

1. УВОД.....	1
1.1. Вода и животна средина.....	2
1.2. Нормативна уређеност у области вода у Републици Србији.....	4
2. ВОДА КАО ХЕМИЈСКО ЈЕДИЊЕЊЕ	17
2.1. Хемијска структура молекула воде	18
2.2. Основне физичко-хемијске особине воде.....	21
2.2.1. Температура кључања	21
2.2.2. Густина.....	22
2.2.3. Површински напон	22
2.2.4. Капиларност	23
2.2.5. Електричне особине	24
2.2.6. Вода као растварач.....	25
3. ХИДРОСФЕРА.....	31
3.1. Настанак хидросфере.....	32
3.2. Расподела воде на Земљи	33
4. РАСПРОСТРАЊЕНОСТ ВОДЕ У ПРИРОДИ.....	39
4.1. Вода у атмосфери.....	40
4.2. Вода у литосфери	41
4.3. Вода на површини Земље.....	45
4.4. Кружење воде у природи.....	47
4.4.1. Једначина хидролошког биланса.....	49
5. ПРИРОДНЕ ВОДЕ.....	55
5.1. Фактори који утичу на састав природних вода.....	56
5.1.1. Физичко-географски фактори.....	56
5.1.2. Хемијски фактори	59
5.1.3. Биолошки фактори	60
5.1.4. Мешање воде	60
5.2. Физичко-хемијске особине природних вода	61
5.2.1. Температура.....	61
5.2.2. Боја	63
5.2.3. Мирис и укус	63
5.2.4. Мутноћа и провидност	63
5.2.5. Вискозност.....	64
5.2.6. Густина.....	65
5.2.7. Покрети воде	65
5.2.8. Електрична проводљивост	66
5.2.9. Растворљивост супстанци у води	67
6. ХЕМИЈСКИ САСТАВ ПРИРОДНИХ ВОДА	75
6.1. Гасовити састојци природних вода	76
6.1.1. Кисеоник (O_2)	76
6.1.2. Угљеник(IV)-оксид (CO_2).....	77
6.1.3. Водоник-сулфид (H_2S).....	79

6.1.4. Метан (CH_4).....	79
6.2. Неоргански састојци природних вода.....	79
6.2.1. Хлоридни јони (Cl^-).....	80
6.2.2. Сулфатни јони (SO_4^{2-}).....	81
6.2.3. Хидрогенкарбонатни (HCO_3^-) и карбонатни јони (CO_3^{2-}).....	82
6.2.4. Јони натријума (Na^+).....	83
6.2.5. Јони калијума (K^+).....	83
6.2.6. Јони калцијума (Ca^{2+})	84
6.2.7. Јони магнезијума (Mg^{2+}).....	84
6.2.8. Јони водоника (H^+) и pH вредност	86
6.2.9. Силицијум.....	87
6.3. Биогене материје	88
6.3.1. Азот и његова једињења.....	88
6.3.2. Фосфор и његова једињења.....	89
6.4. Микроелементи	90
6.5. Органске материје.....	92
6.6. Класификација природних вода на основу хемијског састава	94
7. ПРОЦЕСИ У ПРИРОДНИМ ВОДАМА	103
7.1. Растварање	104
7.2. Адсорпција.....	104
7.3. Испирање	105
7.4. Испаравање	105
7.5. Фотохемијски процеси	106
7.6. Оксидо-редукциони процеси	106
7.7. Хидролиза	107
7.8. Метаболички процеси.....	107
7.9. Самопречишћавање воде.....	107
8. ЗАГАЂИВАЊЕ ВОДА	Error! Bookmark not defined.
8.1. Основни појмови о загађивању животне средине ...	Error! Bookmark not defined.
8.2. Загађивање вода	Error! Bookmark not defined.
8.2.1. Физичко загађивање вода.....	Error! Bookmark not defined.
8.2.2. Хемијско загађивање вода.....	Error! Bookmark not defined.
8.2.3. Биолошко загађивање вода	Error! Bookmark not defined.
9. ОТПАДНЕ ВОДЕ.....	Error! Bookmark not defined.
9.1. Порекло отпадних вода	Error! Bookmark not defined.
9.2. Индикатори стања отпадних вода	Error! Bookmark not defined.
9.3. Класификација отпадних вода према садржају загађујућих материја.....	Error! Bookmark not defined.
9.4. Класификација отпадних вода према извору загађујућих материја.....	Error! Bookmark not defined.
9.4.1. Комуналне отпадне воде	Error! Bookmark not defined.
9.4.2. Индустијске отпадне воде	Error! Bookmark not defined.
9.4.3. Отпадне воде из пољопривреде	Error! Bookmark not defined.

9.4.4. Атмосферске отпадне воде.....	Error! Bookmark not defined.
9.4.5. Остали извори отпадних вода...	Error! Bookmark not defined.
10. ЗАШТИТА И ПРЕЧИШЋАВАЊЕ ВОДА.....	Error! Bookmark not defined.
10.1. Уопштено о заштити вода	Error! Bookmark not defined.
10.2. Пречишћавање вода	Error! Bookmark not defined.
10.2.1. Третман воде за пиће	Error! Bookmark not defined.
10.2.2. Пречишћавање отпадних вода	Error! Bookmark not defined.
10.3. Обрада муљева	Error! Bookmark not defined.
11. ФИЗИЧКЕ МЕТОДЕ ПРЕЧИШЋАВАЊА ВОДА	Error! Bookmark not defined.
11.1. Механичке методе пречишћавања воде.....	Error! Bookmark not defined.
11.1.1. Груба филтрација - цеђење	Error! Bookmark not defined.
11.1.2. Уситњавање	Error! Bookmark not defined.
11.1.3. Таложeње	Error! Bookmark not defined.
11.1.4. Флотација.....	Error! Bookmark not defined.
11.2. Термичке методе пречишћавања вода	Error! Bookmark not defined.
11.2.1. Евапорација	Error! Bookmark not defined.
11.2.2. Сагоревање – инцинерација отпадних материја	Error! Bookmark not defined.
11.2.3. Хлађење.....	Error! Bookmark not defined.
11.3. Пречишћавање воде ултраљубичастим зрачењем .	Error! Bookmark not defined.
11.4. Пречишћавање воде ултразвучним таласима...	Error! Bookmark not defined.
12. ФИЗИЧКОХЕМИЈСКЕ МЕТОДЕ ПРЕЧИШЋАВАЊА ВОДА	Error! Bookmark not defined.
12.1. Коагулација и флокулација	Error! Bookmark not defined.
12.2. Јонска измена.....	Error! Bookmark not defined.
12.2.1. Обрада природне воде јонским измењивачима	Error! Bookmark not defined.
12.2.2. Обрада отпадне воде јонским измењивачима	Error! Bookmark not defined.
12.2.3. Остале примене методе јонске измене за пречишћавање вода	Error! Bookmark not defined.
12.3. Аерација	Error! Bookmark not defined.
12.4. Адсорпција.....	Error! Bookmark not defined.
12.5. Екстракција.....	Error! Bookmark not defined.
12.6. Електродијализа	Error! Bookmark not defined.
12.7. Електродијарежа.....	Error! Bookmark not defined.
12.8. Филтрација.....	Error! Bookmark not defined.
12.8.1. Макрофилтрација	Error! Bookmark not defined.
12.8.2. Мембранска филтрација.....	Error! Bookmark not defined.

13. ХЕМИЈСКЕ МЕТОДЕ ПРЕЧИШЋАВАЊА ВОДА ... **Error! Bookmark not defined.**

13.1. Хемијско таложење **Error! Bookmark not defined.**

13.1.1. Омекшавање воде методом таложења ..**Error! Bookmark not defined.**

13.1.2. Уклањање тешких метала из воде
хемијским таложењем**Error! Bookmark not defined.**

13.1.3. Уклањање фосфора из воде хемијским таложењем **Error! Bookmark not defined.**

13.2. Оксидо-редукционе методе.....**Error! Bookmark not defined.**

13.2.1. Дезинфекција воде оксидацијом.....**Error! Bookmark not defined.**

13.2.2. Уклањање раствореног кисеоника оксидацијом..... **Error! Bookmark not defined.**

13.2.3. Уклањање амонијака из воде оксидацијом. **Error! Bookmark not defined.**

13.2.4. Деферизација и деманганизација воде оксидацијом **Error! Bookmark not defined.**

13.2.5. Уклањање цијанида оксидацијом.....**Error! Bookmark not defined.**

13.2.6. Уклањање водоник-сулфида оксидацијом . **Error! Bookmark not defined.**

13.2.7. Уклањање хлора из вода редукцијом....**Error! Bookmark not defined.**

13.3. Метода неутрализације.....**Error! Bookmark not defined.**

14. БИОЛОШКЕ МЕТОДЕ ПРЕЧИШЋАВАЊА ВОДА ..**Error! Bookmark not defined.**

14.1. Аеробне методе пречишћавања вода .**Error! Bookmark not defined.**

14.1.1. Аеробни поступци са суспендованом микрофлором ... **Error! Bookmark not defined.**

14.1.2. Аеробни поступци са имобилисаном микрофлором **Error! Bookmark not defined.**

14.2. Анаеробне методе пречишћавања вода**Error! Bookmark not defined.**

14.3. Биолошки поступци уклањања фосфора**Error! Bookmark not defined.**

15. КОМБИНОВАНЕ МЕТОДЕ ПРЕЧИШЋАВАЊА ВОДА **Error! Bookmark not defined.**

15.1. Пречишћавање вода земљиштем.....**Error! Bookmark not defined.**

15.2. Олигодинамичке методе пречишћавања вода..**Error! Bookmark not defined.**

16. ПОТРЕБАН СТЕПЕН ПРЕЧИШЋАВАЊА ОТПАДНИХ ВОДА, МОНИТОРИНГ, АСПЕКТИ БЕЗБЕДНОСТИ

И ЗДРАВЉА НА РАДУ**Error! Bookmark not defined.**

16.1. Контрола процеса у централним постројењима

за третман отпадних вода.....**Error! Bookmark not defined.**

16.2. Аспекти безбедности и здравља на раду**Error! Bookmark not defined.**

БИБЛИОГРАФИЈА:.....**Error! Bookmark not defined.**

ИНДЕКС ПОЈМОВА**Error! Bookmark not defined.**

1. УВОД

Циљеви поглавља:

- Дефинисање основних законитости животне средине
- Упознавање са улогом воде и водним ресурсима у животној средини
- Дефинисање „одрживе политике у области вода”
- Уопштено сагледавање нормативне уређености у области вода

Резиме:

Животна средина представља комплекс природног и створеног окружења чији односи чине простор и услове за живот. Карактерише се великом хетерогеношћу у времену и простору, што је резултат сталног деловања комплексних еколошких услова. Вода представља једну од најраспрострањенијих супстанци на Земљи и у потпуности чини једну од сфера – хидросферу, али је присутна и у атмосфери, литосфери и биосфери. У води се развио живот, а данас не би било живота без воде. Потребa за квалитетном водом се константно повећава, претећи да постане ограничавајући фактор даљег развоја цивилизације. На Конференцији о водама и животној средини у Даблину, 1992. године, вода је окарактерисана као „ограничен извор и економско добро” које треба чувати и њиме управљати тако да се не угрозе интереси будућих генерација, а истовремено да се осигура њено ефикасно и правилно коришћење (The Dublin Statment, 1992). Вода присутна на одређеном подручју није исто што и водни ресурс, јер је количина воде као ресурса мања од укупно присутне воде. На глобалном нивоу током времена постоји тенденција смањења количине воде као ресурса због све оштријих еколошких, урбаних и социјалних услова. У Републици Србији постоји више прописа којима се уређује статус вода заједно са објектима за снабдевање водом. Најопштији пропис је Закон о водама.

Summary:

The environment is an complex of natural and man-made surroundings whose interactions make up space and living conditions. It is characterized by great heterogeneity in time and space as a result of the constant action of complex ecological conditions. Water is one of the most widespread substance on Earth and completely forms one of the spheres - the hydrosphere, but it is also present in the atmosphere, lithosphere, and biosphere. Life was developed in water, while today there would be no life without water. Global water demand is constantly growing, threatening to become a limiting factor for the further development of civilization. At the International Conference on Water and the Environment, held in Dublin in 1992, water was characterized as “a finite and vulnerable resource” and “a public good that has a social and economic value” that should be preserved and managed without compromising the ability of future generations to meet their own needs, while ensuring its efficient and proper use (The Dublin Statment, 1992). Water present in a certain area is not the same as a water resource, because the amount of water as a resource is quantitatively less than the total water present in an area. Globally, over time, there is a tendency to reduce the amount of water as a resource due to harsh environmental, urban, and social conditions. In the Republic of Serbia, several regulations are governing the status of water together with water supply facilities. The most general regulation is the Law on Water.

1.1. Вода и животна средина

Животна средина представља нераскидив комплекс *природног* и *створеног* окружења чији међусобни односи чине простор и услове за живот. *Природну животну средину* представља све оно што је створено на Земљи природним процесима, док *створену животну средину* изграђује човек својим разноврсним деловањем.

Природну средину чине: вода, ваздух, земљиште, живи свет – који у ствари представљају Земљине сфере, односно хидросферу, атмосферу, литосферу и биосферу. Ове сфере се налазе у одређеном стању динамичке равнотеже, изражене процесима размене супстанци и енергије, што се остварује милионима година. Свака промена одражава се на сложен систем међузависних процеса. Животна средина се карактерише великом променљивошћу и хетерогеношћу у времену и простору, што је резултат сталног деловања комплексних еколошких услова. У животној средини се одвија мноштво међузависних процеса, а промена у било ком делу, утиче на целокупно окружење.

Последице промена у животној средини могу бити позитивне, али и далекосежно негативне. Савремени, велики и брзи развој технологије временом доводи до оптерећења животне средине и испољавања штетног ефеката, те се јавља проблем како сачувати квалитетан животни простор. Вода представља најраспрострањенију супстанцу на Земљи и у потпуности чини једну од сфера - хидросферу, али је присутна и у атмосфери, литосфери и биосфери. Вода је на планети била присутна много пре постанка живих организама. Разноврсни сложени хемијски процеси, који су се дешавали у њој, створили су основ за развој и одржавање живота, те се с правом назива „матрицом живота“.

Вода је супстанца изузетно значајна за живи свет и неопходна је за обављање биолошких и метаболичких реакција, односно представља неопходну супстанцу за стварање и одржавање живота. У живим бићима вода може да чини и до 90% од укупне масе тела. Зато вода мора да поседује добра хигијенска својства и све елементе здравствене безбедности. Потреба за квалитетном водом се са порастом броја становника нагло повећава, претећи да постане ограничавајући фактор даљег развоја цивилизације. Данас су сви природни ресурси, међу којима је и вода, све угроженији. Угроженост воде се може издвојити као најозбиљнија, јер је вода нераскидиво повезана са производњом хране, енергије и заштитом животне средине. Загађивањем воде угрожава се производња квалитетне и здравствено безбедне хране. Савремена пољопривредна производња није само велики потрошач квалитетне воде, већ истовремено и њен потенцијални загађивач.

Према подацима Светске здравствене организације (СЗО)¹ око 400 милиона људи у земљама у развоју болује од разноврсних хидричних болести због употребе недовољно чисте воде за пиће, а сматра се да дневно око 30 000 људи умре од болести проузрокованих водом за пиће лошег квалитета (WHO, 2015). Вода је и значајан фактор у процесима којима се одређују климатски услови, па се промена њеног квалитета значајно одражава и на климатске промене. Из свега наведеног може се рећи, да је заштита вода саставни део укупне проблематике заштите, унапређења и очувања животне средине и представља велики и комплексан проблем, односно интердисциплинарног је карактера.

¹ Светска здравствена организација – СЗО (енгл. *World Health Organization – WHO*).

На Међународној конференцији о водама и животној средини одржаној 1992. године у Даблину (The Dublin Statment, 1992), вода је окарактерисана као „ограничен извор и економско добро” које треба чувати и њиме управљати тако да се не угрозе интереси будућих генерација, а истовремено да се осигура њено ефикасно и правилно коришћење. Један од важних закључака ове конференције је да је „*одрживост постала основни принцип свих развојних стратегија, посебно у домену развоја водних ресурса*”.

