдевање насеља водом и канализација*. Београд: Научна књига Београд.
9. Spellman, F. (2013). *Handbook of Water and Wastewater Treatment Plant Operations*. Boca Raton, FL: CRC Press Taylor & Francis Group.
10. Stojanović, M., Milojević, A., & Vasović, D. (2018). Analiza grešaka koje nastaju pri uzorkovanju vode. In: J. Taradi (Ed.), *Proceedings CD2 of the 13th International conference „Management and safety“, M&S 2018*, (pp. 146-155). <https://www.european-safety-engineer.org/> Ohrid: The European Society of Safety Engineers.
11. Forrester, M. (2014). Poisoning Injuries Associated With Water and Wastewater Treatment Facilities. *Journal of Occupational and Environmental Medicine*, 56(3), e1.
12. Frank, R. (2018). *Water and liquid waste water treatment plant and system operator, Occupational outlook Handbook*. Washington, DC: Bureau of labor statics, U.S. Department of labor.

**Правна регулатива:**

13. Закон о безбедности и здрављу на раду, *Службени гласник РС*, бр. 101/2005, 91/2015 и 113/2017 (др. закон).
14. Правилник о начину и поступку процене ризика на радном месту и у радној околини, *Службени гласник РС*, бр. 72/2006, 84/2006 - испр., 30/2010 и 102/2015.