Вода као најважнији ресурс мора се третирати као „добро од општег интереса” и мора се користити рационално, вишенаменски и виšekратно. При планирању рационалног коришћења воде мора се имати у виду следеће:

- вода је најважнији предуслов опстанка свих живих бића на Земљи,
- вода је незаменљив, али и обновљив ресурс који се користи у великом броју процеса као сировина и као средство за рад. То је једини природни ресурс који је непрекидно у оптицају као општи предмет рада,
- само незагађена вода је здравствено безбедна, па је потребно спречити њено загађивање,
- вода је најраспрострањенији природни ресурс и њу насељавају најбројније биоценозе, те је стога кључни елемент животне средине који треба штитити од загађења.

Значајне несугласице и неспоразуми постоје при оцени водних ресурса, па је зато важно да се методолошки разјасни питање воде као ресурса на који се може рачунати.

Неспоразуми потичу из непознавања чињенице да „*присутна вода није исто што и водни ресурс*”.

Водни ресурс представља само ону воду која има употребну вредност за кориснике. Вода је као ресурс количински мања од укупно присутне воде на неком подручју. Глобално постоји тенденција смањења количине воде као ресурса током времена због све оштријих еколошких, урбаних и социјалних ограничења. Од важности је такође, облик и начин постојања воде на неком подручју, што се дефинише водним режимом (Златановић, 2009).

Водни режим је појам који подразумева сталну промену квалитативних и квантитативних карактеристика воде у природним водотоцима, као и динамика односа воде са околином која је окружује.

Недостатак воде манифестује се на различите начине, али се посебно уочавају следећи проблеми:

- све су веће тешкоће при обезбеђивању потребних количина воде за све намене,
- све су већи и озбиљнији проблеми заштите од штетног деловања вода,
- све су веће опасности по човека и његову околину због загађења вода и деструкције водних екосистема.

Зато су Савет Европске уније (ЕУ) и Европски парламент 1996. године (Council Directive 96/61/EC) утврдили да циљеви „одрживе политике у области вода” треба да обезбеде, на „трошковно ефективан и ефикасан начин”, следеће:

- да снабдевање водом за пиће буде сигурно,
- да вода буде одговарајућег квалитета и квантитета, ради задовољења других економских потреба,
- да извор воде својим квалитетом и квантитетом буде такав да заштити и одржи добро стање животне средине и функционисање водене средине, као и да задовољи потребе за водом свих екосистема и станишта,
- да управљање водама буде такво да се спречи или смањи негативан утицај поплава и суша.

Управљање водама треба да буде такво да се воде могу користити и оптерећивати, а отпадне воде треба третирати пре испуштања у реципијенте до нивоа који не представља опасност за природне процесе и за обнову квалитета и квантитета воде и који не умањују могућност њиховог вишенаменог коришћења (Далмација и Иванчев-Тумбас, 2003).

1.2. Нормативна уређеност у области вода у Републици Србији

Стално загађивање земљишта, површинских и дубинских вода има далекосежни утицај на квалитет воде коју користи живи свет. Проблем загађивања воде се може сматрати најозбиљнијим, јер се водом обезбеђује производња хране, енергије и, уопштено, заштита животне средине, па се из тих разлога у свакој земљи воде штите одговарајућом регулативом. Европска унија је усвојила заједнички основ управљања водама кроз документ „Оквирна директива Европске уније о водама“² који се популарно назива „европски устав о водама“ (Directive 2000/60/EC). Основни принцип документа је да „вода није комерцијални производ као неки други, него наслеђе које треба чувати, заштитити и сходно томе поступати“. Члан 16. Оквирне директиве Европске уније о водама дефинише „Стратегије против загађења воде“, где се наводе посебне мере које је потребно предузети против загађења вода појединачним загађујућим материјама или групама материја. Оно што представља новину у приступу о квалитету вода у односу на дотадашње прописе је:

- систем управљања врши преко речних сливова,
- употребљава се комбиновани приступ у контроли загађења коришћењем граничних вредности емисије (ГВЕ) и циљних критеријума квалитета (ГВИ),
- стварање свести корисника о трошковима обезбеђивања довољне количине воде одговарајућег квалитета,
- учешће најшире јавности у процесу доношења одлука.

Сходно томе, Република Србија мора усклађивати националне законе, прописе, стандарде и институције из домена вода и животне средине онима које је прихватила Европска унија. У Републици Србији постоји више прописа којима се уређује статус вода заједно са сливним подручјем и објектима за снабдевање водом. Најопштији пропис је Закон о водама (Службени гласник РС, бр. 95/2018). Њиме се уређује правни статус вода, интегрално управљање водама, управљање водним објектима и водним земљиштем, извори и начин финансирања водне делатности, надзор над спровођењем овог закона, као и друга питања значајна за управљање водама.

² Оквирна директива Европске уније о водама (енгл. *Water Framework Directive – WFD*).

Одредбе овог закона односе се на све површинске и подземне воде на територији Републике Србије, укључујући термалне и минералне воде, осим подземних вода из којих се могу добити корисне минералне сировине и геотермална енергија. Такође, одредбе овог закона односе се и на водотокове који чине или пресецају државну границу Републике Србије, као и њима припадајуће подземне воде, ако посебним законом није другачије прописано. У даљем тексту, ради лакшег разумевања проблематике заштите вода, навешће се поједини изрази који се употребљавају у поменутом закону, а чија су значења дефинисана законом.

Водни биланс је квантитативни и квалитативни однос расположивих и потребних количина површинских и подземних вода на одређеном простору и у одређеном времену.

Водни режим јесте природно и/или људским активностима проузроковано квантитативно и/или квалитативно стање подземних и површинских вода на одређеном простору и у одређеном времену.

Водни систем чине све воде, водна земљишта и водни објекти на одређеном простору.

Водно подручје је област коју чини један или више суседних речних сликова и подсликова или њихових делова на територији Републике Србије, заједно са припадајућим подземним водама, које је одређено као основна јединица за управљање водама.

Водно тело површинске воде је посебан и значајан елемент површинске воде као што је језеро, акумулација, поток, река или канал или део потока, реке или канала.

Водно тело подземне воде је посебна запремина подземне воде унутар једног или више водоносних слојева.

Водоток је корито текуће воде заједно са обалама и водом која њиме стално или повремено тече и може бити природни (река, бујица, поток) и вештачки (канал, просек, измештено корито).

Загађивање је директно или индиректно уношење, као резултат људске активности, супстанци или топлоте у ваздух, воду или земљу, а које може бити штетно по људско здравље или по квалитет акватичних екосистема или сувоземних екосистема директно зависних од акватичних екосистема (приобални екосистеми), које проузрокује штету на материјалним добрима или умањује или омета обичајна и друга легитимна коришћења животне средине.

Загађујућа супстанца је свака супстанца која узрокује загађивање, а чија се листа утврђује посебним прописом.

Извориште је простор (извор, део реке или језера, акумулација или њен део и аквифер или његов део) на коме се захвата вода за разне кориснике.

Јавни водовод је скуп узајамно повезаних техничко – санитарних објеката и опреме, намењених да становништву и привреди обезбеди воду за пиће која испуњава услове у погледу здравствене исправности.

Каптажа је грађевински објекат којим се на хигијенски начин захвата изворска - подземна, површинска и атмосферска вода ради јавног снабдевања становништва водом за пиће.

Минимални одрживи проток је проток који се низводно од водозахвата мора обезбедити у водотоку за опстанак и развој низводних биоценоза и задовољавање потреба низводних корисника.

Статус вода

Према Оквирној директиви Европске уније о водама (ОДВ), статус вода подразумева одређен квалитет водног тела површинских и подземних вода. Циљ Директиве о водама је постизање „*доброг статуса*“ свих вода.

Према правним основама Закона о водама (Службени гласник РС, бр. 95/2018), Министарство пољопривреде, трговине, шумарства и водопривреде и министарство животне средине, рударства и просторног планирања донело је Правилник о параметрима еколошког и хемијског статуса површинских вода и параметара хемијског и квантитативног статуса подземних вода (Службени гласник РС, бр. 74/2011), којим се прописују:

- параметри еколошког и хемијског статуса за реке и језера,
- параметри еколошког потенцијала за вештачка водна тела и значајно
- измењена водна тела и
- параметри хемијског и квантитативног статуса подземних вода,

на основу којих се за водна тела површинских и подземних вода врши оцена статуса. Статус вода одређује се елементима квалитета, што подразумева индикаторе који се користе за оцену статуса водног тела површинских вода и обухватају три групе елемената: биолошке, хидроморфолошке, хемијске и физичкохемијске.

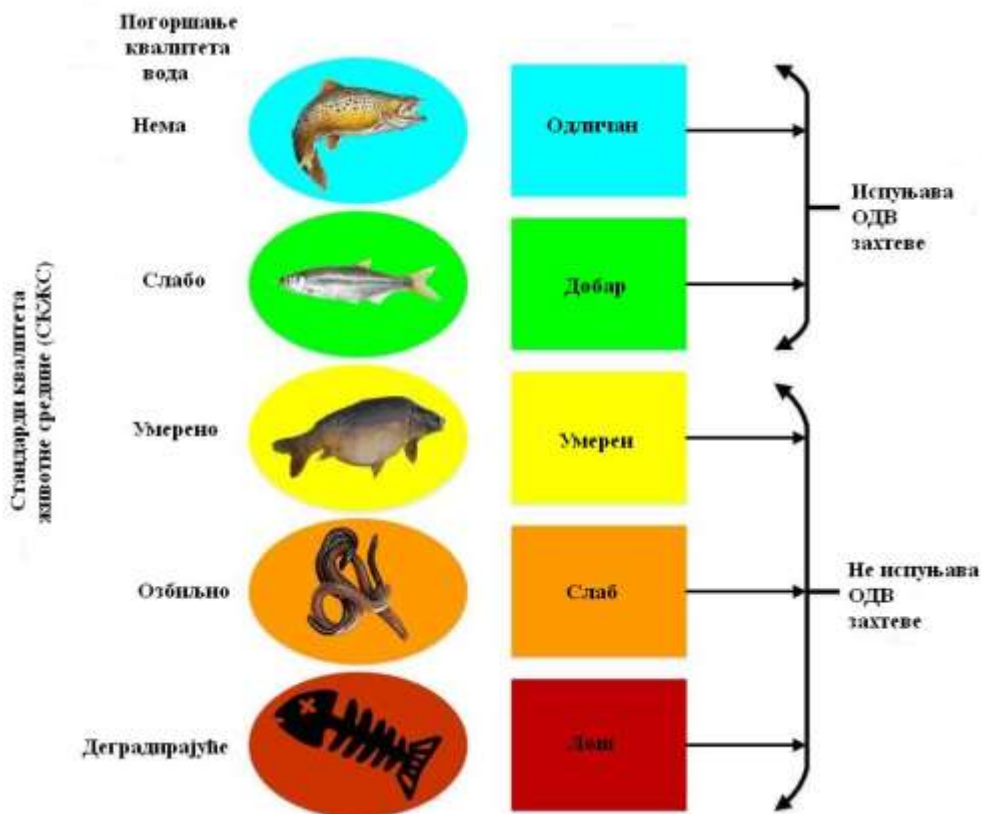
Статус површинских вода одређује се еколошким и хемијским статусом за реке и језера и еколошким потенцијалом за вештачка водна тела и значајно измењена водна тела.

Еколошки статус, без обзира на тип водотока, обухвата следеће елементе квалитета: биолошке, хемијске, физичкохемијске и хидроморфолошке са посебним акцентом на специфичне полутанте³.

- *Биолошки елементи квалитета* су индикативни параметри еколошког статуса или потенцијала који се односе на појаву и распрострањеност живих организама водених екосистема (микроорганизми, алге, водене макрофите, водени бескичмењаци и рибе).
- *Хемијски, физичкохемијски и хидроморфолошки* елементи квалитета су они који имају значај за биолошке елементе квалитета за дату категорију површинских вода и дати тип водног тела површинских вода.

Поменути Правилником еколошки статус за реке и језера класификује се као одличан (I), добар (II), умерен (III), слаб (IV) и лош (V), што је графички илустровано на слици 1.1.

³ Полутанти су оне супстанце које непосредно (директно) изазивају промене у живим организмима, биле оне леталне или сублеталне (морфолошке, структурне, физиолошке или тератогене).



Слика 1.1. Илустрација класа еколошког статуса (Vasović, Stanković, & Takić, 2019)

Хемијски статус површинских вода је посебно дефинисан и одређује се у односу на граничне вредности приоритетних и приоритетних хазардних супстанци и граничне вредности других загађујућих супстанци које су од значаја за хемијски статус водног тела површинских вода. Хемијски статус у суштини показује да ли је водно тело под утицајем загађивања приоритетним и приоритетним хазардним супстанцама, као и другим загађујућим супстанцама.

Граничне вредности приоритетних и приоритетних хазардних супстанци прописане су актом којим се утврђују граничне вредности за приоритетне и приоритетне хазардне супстанце, у складу са законом. Хемијски статус водних тела оцењује се на основу резултата мониторинга, као „добар статус“ и „није постигнут добар статус“. *Добар статус површинске воде имају уколико су обе компоненте статуса оцењене са најмање „добар“.* То подразумева низак ниво хемијски загађујућих супстанци и здрав екосистем.

Еколошки потенцијал је статус за значајно измењена водна тела као и за вештачка водна тела. Одређује се истим елементима квалитета као и еколошки статус, а класификује се као максималан (I), добар (II) и умерен (III).

Све површинске воде које имају еколошки статус или еколошки потенцијал нижи од умереног класификују се као слабе (IV) или лоше (V).

Пошто се водна тела површинских вода користе за разноврсне намен, то могу имати и различите захтеве за квалитетом воде. За њихово разликовање издвајају се пет различитих класа статуса квалитета површинских вода, а свака класа се дефинише за шта се користи.

- *Класа I представља врло добро стање*

Врло мале или никакве промене због људске делатности на физичкохемијске и хидроморфолошке елементе квалитета водног тела у односу на вредности квалитета уобичајене за тај тип вода у ненарушеном стању. Вредности биолошких елемената квалитета одражавају уобичајене вредности за тај тип вода у ненарушеном стању, и показују мала или никаква одступања. Површинске воде које припадају овој класи обезбеђују на основу граничних вредности елемената квалитета услове за функционисање екосистема, живот и заштиту риба (салмонида и ципринида) и могу се користити у следеће сврхе: снабдевање водом за пиће уз претходни третман филтрацијом и дезинфекцијом, купање и рекреацију, наводњавање, индустријску употребу (процесне и расхладне).

- *Класа II представља добро стање*

Вредности биолошких елемената квалитета (на које утичу незнатно промењени физичкохемијски параметри) за одређен тип вода показују низак ниво промена узрокован људском делатношћу, тј. само мало одступање од вредности уобичајених за тај тип воде у ненарушеном (природном) стању. Површинске воде које припадају овој класи обезбеђују на основу граничних вредности елемената квалитета услове за функционисање екосистема, живот и заштиту риба (салмонида и ципринида) и могу се користити у исте сврхе и под истим условима као и површинске воде које припадају класи I.

- *Класа III представља умерено стање*

Вредности биолошких елемената квалитета (на које утичу нешто више промењени физичкохемијски параметри) за одређени тип површинских вода које умерено одступају од вредности уобичајених за тај тип вода у ненарушеном стању. Вредности показују умерено одступање услед људске делатности, а поремећаји су знатно већи него у условима доброг стања. Површинске воде које припадају овој класи обезбеђују на основу граничних вредности елемената квалитета услове за живот и заштиту ципринида и могу се користити у следеће сврхе: снабдевање водом за пиће уз претходни третман коагулацијом, флокулацијом, филтрацијом и дезинфекцијом, купање и рекреацију, наводњавање, индустријску употребу (процесне и расхладне).

- *Класа IV представља лоше стање*

Воде које показују знакове већих промена вредности биолошких елемената за тај тип површинских вода, и у којима релеватне биолошке заједнице знатно одступају од уобичајених за тај тип вода у ненарушеном стању, и класификују се као слабе. Површинске воде које припадају овој класи на основу граничних вредности елемената квалитета могу се користити у следеће сврхе: снабдевање водом за пиће уз примену комбинације претходно наведених третмана и унапређених метода третмана, наводњавање, индустријску употребу (процесне и расхладне).

- *Класа V представља врло лоше стање*

Воде које показују знакове јако промењених вредности биолошких елемената квалитета (на које значајно утичу промењени физичкохемијски параметри) за тај тип површинских вода, и којима су велики делови релеватних биолошких заједница уобичајен за тај тип вода одсутни, класификују се као лоше. Површинске воде које припадају овој класи не могу се користити ни у једну сврху.

Статус подземних вода одређује се хемијским и квантитативним статусом.

Статус подземних вода одређује се за водна тела подземних вода, или за групе водних тела, при чему сва водна тела унутар групе морају имати исти статус. Параметри за одређивање хемијског статуса су све загађујуће супстанце које могу да доведу у ризик постизање циљева животне средине у погледу подземних вода.

Хемијски статус подземних вода се одређује на основу резултата мониторинга као добар или слаб.

Хемијски статус водног тела подземних вода одређује се као добар када је вредност средње годишње концентрације (СГК) за сваку загађујућу материју у подземној води на свим мерним местима мања или једнака граничним вредностима концентрације (ГВК) утврђених посебним прописом, у складу са законом којим се уређују воде.

Квантитативни статус водног тела подземних вода одређује се на основу следећих параметара: ниво подземних вода, количине захваћених вода, издашност извора и количина воде за вештачко прихрањивање.

Водно тело подземне воде има добар квантитативни статус ако:

- средње вишегодишње захватање подземних вода не превазилази расположиви ресурс подземне воде,
- на више од 70% површине водног тела није регистрован тренд опадања нивоа подземних вода,
- на више од 70% површине водног тела је средњи ниво подземне воде виши од критичног нивоа процењеног на основу тромесечног вишегодишњег минимума нивоа, и ако промена нивоа и количина подземних вода која се захвата за људске потребе:
 - не угрожава достизање циљева животне средине за површинске воде које су повезане са водним телом подземних вода,
 - не проузрокује значајну деградацију стања површинских вода повезаних са водним телом подземних вода,
 - не проузрокује значајне и неповољне утицаје на копнене екосистеме зависне од водних тела подземних вода.

Закон о водама (Службени гласник РС, бр. 95/2018) појам *вода за пиће* дефинише као „воду која се користи за пиће, прераду и производњу хране и предмета опште употребе, као и остале потребе људи“.

Према Правилнику о хигијенској исправности воде за пиће (Службени лист РС, бр. 42/98, 44/99 и Службени гласник РС, бр. 28/2019): „Вода која се користи за људску употребу у природном стању или пречишћена, и коју људи пију и користе за одржавање личне хигијене, припрему, производњу и стављање у промет животних намирница и предмета опште употребе јесте *вода за пиће*“.

У даљем тексту биће дефинисани поједини појмови употребљени у поменутој

регулативи којима се дефинише квалитет воде за пиће.

Јавно снабдевање становништва водом за пиће је снабдевање водом више од пет домаћинстава, односно више од 20 становника, снабдевање из сопствених објеката предузећа и других правних лица и предузетника који производе и/или врше промет животних намирница, снабдевање јавних објеката (образовно-васпитне организације, туристичко-угоститељске, саобраћајне и друго).

Природне воде затворених изворишта су: хигијенски каптирана природна врела и извори (чесме); подмене воде које на површину избијају под повећаним притиском (артешки бунари) или се механички извлаче помоћу затворених хигијенских система (субартешки бунари); подземне воде хигијенски каптиране за водоводне системе.

Природне воде отворених изворишта су: некаптирана врела, извори; водотоци I и II класе, језера и акумулације, ако се користе за снабдевање водом за пиће; копани бунари и цистерне.

Акумулација је вештачки изграђен систем за сакупљање воде, која се користи за јавно снабдевање становништва водом за пиће после одговарајућег пречишћавања и дезинфекције.

Зоне и појасеви санитарне заштите обухватају простор који се утврђује око изворишта за снабдевање водом за пиће, уређаја за пречишћавање, резервоара и главног ценовода ради заштите квалитета воде за пиће од намерног или случајног загађења, као и других штетних утицаја.

Нови захват воде је извориште које се планира за јавно снабдевање становништва водом за пиће или се укључује у постојећи водовод.

Водовод је систем за снабдевање водом за пиће који има уређено и заштићено извориште, каптажу, резервоар и водоводну мрежу.

Водоводна мрежа је систем цеви за одвод воде од каптаже или уређаја за пречишћавање воде до резервоара и од резервоара до потрошача воде за пиће. Хидранти и вентили су саставни део водоводне мреже.

Уређаји за дезинфекцију воде су уређаји којима се применом хемикалија и физичких метода обезбеђују прописани микробиолошки критеријуми за воду за пиће.

Узорак воде је количина воде узета једнократно, на једном месту, по прописаној методологији ради лабораторијског испитивања.

Узорковање воде за пиће је поступак за узимање прописаних количина воде за лабораторијску анализу из појединих објеката за јавно снабдевање становништва водом за пиће.

Преглед воде за пиће је одређивање органолептичких и других особина и лабораторијска анализа ради утврђивања њене хигијенске исправности у прописаним временским размацима.

Ванредно стање је стање елементарне и друге непогоде или после акцидентног загађивања изворишта или водовода које прогласи надлежни орган и организација, кад се могу применити норме за воду за пиће које се примењују у ванредним приликама.

Поменута законска регулатива је само део регулативе којима је законски уређена област управљања водама. Између осталих, битни су и: Правилник о начину узимања узорака и методама за лабораторијску анализу воде за пиће (Службени лист СФРЈ, бр. 33/87), 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), Правилник о квалитету и другим захтевима за природну минералну воду, природну изворску и стону воду (Службени лист СЦГ, бр. 53/2005 и Службени гласник РС, бр. 43/2013 - др. правилник), Закон о режиму вода (Службени лист СРЈ, бр. 59/98 и Службени гласник РС, бр. 101/2005), 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), Правилник о утврђивању водних тела површинских и подземних вода (Службени гласник РС, бр. 96/2010), Стратегија управљања водама до 2034. године (Службени гласник РС, бр. 3/2017) и други.

Питања за проверу знања:

1. Навести разлику између природне и створене животне средине.
2. Зашто се водена средина назива „матрицом живота“?
3. Навести значај воде за живи свет.
4. Објаснити на који начин долази до угрожавања природних ресурса.
5. Како је на Међународној конференцији о водама и животној средини, 1992. године у Даблину, вода окарактерисана?
6. Која је разлика између присутне воде и ресурса воде?
7. Како се манифестује недостатак воде у природи?
8. Које циљеве у области вода су утврдили Савет Европске уније и Европски парламент 1996?
9. Навести неке регулативе у Републици Србији које уређују област вода?
10. Како се законском регулативом дефинише вода за пиће?
11. Како се дефинише статус вода?

Литература:

1. Vasović, D., Stanković, S., & Takić, Lj. (2019). Environmental considerations of large wastewater treatment plants - The city of Niš case study. *Facta Universitatis - Series: Working and Living Environmental Protection*, 16(1), 15-24.
2. 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.
3. Златановић, С. (2009). *Расположивост водних ресурса у свету и код нас*. Београд: Правни факултет Универзитета у Београду.
4. WHO. (2015). Health in 2015: from MDGs, Millennium Development Goals to SDGs, Sustainable Development Goals. World Health Organization.
<https://apps.who.int/iris/handle/10665/200009>
5. The Dublin Statment. (1992). In: *The Dublin Statment and Report of the Conference*, (1-9). International Conference on Water and the Environment: Development Issues for the 21 century, 26-31 January 1992, Dublin, Ireland.
<https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/30961/ICWE.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

Правна регулатива:

6. Council Directive 96/61/EC of 24 September 1996 concerning integrated pollution prevention and control. *Official Journal L*, 257,1996, 26-40.
7. Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy. *Official Journal of the European Communities*, 327/2000, 1-72.
https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:5c835afb-2ec6-4577-bdf8-756d3d694eeb.0004.02/DOC_1&format=PDF
8. Закон о водама, *Службени гласник РС*, бр. 30/2010, 93/2012, 101/2016 и 95/2018 (др. закон).
9. Закон о режиму вода, *Службени лист СРЈ*, бр. 59/98. и *Службени гласник РС*, бр. 101/2005.
10. Правилник о квалитету и другим захтевима за природну минералну воду, природну изворску и стону воду, *Службени лист СЦГ*, бр. 53/2005. и *Службени гласник РС*, бр. 43/2013 - др. правилник.
11. 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.
12. Правилник о начину узимања узорка и методама за лабораторијску анализу воде за пиће, *Службени лист СФРЈ*, бр. 33/87.
13. Правилник о параметрима еколошког и хемијског статуса површинских вода и параметрима хемијског и квантитативног статуса подземних вода, *Службени гласник РС*, бр. 74/2011.
14. Правилник о утврђивању водних тела површинских и подземних вода, *Службени гласник РС*, бр. 96/2010.
15. Правилник о хигијенској исправности воде за пиће, *Службени лист СРЈ*, бр. 42/98 и 44/99. и *Службени гласник РС*, бр. 28/2019.

16. Стратегија управљања водама до 2034. године, *Службени гласник РС*, бр. 3/2017.
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.

2. ВОДА КАО ХЕМИЈСКО ЈЕДИЊЕЊЕ

Циљеви поглавља:

- Стицање основних знања о хемијској структури молекула воде
- Упознавање са неким специфичним особинама воде
- Разумевање процеса растварања супстанци у води

Резиме:

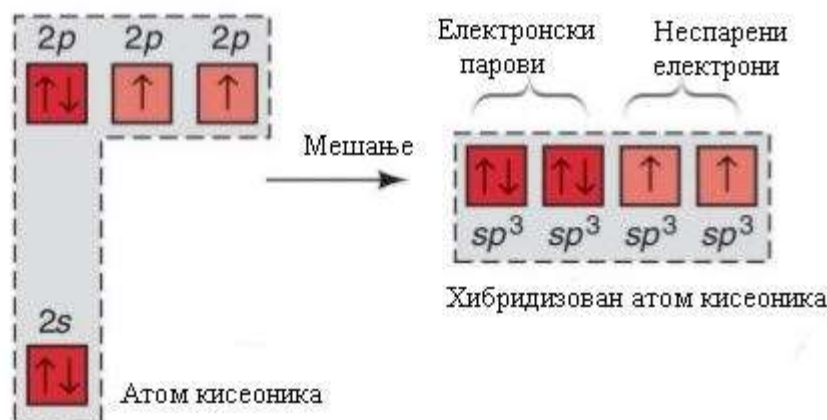
Молекул воде чине атом кисеоника и два атома водоника који су повезани поларном ковалентном везом. Међусобно се молекули воде везују водоничним везама, тако да сваки молекул воде за себе везује четири суседна молекула воде. Вода поседује јединствене особине, односно има физичке и хемијске особине какве нема ни једно друго познато једињење. Неке од значајних особина воде су: висока температура кључања, ниска температура мржњења, мања густина чврстог агрегатног стања у односу на течну, велики диполни моменат, изражен површински напон, капиларност и друго. Највећа густина чисте воде износи 1 g/ml и јавља се на температури од 3,98 °C. Вода је поларан молекул и она представља добар растварач за поларна и јонска једињења, док се неполарна једињења слабо у њој растварају. У води се растварају супстанце у сва три агрегатна стања. Хемијски чиста вода, без примеса, веома слабо проводи струју, међутим пошто је вода добар растварач у природи је тешко наћи хемијски чисту воду. Електрична проводљивост воде, заправо потиче од, у њој растворних, јона.

Summary:

A water molecule consists of an oxygen atom and two hydrogen atoms connected by a polar covalent bond. Water molecules are bound to each other by hydrogen bonds so that each water molecule binds four adjacent water molecules to itself. Water has unique properties, ie it has physical and chemical properties that no other known compound has. Some of the important properties of water are high boiling point, low melting point, the density of water in the solid-state is lower than the one in the liquid state, large dipole moment, pronounced surface tension, capillarity, etc. The highest density of pure water is 1 g/ml occurring at 3.98 °C. Water is a polar molecule and it is an excellent solvent for polar and ionic substances, while non-polar compounds are poorly or not soluble in water. Chemically pure water, without impurities, is an excellent insulator and does not conduct electricity, but as water is a very good solvent, in nature, chemically pure water does not exist. The conductivity of water is affected by the presence of dissolved ions.

2.1. Хемијска структура молекула воде

Молекул воде (H_2O) настаје сједињавањем два атома водоника и једног атома кисеоника. Хемијски елементи водоник и кисеоник имају по три изотопа. Изотопи водоника су: ^1_1H (протијум), ^2_1H (D – деутеријум, односно тежак водоник), ^3_1H (Т – трицијум), а кисеоника: $^{16}_8\text{O}$, $^{17}_8\text{O}$, $^{18}_8\text{O}$, тако да су могуће 42 различите изотопске комбинације водоника и кисеоника за стварање молекула воде. Међутим, само 9 комбинација су стабилне (настале од стабилних изотопа): H_2^{16}O ; HD^{16}O ; D_2^{16}O ; H_2^{17}O ; HD^{17}O ; D_2^{17}O ; H_2^{18}O ; HD^{18}O ; D_2^{18}O . Вода чији су молекули изграђени од водониковог изотопа ^2_1H (D) назива се „тешка вода“. Уколико није посебно наглашено, под молекулом воде се сматра молекул настао из изотопа водоника ^1_1H и кисеоника $^{16}_8\text{O}$, који стоје у тежинском односу 11,19% : 88,81%, односно 1:8. У молекулу воде атом кисеоника је sp^3 хибридитован. Кисеоник има електронску конфигурацију $^{16}_8\text{O}$: $1s^2$, $2s^2$, $2p^4$. Хибридизацијом атома кисеоника настају четири хибридне орбитале (sp^3 типа), од којих су две попуњене (садрже по један електронски пар), а друге две непопуњене (садрже по један неспарени електрон), слика 2.1 (Chang, 2003).

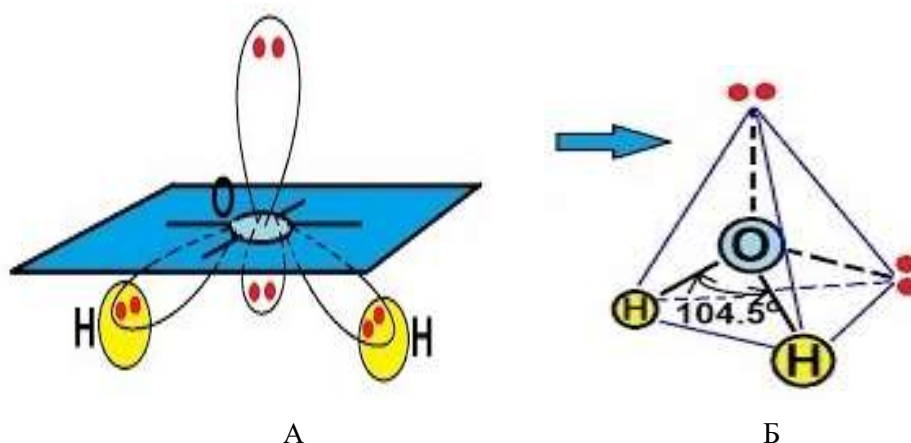


Слика 2.1. Хибридизација атома кисеоника (модификовано према Chang, 2003)

Сваки неспарени електрон кисеоника може да формира заједнички електронски пар са електроном водоника, односно да створи ковалентну везу сигма типа (σ), слика 2.2.А.

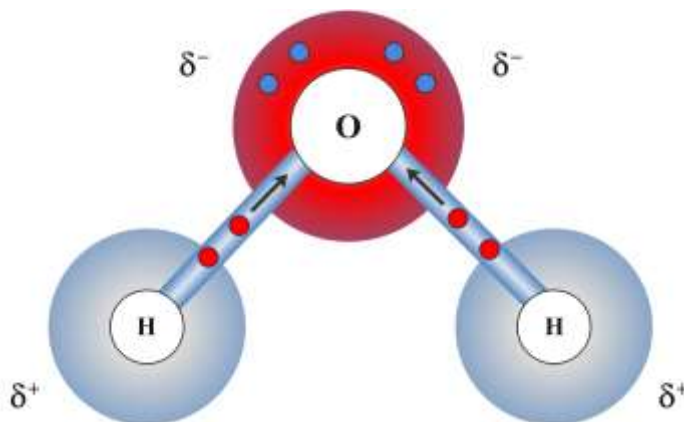
Молекул настао наведеним процесом је молекул воде, слика 2.2.Б.

Просторна структура молекула воде је тетраедарска. У центру тетраедра налази се атом кисеоника, у два рогља су слободни електронски парови кисеоника, а друга два рогља атоми водоника, који са кисеоником граде заједнички електронски пар, слика 2.2.



Слика 2.2. Просторни распоред атома у молекулу воде

Према Паулинговој скали електронегативности, разлика између коефицијента електронегативности кисеоника и водоника⁴ је 1,4, што указује да је електронски облак везе померен ка кисеонику, односно ка атому веће електронегативности (Atkins et al., 2006). Неједнака подела електрона унутар везе доводи до формирања електричног дипола, раздвајања позитивног и негативног наелектрисања. На атому кисеоника долази до појаве парцијално негативног наелектрисања (δ^-), а водоник је парцијално позитивно наелектрисан (δ^+), слика 2.3. Услед поларизације наелектрисања, ковалентна веза у молекулу воде се дефинише као *поларна ковалентна веза*. Сваку поларну везу карактерише физичка величина диполни моменат (μ)⁵. Диполни моменат је векторска величина и као таква има свој интензитет, правац и смер. Што је већа разлика у електронегативности већи је интензитет диполног момента, веза је поларнија, а парцијална наелектрисања на атомима већа. Правац диполног момента је правац хемијске везе, а смер од атома мање ка атому веће електронегативности.

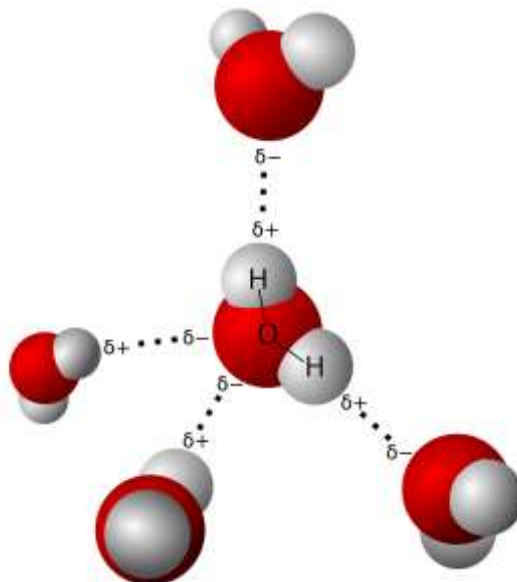


Слика 2.3. Диполни моменат у молекулу воде

⁴ Коефицијент електронегативности за кисеоник је 3,5, а за водоник 2,1, па је разлика 1,4.

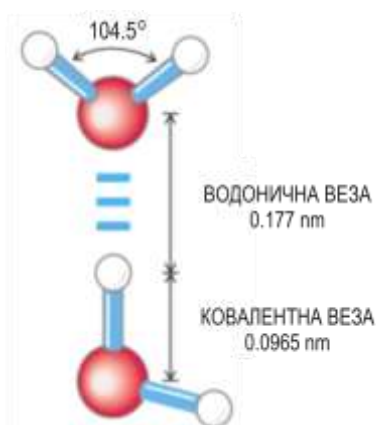
⁵ Диполни момент (μ) је мерило поларности молекула и представља производ наелектрисања (q) и растојања између центара наелектрисања (l).

Услед великог диполног момента, молекули воде се међусобно привлаче и везују водоничном везом која настаје између атома водоника једног молекула и атома кисеоника другог молекула воде. Сваки молекул воде може да гради четири водоничне везе са суседним молекулима воде, слика 2.4. На тај начин вода као хемијско једињење представља *асоцијат* великог броја молекула воде (Арсенијевић, 1992).



Слика 2.4. Водоничне везе између молекула воде

На основу изложеног можемо закључити да је у молекулу воде присутна поларна ковалентна веза (између атома водоника и кисеоника), а да су молекули воде међусобно повезани водоничним везама, слика 2.5.



Слика 2.5. Ковалентна веза између водоника и кисеоника унутар молекула воде и водонична веза између водоника и кисеоника два молекула воде

Водонична веза има велики утицај на физичке карактеристике воде (табела 2.1.). Наведене карактеристике молекула воде разлог су што вода има специфичне особине и понашање у односу на остала слична једињења (H_2S , H_2Se и H_2Te) (Филиповић и Липановић, 1985).

Табела 2.1. Неке физичке константе воде атомског састава ^1_1H и $^{16}_8\text{O}$

Физичка константна (јединица)	Вредност
Релативна молекулска маса	18,0154
Тачка кључања (K)	373,15
Тачка топљења (K)	273,15
Густина течне воде на 277,15 K (kg/m^3)	$1,0000 \cdot 10^3$
Густина течне воде на 275,15 K (kg/m^3)	$0,9987 \cdot 10^3$
Густина леда на 273,15 K (kg/m^3)	$0,9168 \cdot 10^3$
Вискозитет на 293,15 K (kg/ms)	0,001
Површински напон на 293,15 K (N/m)	0,07275
Температура максималне густине на 101325 Pa ($^{\circ}\text{C}$)	3,98
Моларни топлотни капацитет (kJ/mol)	75,3
Моларна топлота настајања (kJ/mol)	6,01
Моларна топлота испаравања на 373,15 K (kJ/mol)	40,79

2.2. Основне физичко-хемијске особине воде

Вода је једина природна супстанца која се налази у сва три агрегатна стања на температурама које постоје на Земљи. Према физичким карактеристикама, хемијски чиста вода је безбојна провидна течност, без мириса и укуса. Вода поседује јединствене особине, односно има физичке и хемијске особине какве нема ни једно друго познато једињење или материја (Silberberg, 2003).

Неке карактеристичне особине воде су:

- висока температура кључања,
- ниска температура мржњења,
- мања густина чврстог агрегатног стања у односу на течну,
- велики диполни моменат,
- изражен површински напон,
- електричне особине и друго.

2.2.1. Температура кључања

Вода има *абнормално високу температуру кључања* 373,15 K (100°C) у односу на слична једињења. Разлог томе су бројне водоничне везе између водоникових и кисеоникових атома суседних молекула воде. Мада водонична веза спада у слабе хемијске везе, због њеног бројног присуства, потребно је утрошити већу количину енергије да би се везе раскинуле, односно да би течну воду превели у гасовито агрегатно стање (водену пару). *Енергија потребна за раскидање водоничних веза једног мола воде је 44,041 kJ*. Течна вода има веома висок топлотни капацитет⁶, на 20°C је $4,18 \text{ J/gK}$. Због тога се вода загрева и хлади пет пута спорије од земље. Да би се један литар воде загрејао за 1°C , потребно је око 3300 пута више топлоте, него за исту запремину ваздуха. Прелазак воде из течног у гасовито стање назива се *испаривање*, док се супротан процес – прелазак воде из гасовитог у течну стање назива *кондензација*. Процес преласка

⁶ Топлотни капацитет представља количину топлоте која је потребна да се температура јединичне масе воде подигне за 1°C .

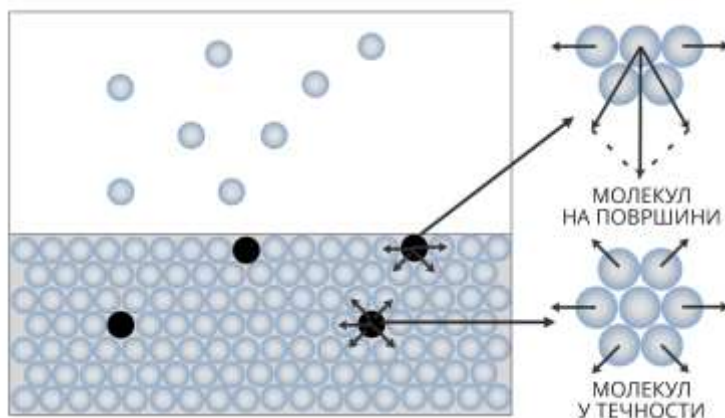
воде из чврстог (лед) директно у гасовито стање (водена пара) назива се *сублимација*, а обратни процес је *депозиција* (Риковски, 1987).

2.2.2. Густина

Највећа густина чисте воде износи 1 g/ml, и јавља се на температури од +3,98 °C (277,13 K). На температури од 0 °C (273,15 K) течна вода прелази у чврсто агрегатно стање – лед, чија је густина 0,9168 g/ml, што је око 8,5% мања густина од воде у течном стању на истој температури. Мања густина леда у односу на течну воду последица је промене у дужини О-Н везе и структуре молекула леда⁷. На основу тога, при замрзавању воде долази до ширења, а не до скупљања, што је једна од *аномалија воде*. У зависности од температуре и притиска под којима долази до стварања леда, откривено је 13 кристалних облика леда. Особина да је лед лакши од воде је од великог значаја за екосистем и очување биљних и животињских организама у природи током зиме. Снижавањем температуре ваздуха, површински слој воде се хлади до +4 °C, а густина воде је максимална, тако да се као тежа, спушта ка дну, а на површини остаје замрзнути део воде (лед) који је лакши и који плива по површини течне воде. *Значајан утицај на густину природних вода има њен састав, односно садржај растворених соли*. Густина скоро линеарно расте са повећањем концентрације соли (Његован, 1965).

2.2.3. Површински напон

Стабилност течности условљена је односом међумолекулских привлачних и одбојних сила унутар течности. Између молекула воде, у течном агрегатном стању, постоји привлачно дејство условљено присуством великог броја водоничних веза. Молекули који се налазе унутар течности равномерно су окружени другим молекулима, тако да је резултујућа сила узајамног деловања једнака нули. Међутим, молекули који се налазе на површини течности једним делом су окружени гасовитим молекулима воде изнад течности, а другим делом истородним молекулима воде у течности, слика 2.6.



Слика 2.6. Силе које делују на молекуле воде у унутрашњости и на граничној површини течности

⁷ Дужина интернуклеарног растојања О-Н у молекулу воде је 0,09572 nm када је у течној фази, у чврстој фази је 0,099 nm, а у гасној фази 0,09568 nm.

Гасовита фаза изнад течности одликује се знатно слабијим међумолекулским привлачним силама од течне фазе, тако да је резултујућа сила привлачења, код површинских молекула, усмерена ка течности. Резултујућа сила, у ствари, вуче молекуле са површине ка унутрашњости течности. Из тих разлога, долази до затезања целе површине течности у виду танке затегнуте опне, која се налази под извесним напонам, слика 2.6. Ова појава у површинском слоју течности назива се *површински напон*. Површински напон воде је већи у односу на било коју другу течност, осим живе. Површински напон омогућава да неки инсекти мале масе ходају по површини воде, слика 2.7.



Слика 2.7. Силе површинског напона одржавају инсекте на води

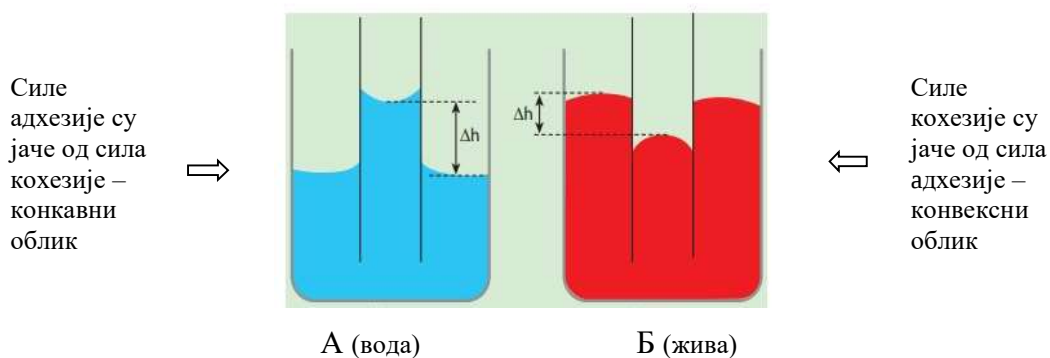
Течности код којих су међумолекулске привлачне (кохезионе) силе јаке имају велики површински напон и високу температуру кључања и испаравања, што је случај и са водом.

2.2.4. Капиларност

Капиларност је појава која се дешава на граници чврстих тела и течности, а дефинише се као способност течности да се креће кроз уске судове (капиларе)⁸ у супротном смеру од силе гравитације. Капиларност настаје као последица површинског напона течности, односно дејства међумолекулских сила. Молекулске привлачне силе између истих молекула називају се *кохезионе силе*, а између различитих молекула су *адхезионе силе*. Како ће се течност понашати на месту додира са чврстим телом зависиће од односа кохезионих и адхезионих сила. Уколико се капилара постави вертикално у суд напуњен течношћу, течност се унутар капиларе подиже или спушта у односу на ниво течности у суду (Стојановић и Голубовић, 2014).

Када су силе адхезије јаче у односу на кохезионе силе, течност кваси зидове капиларе, односно ниво течности у капилари је виши од нивоа течности у суду, а површина течности у капилари је издубљеног облика – *конкавни менискус* (слика 2.8.А). Уколико су силе кохезије јаче од сила адхезије, течност не кваси зидове капиларе, односно ниво течности у капилари је нижи од нивоа течности у суду а површина течности у капилари је испупченог облика – *конвексни менискус* (слика 2.8.Б).

⁸ Капиларе су уске цеви, пречника мањег од 1 mm.



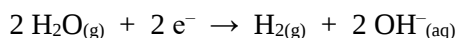
Слика 2.8. Подизање и спуштање течности унутар капиларе на примеру воде и живе

Висина стуба течности је сразмерна коефицијенту површинског напона, а обрнуто сразмерна полупречнику цеви. Што значи да се код квашења уже цеви ниво течности подиже на већу висину. Течност се пење у капилари све док се резултујућа сила површинског напона не изједначи са тежином стуба течности у капилари.

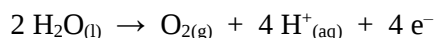
У природи се овим процесом подземна вода креће из доњих влажнијих слојева кроз веома узане пукотине тла ка површини земље. Такође, капиларно кретање воде је изузетно значајн процес за исхрану биљака, јер се вода креће из слојева тла ка корену биљака и даље кроз биљне капиларе. На тај начин се биљка храни растворима соли из земље, преко капиларе у стаблу и гранама до лишћа, чак и онда када је сушни период.

2.2.5. Електричне особине

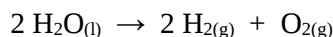
Вода без примеса веома слабо проводи струју и сматра се изолатором. Међутим, пошто је вода добар растварач, у води се увек налазе честице растворених супстанци. Зависно од хемијске структуре супстанци које су у додиру са водом и њиховог раствореног облика, водени раствори могу постати добри електрични проводници. Супстанце које растварањем у води дисосују на јоне проводе електричну струју у воденим растворима посредством јона. Ове супстанце називају се *електролити* и у то су раствори киселина, база и соли. Процес проласка електричне струје кроз поједине водене растворе примењује се за разлагање хемијских једињења – *процес електролизе*⁹. Електролиза је процес разлагања хемијског једињења под дејством електричне енергије. Процесу електролизе подлеже и вода уколико се електрична енергија пропусти кроз воду, слика 2.9. На катоди се издваја гасовит водоник (реакција редукције):



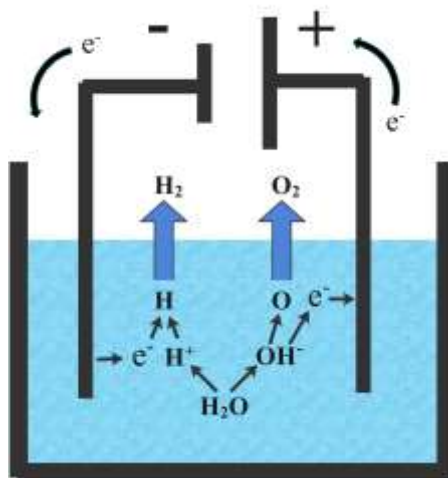
а на аноди гасовити кисеоник (реакција оксидације):



Укупна реакција:



⁹ Електролиза је разлагање хемијског једињења под утицајем електричне струје.

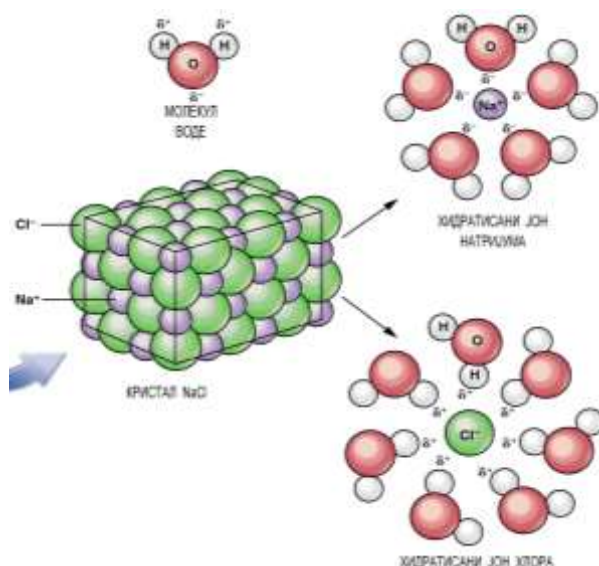


Слика 2.9. Процес електролизе воде

Процес електролизе воде се примењује за добијање водоника (Atkins et al., 2006).

2.2.6. Вода као растварач

Карактеристике воде, као растварача, потичу од специфичних хемијских веза које постоје у молекулу воде (поларна ковалентна веза) и између молекула воде (водонична веза). Због карактеристичне поларности молекула, вода има добру моћ растварања супстанци. У води се нарочито добро растварају поларна и јонска једињења, док се неполарна једињења слабо растварају (Стојановић и Голубовић, 2014). Јонска једињења у води лако дисосују, што је изузетно важно за екосистеме, нарочито за прелазак минералних материја из земљишта у живе организме. Вода је добар растварач за поларне кристалне супстанце. При контакту кристалне супстанце са водом, молекули воде, услед термичког кретања, ударају о површину кристалне решетке. Јављају се привлачне сила између јона кристала и поларних молекула воде, тако да се честице кристала окружују молекулима воде. Када привлачне силе између молекула воде и јона кристала постану доминантне (јаче) у односу на електростатичке привлачне силе између честица кристалне решетке, јони напуштају кристалну решетку окружени молекулима воде, односно постају хидратисани јони. Они се под дејством сила дифузије распоређују по целој запремини растварача, градећи раствор. Овај процес се назива *хидратација*, а честице које су окружене молекулима воде и које се налазе у растварачу називају се *хидратисане честице* или *хидрати*, слика 2.10.



Слика 2.10. Процес растварања кристалног натријум-хлорида

Пошто у поменутом процесу долази до разлагања молекула кристала на јоне, процес се назива *јонизација*, односно *дисоцијација*. Поменути процесом објашњава се присуство великих количина различитих јона у природним водама, који доспевају услед контакта воде са средином кроз коју пролазе. У току обратног процеса, односно кристализације, неки молекули воде могу бити уграђени у кристалну решетку (кристална вода). Такви молекули су: $\text{CuSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (гипс), $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ (сода), $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$.

Вода у већој или мањој количини раствара све гасове. Растварање гасова зависи од природе гаса, температуре и притиска гаса који је у додиру са водом. Добро се растварају поларни гасови, док се неполарни слабо растварају. Добру растворљивост у води имају и гасови који: реагују са водом (CO_2), граде водоничне везе са водом (HF , NH_3), јонизују у води (HCl , HI , HBr).

У води могу да се растварају или са њом мешају у различитим односима и течне супстанце. Растворљивост течне супстанце у води зависи од врсте хемијске везе унутар молекула и између молекула течности (Бојановић и Чорбић, 1988). Правило је да се поларне течности добро растварају у води.

Питања за проверу знања:

1. Објаснити разлике у изотопском саставу молекула воде?
2. Објаснити хибридизацију кисеониковог атома при стварању молекула воде.
3. Шта се подразумева под појмом диполни моменат воде?
4. Објаснити хемијску везу унутар молекула воде.
5. Објаснити хемијску везу између молекула воде.
6. Како настају асоцијати молекула воде?
7. Објаснити абнормално високу температуру кључања воде.
8. Објаснити разлику у густини воде везану за различита агрегатна стања.
9. Како густина воде код различитих агрегатних стања воде утиче на екосистем?
10. Објаснити електричне особине воде.
11. Шта је електролиза воде и који су продукти електролизе?
12. Зашто долази до појаве површинског напона воде.
13. Објаснити појаву капиларности воде.
14. Како се особина капиларности воде манифестује у природи?
15. Које супстанце се добро растварају у води и зашто?
16. На који начин долази до растварања кристалних супстанци у води?
17. Који параметри утичу на растворљивост гасова у води?

Литература:

1. Арсенијевић, С. (1992). *Неорганска хемија*. Београд: Научна књига Београд.
2. Atkins, P., Overton, T., Rourke, J., Weller, M., & Armstrong, F. (2006). *Shriver & Atkins Inorganic Chemistry*. Oxford, New York: Oxford University Press, W.H. Freeman and Co.
3. Бојановић, Ј., и Чорбић, М. (1988). *Опита хемија за студенте медицине*. Горњи Милановац: Дечије новине.
4. Његован, В.Н. (1965). *Основи хемије*. Београд: Научна књига Београд.
5. Риковски, И. (1987). *Неорганска хемија*. Београд: Грађевинска књига Београд.
6. Silberberg, S.M. (2003). *Chemistry: The Molecular Nature of Matter and Change*. New York: The McGraw-Hill Higher Education.
7. Стојановић, М., и Голубовић, Т. (2014). *Основи опште и неорганске хемије са задацима*. Ниш: Факултет заштите на раду у Нишу Универзитета у Нишу.
8. Филиповић, И., и Липановић, С. (1985). *Опћа и анорганска хемија, I/II део*. Загреб: Школска књига Загреб.
9. Chang, R. (2003). *General Chemistry: The Essential Concepts*. New York: The McGraw-Hill Higher Education.

3. ХИДРОСФЕРА

Циљеви поглавља:

- Упознавање са процесима који су довели до формирања хидросфере
- Стицање основних знања о расподели воде на Земљи и воде доступне за коришћење

Резиме:

Хидросфера обухвата сву воду присутну на површини планете Земље у сва три агрегатна стања, течном, чврстом и гасовитом, као и дубинску и атмосферску воду. Еволуција хидросфере је веома дуго трајала. Мора и океани постали су тек онда када се површина Земље толико охладилa да се вода на њој могла задржати. Процеси растварања и таложења који су уследили утицали су на хемијски састав водених површина. Вода покрива 73% Земљине површине, односно скоро три пута већу површину у односу на копно. Условно се може прихватити да је количина воде на Земљи око $1,4 \cdot 10^9 \text{ km}^3$. Од укупне количине воде на Земљи 97% чини слана вода окена и мора, док слатка вода чини око 3%. Од те количине 79% је вода на половима и глечерима у виду снега и леда, 20% подземна вода, а само 1% припада осталим површинским водама. Хидросфера представља животни простор за велики број живих организама, и сматра се да 2/3 становништва живи у близини мора и океана. Такође, хидросфера има одлучујући утицај на глобалне климатске промене.

Summary:

The hydrosphere includes water that is on the surface of the planet, in all three states of matter, in liquid, solid and gaseous state, as well as underground and atmospheric water. The evolution of the hydrosphere was a very long process. Seas and oceans did not appear until the Earth's surface was cool enough to retain the water. The subsequent processes of dissolving and sedimentation influenced the chemical composition of water. Water covers 73% of the Earth's surface, i.e., almost three times as large an area compared to the land. The amount of water on Earth is about $1.4 \cdot 10^9 \text{ km}^3$. Out of the total chemically unbound water on Earth about 97% is salt water in oceans and seas whereas the amount of fresh water is only 3%. Out of that, 79% is water found on the poles and glaciers in the form of snow and ice, 20% is groundwater, and only 1% is the rest found in surface water. The hydrosphere is a habitat for a large number of living organisms, and it is estimated that 2/3 of the population lives near the sea and oceans. Also, the hydrosphere has a decisive influence on global climate change.

3.1. Настанак хидросфере

Хидросфера обухвата сву присутну воду, од воде дубоко у Земљи до оне која се налази у слојевима атмосфере. Дакле, под хидросфером се сматра:

- вода у атмосфери (углавном у гасовитом агрегатном стању),
- површинска вода: океани, мора, језера, река, мочваре и друго (у течном агрегатном стању),
- вода из литосфере (у стенама, минералима и друго),
- дубинске-подземне воде,
- воде у залеђеном у агрегатном стању (снег, лед).

Сва вода на Земљи је међусобно повезана на различите начине и креће се између све четири сфере, при чему мења агрегатна стања. Еволуција хидросфере је веома дуго трајала. Ток и обим процеса настанка водених површина је још увек недовољно разјашњен, али се уско повезује са самим настанком планете Земље (Withgott & Brennap, 2006).

Спектрохемијском анализом зрака са Сунца и других звезда, као и непосредним хемијским анализама објеката из космоса (метеора и других), који доспевају на Земљу установљено је да се све планете Сунчевог система састоје од истих хемијских елемената. Међутим, и поред тога, настанак и порекло космоса и планета, ни до данас није објашњено (Почуча, 2008).

По данашњем тумачењу, које је резултат бројних истраживања, Земља и чланови Сунчевог система порекло воде од огромног међузвезданог облака састављеног од неравномерно распоређених (негде гушће, а негде ређе) хладних честица космичке прашине и различитих гасова. У гушћим деловима долази до бржег скупљања честица и формирања локалних гравитационих центара, који привлаче околне честице и постепено нарастају стварајући велика лоптаста језгра „глобуле“. У њима се због међусобног привлачења честица јавља вртложно кретање и све веће скупљање – сабијања материје. У централном делу међузвезданог облака формирана је највећа глобула – „протосунце“, а у осталим његовим деловима формиране су мање скупине – „протопланете“. Због велике концентрације материје, централна глобула се интензивно сакупља, што доводи до великог пораста притиска и температуре у њеном средишту. Када је температура достигла 10^6 °C, јављају се термонуклеарне реакције (фузија) при чему се водоник претвара у хелијум уз ослобађање велике количине енергије. Сматра се да је на тај начин настала *нова звезда Сунце* пре 5 милијарди година.

У средиштима мањих скупина космичке материје, нису створени тако високи притисци и температуре, па није дошло до термонуклеарних реакција. Зато су од мањих глобула настала тамна и хладна небеска тела – протопланете. Привлачењем и скупљањем космичког облака материје настаје и *протоземља*, која је била 500 пута веће масе од данашње. Највећи део њене масе чинили су гасови, настали повећањем температуре и загревањем планете, гравитацијским скупљањем, појавом радиоактивности у унутрашњости планете и друго. Међутим, због термонуклеарних процеса на Сунцу и појаве снажних сунчевих ветрова (наелектрисане честице које емитује Сунце), одувана је већа количина гасова, првенствено водоника и хелијума, која није била заробљена у унутрашњости планете. У растопљеном материјалу планете долази до миграције, и то тежих елемената (гвожђе и други) ка средишту, а

лакших (силицијум, алуминијум, калцијум, магнезијум, натријум, калијум и кисеоник) ка површини.

Временом температура опада, тако да се маса полако хлади. Пре 4,5 милијарди година маса се довољно охладила и формира се кора на површини Земље, чиме започиње *геолошки развој Земље*. У том периоду активност вулкана је интензивна чиме се избацују знатне количине гасова. Снижена температура омогућава да се дејством Земљине гравитације формира *праатмосфера*. Она се разликовала од водоник-хелијумске протоатмосфере, али и од данашње атмосфере, јер се у току хлађења масе, постепено из ње ослобађају заробљени гасови, као што су: водоник, амонијак, метан, угљен-диоксид, сумпор-диоксид, водена пара. Температура је била још увек висока да би настала вода у течном стању, тако да тада није дошло до одвајања хидросфере и атмосфере.

Када се Земља довољно охладила покреће се хидролошки циклус, односно настаје киша и отицање воде са површине, што додатно хлади Земљу. Тада се смањује количина водене паре, а повећава текућа вода, односно долази до *раздвајања хидросфере од атмосфере*. Пре 4 милијарде година формирају се први океани. У њима се растварају присутне гасовите супстанце, као што су угљен-диоксид, метан и друге. У атмосфери највећим делом остаје азот (кисеоника још нема у данашњим количинама јер још нема фотосинтетичких биљака). Интеракције које су тада постојале између створене хидросфере, атмосфере и литосфере су биле најинтензивније. Процеси растварања и таложења који су уследили довели су до формирања хемијског састава водених површина. Литосфера је имала нарочит утицај на хемијски састав водених површина (Веселиновић и др., 1995).

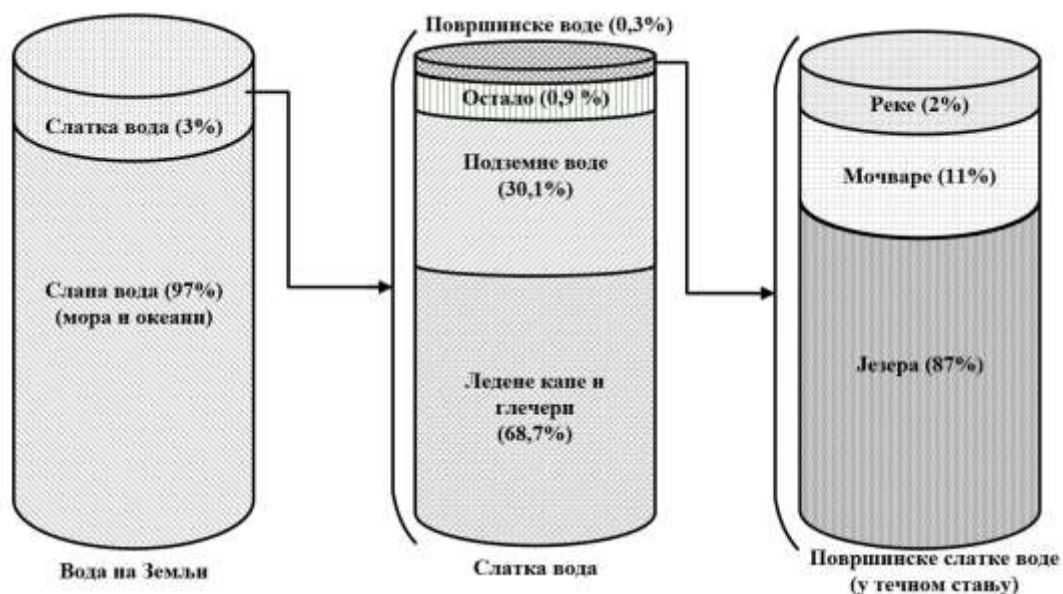
И данас сталним процесима растварања и таложења настају многобројна једињења у води, чија разноврсност зависи од састава тла. Температурни режим Земље условљен њеном величином, скоро кружном путањом око Сунца и удаљеношћу, брзина кретања око своје осе, постојање атмосфере, гравитације и друго довео је да вода на површини Земље није нити замрзнута нити испарена у атмосфери (Van Loon & Duffy, 2005).

3.2. Расподела воде на Земљи

Вода покрива 73% Земљине површине, односно скоро три пута већу површину у односу на копно. Међутим, поред видљиве површине, вода је значајна компонента атмосфере, земљишта и живих организама. У литератури се срећу различити подаци о укупној запремини воде на Земљи, али се условно може прихватити количина од око $1,4 \cdot 10^9 \text{ km}^3$, тако да је Земља добила назив „плава планета“.

Од укупне *хемијски неvezане воде* на Земљи око 97% је слана вода, која се налази у океанима и морима, док слатким водама припада само 3%. Од тога је око 69% вода на половима и глечерима у облику снега и леда, око 30% подземна вода, а само око 1% површинске и остале воде. Од слатке површинске воде 87% је у језерима, у мочварама је 11% а у рекама 2%. Велика количина слатке воде која се налази у смрзнутом стању на половима и планинским глечерима, није доступна за коришћење (Златановић, 2009).

На располагању за коришћење је само око 1% укупне количине слатке воде, слика 3.1, табела 3.1.



Слика 3.1. Расподела воде на Земљи

Значајна количина воде налази се у литосфери, али је она хемијски везана за минерале, стварајући кристалохидрате или као структурна вода која се ослобађа само на високој температури.

Табела 3.1. Расподела воде на Земљи (Златановић, 2009)

Елементи хидросфере	Запремина воде (10^3 km^3)	Удео у укупној запремини (%)
Светски океан	1 370 000	97,25
Ледне капе и глечери	29 000	2,05
Подземне воде	9 500	0,68
Језера	125	0,01
Влага у земљишту	65	0,05
Водена пара у атмосфери	13	0,001
Реке	1,7	0,0001
Вода у живим бићима	0,6	0,00004

Хидросфера представља животни простор за велики број живих организама. Сматра се да је у морима и океанима откривено тек око 15% организама. Подаци указују да 2/3 светске популације живи у приобалним подручјима мора и океана у појасу широком само 60 km и да су им основни извори хране управо мора и океани. Такође, значајна чињеница је да хидросфера има одлучујући утицај на глобалне климатске промене (Ђармати и др., 2007).

Питања за проверу знања:

1. Које воде обухвата хидросфера?
2. У ком агрегатном стању се прво јавила вода на Земљи и када?
3. Објаснити процес настанка водене површине на Земљи.
4. Који процеси су утицали на хемијски састав водених површина током формирања хидросфере?
5. Навести количинску заступљеност воде на Земљи.
6. Објаснити значај хидросфере за живот на Земљи.

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. Withgott, J., & Brennan, S. (2006). *Environment*. San Francisco: Pearson Education.
4. 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.
5. Златановић, С. (2009). *Расположивост водних ресурса у свету и код нас*. Београд: Правни факултет Универзитета у Београду.
6. Почуча, Н. (2008). *Екохидрологија (Загађење и заштита вода)*. Београд: Грађевинска књига.

4. РАСПРОСТРАЊЕНОСТ ВОДЕ У ПРИРОДИ

Циљеви поглавља:

- Стицање општих знања о количини и расподели воде у природи
- Стицање основних знања о води у атмосфери, литосфери и површинским водама
- Стицање знања о хидролошком циклусу
- Дефинисање појма једначина хидролошког биланса

Резиме:

Вода се, као најраспрострањенија супстанца на Земљи, налази у свим сферама. Према средини у којој се налази разликују се: атмосферска, подземна и површинска вода. У атмосферу вода доспева испаравањем са површине земље и са водених површина. Атмосферска вода је значајна као растварач за многе гасове, апсорбенс топлоте, учесник у атмосферским процесима и друго. Подземне воде се налазе у литосфери и појављују се у сва три агрегатна стања. Зависно од структуре и физичко-хемијских особина вертикалног профила литосфере кроз који пролази вода и реакција воде са чврстим минералним честицама, подземна вода се може јавити као: гравитациона вода, капиларна вода, хемијски или физички везана вода, вода у гасном стању или у облику леда. Површинске воде су оне које се налазе на површини Земље и углавном су у течном агрегатном стању. Квалитет вода зависи од састава терена са којим је вода у контакту, од атмосферских падавина, биолошких процеса у њима, антропогеног утицаја и друго. У природи постоји стално кретање воде. На процес кретања воде првенствено утичу енергија Сунца и сила Земљине теже. Вода константно кружи између атмосфере, површинских вода и копна и тиме ствара хидролошки циклус. Количина воде која се може узети из неког изворишта у одређеном временском интервалу дефинише се једначином хидролошког биланса.

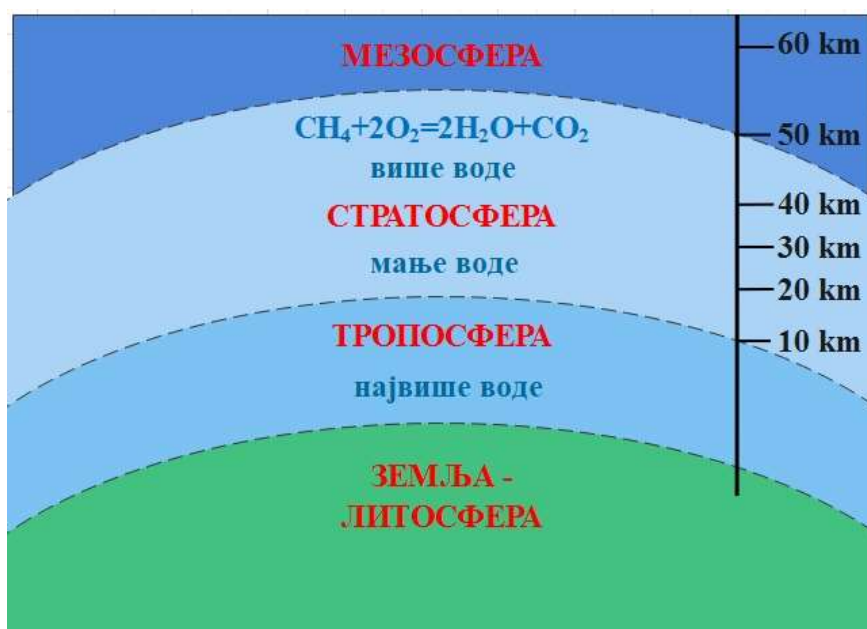
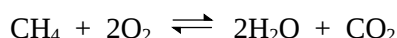
Summary:

As the most widespread substance on Earth, water can be found in various environments and different states of matter. According to the environment where it appears, water can be atmospheric, ground and surface water. Water gets into the atmosphere by evaporation from the earth's surface and water surfaces. Atmospheric water is important as a solvent for many gases, heat absorbers, a participant in atmospheric processes, etc. Groundwater is located in the lithosphere and occurs in all three states of matter. Depending on the structure and physicochemical properties of the vertical profile of the lithosphere through which water passes and the reactions of water with solid mineral particles, groundwater can occur as gravitational water, capillary water, chemically or physically bound water, gaseous water, or in the form of ice. Surface waters are those that are located on the surface of the Earth and are mostly in a liquid state. Water quality depends on the composition of the land that is in contact with water, on atmospheric precipitation, biological processes, anthropogenic influences, etc. In nature, water is in constant movement. This process is primarily influenced by the energy of the Sun and the Earth's gravity. Water is constantly circulating between the atmosphere, surface waters, and land, forming a hydrological cycle. The amount of water that can be taken from a certain source in a certain time interval is defined by the hydrological balance equation.

4.1. Вода у атмосфери

У атмосферу вода доспева испаравањем са површине земље и водених површина, а највећа количина потиче од испаравања са површине океана и мора. Атмосферска вода у ствари, представља кондензовану водену пару, која се јавља у виду кише, росе, снега, града и леда. Од укупне количине воде на Земљи, атмосферска вода чини 0,008% или $1,5 \cdot 10^5 \text{ km}^3$ (Златановић, 2009). У доњим слојевима атмосфере, односно у тропосфери, налази се највећа количина воде, док је у стратосфери има знатно мање, слика 4.1.

Интересантна је расподела воде у стратосфери. У доњем слоју стратосфере има мање воде у односу на горњи слој, а разлог томе је процес оксидације метана који се врши у горњем слоју стратосфере при чему настаје вода:



Слика 4.1. Слојеви атмосфере у којима се може наћи вода

Вода у атмосфери има разноврсну улогу:

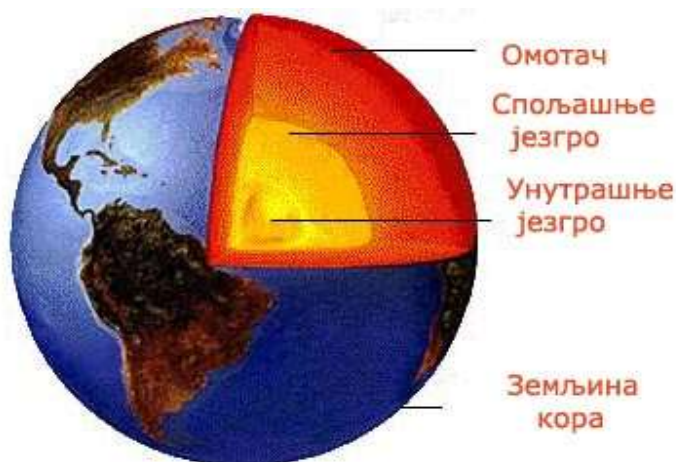
- представља растварач за многе гасове,
- апсорбује топлоту,
- рефлектује зрачење,
- учествује у многим атмосферским процесима и друго.

Атмосферска вода садржи растворене гасове: N_2 , O_2 , CO_2 , NH_3 , NO_2 и друге, као и извесну количину минералних материја. Изнад мора у атмосферској води је највећа количина соли хлорида. Иако је вода атмосфере у суштини чиста, до њеног загађења долази проласком кроз ниже слојеве атмосфере. Изнад градских насеља и индустријских области у њој се могу наћи и једињења: SO_2 , H_2S , HCl , органске и минералне материје и честице прашине и чађи. Изузетно је важна рефлектујућа улога атмосферске воде, при чему се око 15% Сунчевог зрачења враћа у свемир. Водена пара и капи воде апсорбују и већи део

топлотног зрачења са Земље чиме учествују у одржавању термалне структуре тропосфере. Водена маса у атмосфери мења се приближно сваких девет дана. Сматра се да једна кап кише (50 mg) када пада са висине од 1 km испира 16,3 l ваздуха. Састав кишнице зависи од многих фактора, тако да је просто немогуће одредити општи састав. Атмосферска вода није укусна за пиће, али се може користити за прање јер спада у групу такозваних меких вода (Withgott & Brennan, 2006).

4.2. Вода у литосфери

Унутрашњу сферу Земље чине слојеви: језгро Земље, омотач Земље или мантл и Земљина кора, слика 4.2. Хемијску грађу ових слојева је разноврсна и састоји се од минерала који се налазе у чврстом или растопљеном стању.

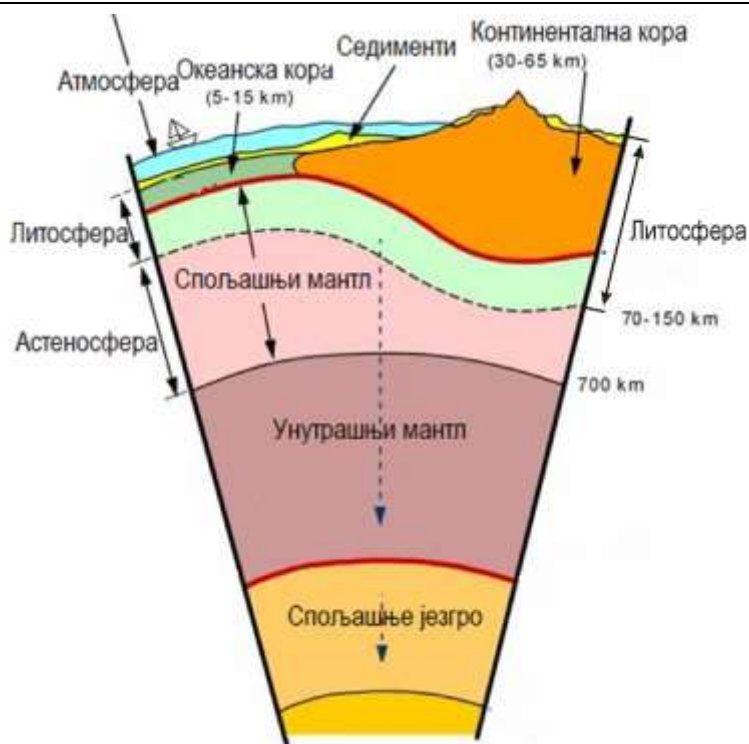


Слика 4.2. Структура Земље (модификовано према Stuwe, 2007)

Земљина кора је чврста спољашња луска земље, која може бити континентална - дебљине 30–85 km или океанска дебљине од 5–15 km. Омотач Земље је унутрашња геосфера, која се налази између Земљине коре и језгра. Његова просечна дебљина је од 2900 km и састоји се од спољашњег – горњег и унутрашњег – доњег омотача или мантла. Испод омотача налази се *Земљино језгро*.

Под *литосфером* се подразумева спољни чврст омотач Земље који се састоји из Земљине коре (континенталне или океанске) и највишег дела земљиног омотача или мантла (спољашњи омотач - мантл). Просечна дебљина литосфере је 40–60 km.¹⁰ Преовладавајући хемијски елементи који улазе у састав континенталне кора су кисеоника, силицијум, алуминијум, гвожђе, калцијум, натријум, калијум, магнезијум (Stuwe, 2007).

¹⁰ По неким ауторима литосфера се протеже и до дубине од 100 km.



Слика 4.3. Вертикална структура Земље (модификовано према Futura-Sciences, 2020)

Сва вода које се налази у литосфери, односно испод површине земље, у било ком агрегатном стању назива се *подземна вода*.

Према начину на који је настала подземна вода може бити (Петровић, Богдановић и Павић, 2004):

- *десцедентна* – настала понирањем воде атмосферских падавина и водених површина (река, језера, мора...),
- *асцедентна* или *јувенилна* вода – настала од компонената магме које лако испаравају, а налазе се у горњем слоју литосфере,
- *конатна* или *захваћена* вода – настала везивањем за минерале стене у време стварања стена.

Вода је у литосфери неравномерно распоређена. Разликује се по обиму и саставу, што првенствено зависи од структуре и физичко-хемијских особина профила литосфере кроз који пролази вода и интеракције са хемијским компонентама литосфере. Класификација подземних вода вршита се према различитим критеријумима, а неки од њих су:

- место налажења,
- агрегатно стање,
- облик појављивања,
- хемијски састав и друго.

Место налажења подземне воде у односу на вертикални профил Земље може бити:

- испод саме површине земље – вода најближа површини и то су горње или

плитке воде,

- вода над водонепропустљивим слојевима.

Подземна вода се може наћи у сва три агрегатна стања (Кукучка и Кукучка, 2013):

- у гасовитом стању подземна вода се налази у горњим слојевима литосфере, али и на већим дубинама. У горњим слојевима литосфере вода у облику водене паре испуњава пукотине и шупљине у земљи и стенама. То је водена пара која углавном у земљиште продире са ваздухом из атмосфере, чак и до неколико метара у земљину кору. Количина такве воде је веома мала. Највећа количина подземне воде у гасовитом стању налази се на дубини око 3 km. На тим дубинама температура је висока тако да вода прелази у гасовито стање, без обзира на притисак. У доњој зони Земљине вертикалне структуре, где је температура изузетно висока (виша од 374 K), молекули воде међусобно нису повезани водоничним везама, већ долази до њихове дисоцијације на јоне. Вода која се налази у овом доњем делу назива се *вода у надкритичном стању*.
- у чврстом агрегатном стању подземне воде се углавном налазе на вишим географским ширинама и већим надморским висинама, где је температура ниска. У тим пределима, вода је у облику леда, снега или залеђена у стенама.
- највеће количине течне подземне воде налазе се у виду подземних акумулација (мора) испод свих континената, чак и испод Сахаре¹¹. У горњим слојевима литосфере у течном облику вода се јавља као слободна, капиларна или физичко-хемијски везана за честице тла у виду капљица или као опна.

Основни облици појављивања подземне воде су:

- слободна вода (гравитациона, вода водоносних слојева),
- капиларна вода,
- вода везана физичко-хемијским силама,
- у облику леда.

Слободна вода настаје филтрацијом падавина и површинских вода кроз површину земље и креће се кроз порозно тло у свим смеровима. Може се задржати у порозном материјалу земље или се даље филтрирати до дубљих непропусних слојева стварајући подземне акумулације. Вода која се задржала у порама и прслинама земље је *гравитациона вода*. Она се слабиим силама везује за честице тла, тако да се кроз отворе и прслине у земљи креће процесима филтрације и инфилтрације¹² под утицајем гравитационе и хидростатичке силе.

Вода, која се цеди кроз слојеве земље одлази до водонепропустљивих слојева (слојеви стена или густе иловаче). Водонепропустљиви подземни слојеви земље у којима се вода задржава и тече, односно формира акумулацију подземне воде, зову се *водоносни слојеви*. Вода се у водоносном слоју лагано креће у правцу нагиба терена. Из водоносних слојева вода може природним путем да избије на површину земље стварајући издан. Уколико се подземна вода налази под хидростатичким притиском између два водонепропусна слоја, она избија на површину под притиском, и то су

¹¹ У пустињи Сахари подземне воде су нађене на дубини од 150-200 m, а у пустињи Каракум на дубини од 30 m.

¹² Процес филтрације подразумева механичко кретање слободне воде у порозном простору услед разлике притиска, а инфилтрација, у ширем смислу, представља процес продирања воде у порозну стенску масу и кретање у правцу слободне површине до потпуног засићења водом.

артеске воде. Те воде су углавном доброг квалитета, па се често и непречишћене могу користити за пиће.

Пролазећи кроз пропусне слојеве земљишта и стена, вода се обогаћује минералним материјама и другим супстанцама које се растварају у њој, стога углавном садржи растворне хлориде, сулфате и карбонате. Присуство CO_2 из атмосферских падавина утиче на растварање кречњачких стена, чиме се вода додатно минерално обогаћује. У зависности од количине растворних соли, воде могу бити *тврде* и *меке* воде. За пиће се могу користити меке и умерено тврде воде. У неким подземним водама могу се наћи и једињења азота, што најчешће указује на присуство органских материја. Међутим, продирањем воде ка дубљим слојевима земље, смањује се садржај органских материја и микроорганизама у њој.

Акумулације подземне воде са већих дубина су квалитетније и користе се за пиће. За разлику од њих, акумулације подземне воде ближе површини земље углавном садрже органске материје, гвожђе, силицијумове киселине, микроорганизме, те се морају пречишћавати, уколико се користе за пиће. Оне су уједно и најподложније загађивању.

Капиларна вода се може наћи у најужим отворима, порама тла или пукотинама стена (микропорама). Настаје од воде са површине тла и слободне воде у земљиној кори. Ова подземна вода, по својим карактеристикама је на прелазу између физичко-хемијски везане воде и слободне воде. Због веома малих димензија пора, које вода попуњава, кретање воде у њима врши се дејством капиларних сила. Кретање воде ка површини, односно њено подизање је интензивније уколико је пречник доступног простора мањи. На кретање капиларне воде сила гравитације нема значајнији утицај, тако да је продирање воде могуће у свим правцима.

Капиларне воде највише има изнад акумулираних подземних вода, а нарочито се појављују при повећању влажности тла (код обилних киша, топљења снега и друго). Овај облик воде приступачан је биљном свету и изузетно је значајан за вегетацију, али се не може користити за водоснабдевање.

Везана вода је она која се јаким физичко-хемијским силама везује за честице тла или унутар пора. Ова подземна вода се јавља као танка опна на површини честица тла, или у облику ситних капица по зидовима пора стена и земљишта. Водена опна која обавија чврсту честицу настаје од воде из атмосферских падавина. На честице тла може се адсорбовати више слојева молекула воде. Веза воде и честице остварује се дејством међумолекулских сила и површинских привлачних сила, које су знатно јаче од силе гравитације, тако да гравитациона сила нема утицаја. Покретљивост везане воде је незнатна. Везана подземна вода може се наћи и у минералима од којих је сачињено тло, а настала је физичким и хемијским процесима у тлу под утицајем високе температуре, притиска и јаких тектонских поремећаја. Такође, може бити саставни део комплексних једињења или део структуре кристала. Хемијске везе између молекула воде и молекула од којих су сачињени минерали су веома јаке, па је таква вода недоступна за коришћење.

Хемијски састав подземне воде зависи од: атмосферских падавина, врсте стена и минерала у земљиној кори, органских материја, воде океана и мора, магматских и антропогених процеса. Такође, на хемијски састав подземних вода утицај имају и разноврсни физичко-хемијски процеси који се дешавају: хидролиза, испаравање,

растварање, филтрација, дифузија, апсорпција, кристализација, јонска измена, оксидо-редукциони процеси, биохемијски процеси, радиоактивни распад и други.

Хемијске компоненте које се налазе у подземним водама могу бити у облику: слободних јона, недисосованих молекула или комплексних једињења. Хемијске компоненте које одређују хемијски тип и минерализацију подземне воде су *примарне компоненте*, и то су јони: натријума (Na^+), калцијума (Ca^{2+}), магнезијума (Mg^{2+}), хлориди (Cl^-), бикарбонати (HCO_3^-) и сулфати (SO_4^{2-}) и ортосилицијумова киселина (H_4SiO_4). Компоненте које у одређеним условима могу створити специфични тип воде називају се *секундарне компоненте* и то су најчешће: јони калијума (K^+), стронцијума (Sr^{2+}), гвожђа (Fe^{2+} , Fe^{3+}), флуориди (F^-), бромиди (Br^-), карбонати (CO_3^{2-}), амонијачни јони (NH_4^+), нитрити (NO_2^-) и нитрати (NO_3^-). Примарне и секундарне компоненте су *макрокомпоненте подземних вода*. Елементи који се могу наћи у релативно ниским концентрацијама или само у траговима су *микрокомпоненте подземних вода*. Откривено је више од 40 микрокомпонената. Мада нису од пресудног значаја за одређивање хемијског типа воде, оне дају специфичне особине води.

У подземним водама се могу наћи и гасовите супстанце као што су: кисеоник (O_2), водоник (H_2), угљен-диоксид (CO_2), водоник-сулфид (H_2S), метан (CH_4), угљоводоници (етан – C_2H_6 , пропан – C_3H_8 , бутан – C_4H_{10}) и радиоактивни елементи (радијум, уран, радон). У подземне воде доспевају из атмосфере распадањем органске материје или радиоактивним распадом. Са повећањем температуре воде растворљивост гасова се смањује (Кукучка и Кукучка, 2013).

Минерализација подземне воде дефинише се као количина минералних компоненти присутних у њој. Подземна вода која садржи више од 1 g/l растворених минералних материја и гасова назива се *минерална вода*. Минералне воде које садрже више од 50 g/l растворених соли називају се *расолима*.

У зависности од концентрације водоникових јона, подземне воде могу бити: јако киселе ($\text{pH} < 3$), киселе ($\text{pH} = 3-5$), слабо киселе ($\text{pH} = 5-6,5$), неутралне ($\text{pH} = 6,5-7,5$), слабо базне ($\text{pH} = 7,5-8,5$), базне ($\text{pH} = 8,5-9,5$), јако базне ($\text{pH} > 9,5$).

Најчешћа класификација подземних вода је по Алекину и заснива се на односу преовлађујућих јона. По тој класификацији све подземне воде се деле на класе, групе и типове. Детаљнији приказ класификације вода по Алекину биће изложен у поглављу 6.6.

Очување квалитета подземних вода је од великог значаја, јер оне представљају најважнији извор свеже воде.

4.3. Вода на површини Земље

Под појмом *површинска вода* подразумева се сва вода која се налази на површини Земље. Ту првенствено спадају: баре, мочваре, потоци, реке, језера, велики морски и океански басени, али и вода ледника. Од укупне запремине слободне воде на површини Земље 97,82% припада морским и океанским басенима, у облику леда и снега је око 2,15%, а остало 0,03% су воде на копну. Површинска вода је у највећој количини у течном стању, али може бити и у чврстом, као што су снег и лед (Ђармати и др., 2007).

Класификација површинских вода се врши у зависности од параметара који се

упоређују и веома је разноврсна. Подела се може извршити на текуће и стајаће, слане и слатке воде, према агрегатном стању и друго.

Фактори који утичу на састав површинских вода првенствено су: састав терена са којим је вода у контакту, интензитет ерозије тла, наноси, атмосферске падавине, биолошки процеси који се одигравају у води, антропогени утицај и друго.

Пошто су површинске воде у непосредном контакту са земљиштем, током протицања, растварају састојке земљишта и обогаћују се минералима, кисеоником и другим раствореним и суспендованим неорганским и органским материјама.

У току године квалитет површинске воде се мења у зависности од атмосферских падавина. Падавине имају значајну улогу у процесу обнављања слатких вода. Количина атмосферских падавина на Земљи је неравномерно распоређена и варира у зависности од: годишњег доба, температуре, близине већих водених површина и друго. Предел са највећом количином падавина су тропске зоне и то 10^0 северне и јужне ширине од екватора, док у неким областима Индије падавине могу бити и више од 10 m^3 годишње. За разлику од области екстремних падавина, у неким пустињским зонама годишње падавине не прелазе 200 mm^3 . У Перуанској и Либијској пустињи уопште нема падавина. С обзиром на то да четвртина Земљине површине припада пустињама, можемо рећи да је велики део територије Земље са веома малим падавинама или без падавина које би биле извор површинских вода (Van Loon & Duffy, 2005).

Поред атмосферских падавина на снабдевање водом река и језера утицај имају и подземне воде, као и топљење снега и леда. После већих киша или наглог топљења снега у реке и језера доспева већа количина воде, од чега највећи део продире у дубину, стварајући подземне воде.

Квалитет површинске воде у значајној мери зависи од њене температуре и присутних хемијских компоненти. Температура површинске воде зависи од климатских услова, али и самих процеса у води. Хемијске компоненте које утичу на квалитет површинских вода су: присутни јони, растворени гасови, микроелементи, органске и биогене материје.

Квалитет површинских вода и њене специфичне особине дефинише „статус површинских вода“. Према квалитету, површинске воде се сврставају у пет класа, којима се уједно дефинише њихова употребна вредност:

- прву класу представљају воде у веома добром стању,
- другу класу чине воде доброг стања,
- у трећу класу спадају воде умереног стања,
- четврту класу чине воде лошег стања,
- пету класу чине воде у врло лошем стању које се не могу користити ни у једну сврху.

Планинске реке и потоци најчешће садржаје мало органских материја и микроорганизама. Вода бара и мочвара садржи доста органских материја. Вода река по хемијском саставу значајно варира и првенствено зависи од хемијског састава воде притока и спољашњих утицаја. Језера се међусобно значајно разликују по квалитету вода. Могу бити слана и слатка. Добар квалитет воде имају планинска језера, али и он највише зависи од квалитета вода притока. Вода акумулационих језера временом

може имати повећани садржај органских материја.

Отпадне каналске/канализационе воде веома неповољно утичу на квалитет површинских вода које су њихови реципијенти (Почуча, 2008).

4.4. Кружење воде у природи

У природи постоји стално кретање воде. Процес се одвија, првенствено, под утицајем топлотне енергије Сунца и Земљине теже. Вода константно кружи између свих сфера средине чинећи тако *хидролошки циклус*, слика 4.4. Хидролошки циклус се одвија кроз више међусобно зависних процеса, који се циклично понављају. Појавом живота на Земљи кружење воде постаје сложенији процес, али је то уједно и основа опстанка живота. Најједноставније приказивање хидролошког циклуса подразумева кружење воде која испарава са површина океана, мора, других водених басена и тла стварајући водену пару, која се креће ка атмосфери стварајући атмосферску воду у облику водене паре. У горњим хладним слојевима атмосфере се кондензује, чинећи ситне капи или кристале леда и под утицајем Земљине теже пада на површину Земље у облику атмосферских падавина. Овај процес кружења воде познат је као „мали процес кружења воде“. Међутим, сам процес испаравања воде у природи је сложенији и може се посматрати као скуп процеса евапорације, транспирације или збирно евапотранспирације.



Слика 4.4. Хидролошки циклус (USGS, 2020)

Евапорација представља процес испаравања воде, односно прелазак воде из течног у гасовито стање (водену пару) са природних површина (слика 4.5). Процес испаравања дешава се на било којој температури ваздуха. То је универзална појава на сваком месту на Земљиној површини где је атмосфера незасићена воденом паром, а постоји

вода која је на располагању. На процес делују фактори средине, као што су температура, влажност ваздуха, брзина ветра.

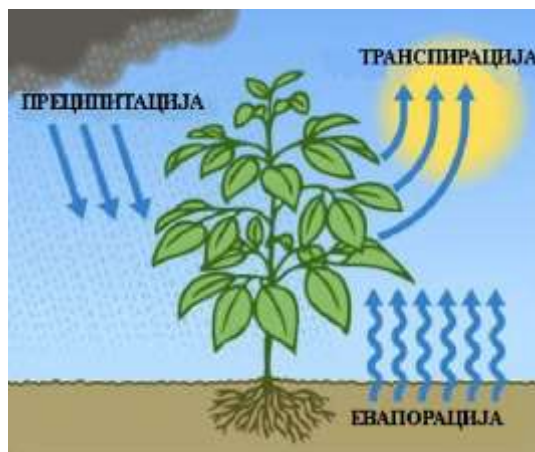
Да би дошло до процеса испаравања мора да постоји:

- извор влаге,
- градијент концентрације водене паре између површине воде и атмосфере,
- извор енергије (температура Сунца, или из земље, ваздуха или саме воде).

Са порастом температуре и брзине ветра евапорација се повећава, а смањује се са порастом влажности ваздуха.

Испаравање је условљено климатским карактеристикама одређеног подручја. Уколико је клима влажна, испаравање је безначајно, јер у атмосфери постоји велика количина влаге. Међутим, у пределима са сувом климом испаравање је одлучујући фактор климе.

Транспирација је губљење воде у облику водене паре из биљних организама (слика 4.5.). То је у суштини процес испаравања воде коју биљке кореном узимају из тла. Таквим, делимично контролисаним процесом, врши се проток воде кроз организам, хлади организам и излучују материје које су крајњи продукти метаболизма.



Слика 4.5. Процес евапорације и транспирације и повратан процес преципитације (модификовано према USGS, 2020)

Евапотранспирација представља збирно испаравање процесима евапорације и транспирације. Дакле, евапотранспирација обухвата испаравање са водених и копнених површина (евапорација) и са површине биљака и кроз биљке (транспирација). Вода која испарава процесом евапотранспирације одлази у горње слојеве атмосфере где се кондензацијом претвара у облаке, да би се у виду атмосферских падавина поново вратила на земљу.

Укључивањем поменутих процеса хидролошки циклус постаје знатно сложенији, и назива се „велики процес кружења воде“.

Хидролошки циклус може се уопштено свести на неколико основних процеса који представљају његову суштину: испаравање (евапорација и транспирација), кондензација, преципитација, филтрација, отицање. Овим процесима објашњава се целокупно кретање воде доспеле атмосферским падавинама на водену и копнену

површину и њено даље кретање:

- део воде директно испарава са водене или копнене површине (процес евапорације);
- део воде са површине копна отиче до најближе водене површине (потока, реке, мора и друго) одакле испарава;
- део воде са површине земље улази у организам живих бића одакле се процесима излучивања и испаравања (транспирација) елиминише. Активно учешће организама омогућује ток биогеохемијских процеса у биосфери. За живе организме кружење воде је значајно јер са њом круже и материје значајне за живот, па се једна те иста количина материје може користити безброј пута, а да се један облик једињења непрестано смењује другим;
- извесна количина падавина задржава се у литосфери везује се за земљиште и стене где испуњава шупљине и пукотине, одакле под одговарајућим условима може да испарава, чиме се поново враћа у атмосферу;
- део падавина се инфилтрира у само земљиште. Известан део инфилтриране воде пролази кроз дубље слојеве земље док не дође до водонепропусних слојева, где се формирају подземне акумулације воде. Известан део подземних вода избија на површину до река, језера, мора, чиме се укључује у процес кружења;
- вода која испарава поново учествује у процес кружења. Она долази у контакт са гасовима који се налазе у нижим деловима атмосфере, раствара их, чиме мења свој квалитет. Гасови који се налазе у нижим слојевима атмосфере и који се растварају у води су најчешће: угљен-диоксид, угљен-моноксид, оксиди азота, оксиди сумпора и други који су производ рада индустријских постројења одређене области.

Процесом кружења воде *водени биланс* се не мења и остаје сталан, али долази до промене у квалитету воде. Међутим, извесан део воде остаје на површини земље у чврстом стању у облику сталног снега на високим планинама, леда и глечера, чиме се за дужи временски период издваја из хидролошког циклуса. Са целокупне Земљине површине годишње испари око $519\,000\text{ km}^3$ воде, иста та количина воде пада у облику атмосферског талога. У току године око $99\,000\text{ km}^3$ воде падне на копно, од чега знатан део одмах испарава (око $62\,000\text{ km}^3$) док остатак отиче потоцима, рекама (водотоцима) у језера, мора или понире у Земљину унутрашњост (Shiklomanov, 2009).

4.4.1. Једначина хидролошког биланса

Живи свет воду узима из природе, користећи је за своје потребе, а затим је враћа у природу као више или мање измењену воду, односно као отпадну воду. На почетку цивилизације количина отпадне воде је била незнатна у односу на ону количину које се налазила у *воденим ресурсима*, па су се отпадне воде без ограничења испуштале у водотокове (реке, језера). Са развојем цивилизације, односно развојем технике и технологије количина отпадне воде се повећавала, тако да данас она представља значајно оптерећење за водене ресурсе. Човек може воду узети из било ког дела хидролошког циклуса уколико му она одговара по карактеристикама. У највећем броју случајева за снабдевање водом користе се подземне и површинске „слатке воде“.

Вода која се користи за потрошњу у индустрији не мора да задовољава строге

квалитете па се могу користити разноврсни извори. Дакле, воду коју човек захвата из неког дела хидролошког циклуса и искоришћава, у највећем делу поново враћа у хидролошки циклус, али као воду измењеног квалитета. Пре пројектовања постројења за коришћење воде, морају се утврдити колике су потребне количине воде и да ли је са те локације могуће трајно обезбедити одговарајућу количину воде, а да при томе не дође до поремећаја еколошких услова. Од свих делова хидролошког циклуса вода мора и океана се најмање искоришћава, јер је њена обрада, због неповољног минералног састава, веома скупа, али се ради на развоју технологије за коришћење морске воде. У будућности ће то бити значајан извор првенствено воде за пиће, с обзиром на то да се смањује количина воде из других извора.

Вода са изворишта се не сме користити у неограниченим количинама. Количина воде која се може узети из неког изворишта у временском интервалу (t) може се одредити једначином хидролошког биланса (Shiklomanov, 2009):

$$W_t - E_t = N_t - T_t - D_t \pm r_t$$

W_t - укупна количина воде узета са изворишта у временском интервалу (t)

E_t - укупна количина воде враћена у извориште, као отпадна вода у интервалу (t)

N_t - новопридошла вода у извориште у временском интервалу (t)

T_t - губици воде евапотранспирацијом у временском интервалу (t)

D_t - губици воде истицањем (каналы, потоци...) у временском интервалу (t)

r_t - нето промена резерви воде у изворишту природним или вештачким путем

Према једначини количина воде која се може узети из изворишта ($W_t - E_t$) не сме да буде већа од нето количине воде која притиче у извориште ($N_t - T_t - D_t \pm r_t$) у датом временском интервалу.

Непоштовање овог правила може имати далекосежне последице, као што су трајно или привремено губљење датог изворишта (Златановић, 2009).

Питања за проверу знања:

1. Која количина слатке воде се налази у природи, а која количина је доступна људима за коришћење?
2. Објаснити присуство воде у атмосфери.
3. Који делови атмосфере имају највише воде?
4. Која је улога воде у атмосфери?
5. Које супстанце најчешће садржи вода у атмосфери и како доспевају?
6. На који начин настаје вода у литосфери?
7. Како се деле подземне воде у зависности од начина настајања?
8. Објаснити распрострањеност подземне воде у зависности од агрегатног стања.
9. Који су облици јављања подземне воде?
10. Објаснити присуство слободне воде у литосфери.
11. Објаснити присуство хемијски и физички везане подземне воде.
12. Како настаје и који је значај капиларне подземне воде?
13. На који начин се подземна вода обогаћује хемијским супстанцама?
14. Навести које се супстанце најчешће срећу у подземним водама?
15. Објаснити минерализацију подземних вода.
16. Које облике вода обухвата појам површинске воде?
17. На који начин доспевају материје у површинске воде?
18. Навести поделу површинских вода према квалитету воде.
19. Објаснити процес малог кружења воде.
20. Објаснити процес великог кружења воде.
21. Шта се подразумева под појмовима: евапорација, транспирација, евапотранспирација?
22. Објаснити шта дефинише једначина хидролошког биланса.

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. 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.
4. Златановић, С. (2009). *Расположивост водних ресурса у свету и код нас*. Београд: Правни факултет Универзитета у Београду.
5. Кукучка, М. и Кукучка, Н. (2013). *Физичко-хемијски састав природних вода*. Београд: Техничко-металуршки факултет Универзитета у Београду.
6. Петровић, Ј., Богдановић, Ж., и Павић, Д. (2004). *Хидрологија: Подземне воде*. Нови Сад: Депарتمان за географију, туризам и хотелијерство, Природно-математички факултет, Универзитет у Новом Саду.
7. Почуча, Н. (2008). *Екохидрологија (Загађење и заштита вода)*. Београд: Грађевинска књига.
8. Shiklomanov, I.A. (2009). World Water Balance. In: I. A. Shiklomanov (Ed.), *Hydrological Cycle, Volume II, Encyclopedia of Life Support Systems* (pp. 1-19). Paris: UNESCO.
9. Stuwe, K. (2007). *Geodynamics of the lithosphere*. Berlin/Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
10. USGS. (2020). U.S. Geological Survey, U.S. Department of the Interior. https://www.usgs.gov/special-topic/water-science-school/science/vodni-ciklus-water-cycle-bosniancroatianserbian?qt-science_center_objects=0#qt-science_center_object
11. Futura-Sciences. (2020). Lithosphere. <http://www.futura-sciences.us/dico/d/geology-lithosphere-50001406/>
12. Withgott, J., & Brennan, S. (2006). *Environment*. San Francisco: Pearson Education.

5. ПРИРОДНЕ ВОДЕ

Циљеви поглавља:

- Стицање знања о факторима који утичу на формирање састава природних вода.
- Упознавање са физичким и хемијским својствима природних вода

Резиме:

Под појмом природне воде подразумевамо: морске или слане воде, слано–слатке или бракичне воде које се јављају на ушћима река у море, копнене или слатке воде (речне, језерске, подземне, изворске, минералне) и атмосферске воде (кишница, снег, лед). У природи се вода не налази као „чиста вода“ већ увек садржи, у извесној мери, различите супстанце. Састав природних вода је последица интеракције воде са атмосфером и Земљином кором. Хемијске супстанце у природне воде доспевају процесима на које утичу физичко-географски, хемијски и биолошки фактори и мешање воде. Природне воде имају своје карактеристичне физичке и хемијске особине. Физичке особине природних вода су: температура, боја, мирис, провидност, мутноћа, вискозност, густина воде, електрична проводљивост, кретање. Због специфичне структуре молекула воде, природне воде садрже разноврсне растворене супстанце.

Summary:

The term natural waters refers to sea or saltwater, salt-fresh or brackish water that occurs at the mouths of rivers into the sea, inland or freshwater (river, lake, groundwater, spring, mineral), and atmospheric water (rain, snow, ice). In nature, water is not found as „chemically pure water“ but always contains, to some extent, various substances. The composition of natural waters is a consequence of the interaction of water with the atmosphere and the Earth's crust. The presence of chemical substances in natural waters is influenced by various factors: physical-geographical, chemical, biological, and water mixing. Natural waters have their characteristic physical and chemical properties. The physical properties of natural waters are temperature, color, odor, transparency, turbidity, viscosity, water density, electrical conductivity, movements of water. Due to the specific structure of water molecules, natural waters contain a variety of solutes.

Под појмом природне воде подразумевамо: морске или слане воде, слано-слатке или бракичне воде које се јављају на ушћима река у море, копнене или слатке воде (речне, језерске, подземне, изворске, минералне) и метеорске воде (кишница, снег, лед).

У природи се вода не налази као хемијски чиста вода, већ увек садржи, у извесној количини, различите супстанце. Вода је добар растварач, па се у њој могу растворати материје које утичу на њен хемијски састав и минерализацију. Природне воде, у зависности од места где се налазе, садрже у већој или мањој количини неорганске и органске супстанце у раствореном стању, као и различите врсте честица и микроорганизама (Van Loon & Duffy, 2005).

Уопштено, можемо рећи да на квалитет природних вода утичу атмосферске падавине и минерални и органски састав земљишта, са којим је вода у контакту. При томе долази до процеса растварања супстанци, физичко-хемијских интеракција материје са водом и воденим растворима, биохемијских процеса (Почуча, 2008).

Из атмосфере у воду доспевају углавном гасовите супстанце, првенствено кисеоник, азот, угљен-диоксид, али и минералне и органске материје, честице прашине и чађи које се налазе у загађеном ваздуху. На састав природних вода значајан утицај има интеракција атмосферских падавина са земљишним покривачем, где важну улогу има и присутан биљни покривач. Сматра се да интензитет атмосферске падавине, ки-ше, треба да буде једнак или већи од 0,5 mm/min да би дошло до сливања воде, а за попуњавање пора и шупљина у површинском слоју земље око 15 mm/min (Веселиновић и др., 1995).

При интеракцији воде са земљиштем долази до процеса растварања супстанци, до процеса адсорпције и јонске измене. Растворене материје у води потичу углавном из површинских стена и земљишта. Интеракција воде и литосфере није само значајна за формирање састава природних вода већ и за формирање спољашњих слојева литосфере (Ђармати и др., 2007).

5.1. Фактори који утичу на састав природних вода

Као што је претходно наведено, на састав природних вода утичу сложени процеси који се одигравају између водене средине, атмосфере и земљишног покривача. Интеракције могу бити директне, односно вода се непосредно обогаћује супстанцама, или преко другостепених процеса (Веселиновић и др., 1995).

Начин на који ће се поменути процеси одигравати зависи од различитих фактора:

- физичко-географских,
- хемијских,
- биолошких,
- мешања воде и друго.

Утицај ових фактора није изолован, већ они делују узајамно на одређеној територији, тако да се увек мора посматра њихов укупни ефекат.

5.1.1. Физичко-географски фактори

На квалитет природних вода значај имају основни физичко-географски фактори:

- рељеф,

- клима,
- распадање површинских стена,
- земљиште.

Релеф, односно облик терена кроз који протиче вода, утиче на хемијски састав природне воде. Код терена са већим нагибом интензивније је спирање земљишта, па се у води могу наћи разноврсне супстанце у већој количини. Такође, са површине тла под нагибом и висоравни отицање атмосферских падавина је брже, чиме се смањује доток у подземне воде. Међутим, у нижим деловима рељефа отицање воде је успорено, тако да је интензивнија инфилтрација воде у земљиште. Степен разуђености рељефа одређује количину површинског отицања и дренажа у подземне воде (Јаковљевић и Пантовић, 1991).

Климу дефинишу метеоролошки услови. Утицај климе на садржај природне воде може се пратити деловањем *атмосферских падавина, температуре и испаравањем*.

Атмосферске падавине су карактеристичног састава за одређену област, односно географски предео. Оне су, углавном, ниске минерализације и разблажују површинске и подземне воде са којима су у додиру, односно смањују њихову минерализацију. Међутим, атмосферске падавине појачане минерализације¹³ временом могу довести до промене природног хемијског састава воде. Ова промена може настати и услед струјања ваздуха, односно када ваздушна маса долази из других области и носи већу количину честица (Јаковљевић и Пантовић, 1991).

Промена *температуре* условљава промену растворљивости гасова и соли у природним водама. Такође, утиче на замрзавање и одмрзавање земљишта и стена, чиме се мења динамика растварања супстанци, али и повећава или смањује прилив воде.

Испаравање је процес којим се концентрација лако испарљивих супстанци у природним водама смањује, а повећава концентрација оних супстанци које остају у њима. Процес је посебно значајан у областима сувих степа и пустиња, код којих је количина испарене воде знатно већа у односу на количину атмосферских падавина. У сушним регијама процес испаравања условљава постепено повећање концентрације соли у подземним водама.

Распадање површинских стена има важан утицај на формирање хемијског састава природних вода. Количина минералних материја (минерализација) у природним водама првенствено зависи од минералног састава површинских стена. Најзаступљенији минерали стена, који су значајни за минерализацију природних вода, су (Јаковљевић и Пантовић, 1991):

- халит, настао од NaCl ,
- гипс $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$,
- калцит CaCO_3 ,
- доломит $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$,
- анортит (калцијум фелдспат) $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$,
- и други мало распрострањени минерали, али са високим степеном растварања, као што су: мирабилит ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$), астраханит ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot \text{MgSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$), глауберит ($\text{CaSO}_4 \cdot \text{Na}_2\text{SO}_4$) и други.

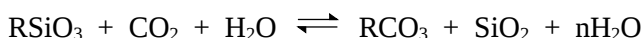
¹³ Атмосферске падавине појачане минерализације настају антропогеним утицајем (из гасова индустријских постројења, интензивног саобраћаја и друго) или природно (ерупција вулкана, шумски пожари и друго)

Поменути минерали растварањем у води утичу на специфични минерални састав природне воде. Растресите стене у већој количини отпуштају минерале у воду од компактних стена. Код једноминералних стена хемијски састав воде одговара хемијском саставу самих стена, док код вишеминералних зависи од растворљивости присутних минерала.

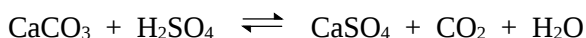
Распадање стена врши се у *физичким (механичким), хемијским и биолошким процесима*.

Процеси хемијског распадања стена подразумевају растварање минерала из стена под утицајем атмосферских падавина и кисеоника из ваздуха. Утицај атмосферских падавина се појачава присуством угљен-диоксида у њима. Хемијско распадање одвија се процесима: растварања, хидролизе, хидратације и оксидације који су егзотермни. Разликују се два основна типа процеса хемијског распадања: *угљено-киселинско* и *сумпорно-киселинско* (Јаковљевић и Пантовић, 1991).

Код угљено-киселинског распадања интензитет зависи од концентрације угљен-диоксида у води, односно настанка угљене киселине. Следећим једначинама приказани су процеси угљено-киселинског распадања карбонатних и силикатних стена:



Основни агенс сумпорно-киселинског распадања је сумпорна киселина која настаје оксидацијом сулфида. Једначинама су приказани процеси сумпорно-киселинског распадања карбонатних и силикатних стена:



Биолошки процеси распадања стена подразумевају утицај присутних организама, продуката њихове животне активности и производа разлагања органске материје на механичку разградњу и хемијске промене минерала стена. Вегетација представља основни чинилац процеса биолошког распадања. Тамо где је заступљеност организама већа, јавља се и већа количина органских киселина, нарочито хуминских киселина које заједно са угљен-диоксидом повећавају способност воде да раствара површинске стене.

Земљиште својим саставом обогаћује природне воде јонима, гасовитим супстанцама и органским материјама. Такође, земљиште може да измени или повећа минерализацију атмосферских падавина које се процеђују кроз њега. Кисеоник из воде, која пролази кроз слојеве земљишта, оксидује органске материје чиме се мења састав растворених гасова, односно смањује се количина кисеоника (троши се за процес оксидације), а повећава количина угљен-диоксида. *Из тих разлога се у дубинским подземним водама налази већа концентрација угљен-диоксида од кисеоника.*

У земљишту се врши и важан процес размене јона између воде и земљишта, чији интензитет зависи од адсорптивне способности колоида који су присутни у земљишту и самог типа земљишта.

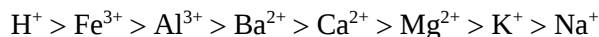
5.1.2. Хемијски фактори

Под хемијским факторима сматрају се хемијски процеси који се одигравају у природним водама. Сваки хемијски процес, односно хемијска реакција, која се врши у воденој средини директно утиче на квалитет природне воде. Која ће се хемијска реакција одигравати зависи од: рН вредности водене средине, оксидо-редукционих услова, јонске измене и друго (Јаковљевић и Пантовић, 1991).

Концентрација водоникових дефинише киселост средине и изражава се параметром рН вредност. Сам пут одигравања хемијске реакције зависи од рН вредности средине и свака промена рН може довести до значајне варијације хемијских процеса, а самим тим и продуката реакција. Из тих разлога рН вредност воде указује на присуство и облик постојања хемијских супстанци у води. На пример, угљена киселина спада у групу слабих киселина и њен облик у воденом раствору зависи од вредности рН. При нижим рН вредностима воде, дисоцијација слабих киселина се скоро у потпуности зауставља, тако да се оне налазе у молекулском облику. Са повећањем рН вредности степен дисоцијације постепено расте, па се могу наћи у дисосованом стању. Слично је и са борном и сулфидном киселином.

Оксидо-редукциони услови у воденој средини утичу на миграциону способност елемената. У зависности од способности кретања појединих супстанци кроз водену средину може се предвидети њихова распрострањеност и концентрација у води. Најважније оксидационо средство у природним водама је кисеоник који долази из ваздуха. Кисеоник у природним водама оксидује поједине елементе (сумпор, хром, ванадијум...), стварајући растворљива једињења, чиме поспешује њихову миграцију, док са гвожђем (III) и манганом (IV) гради тешко растворна једињења и тиме смањује њихову миграциону способност. Код подземних вода на одређеној дубини успоставља се такозвана „кисеонична површина“ испод које вода не садржи слободан кисеоник. У редукционим условима, кисеоник није присутан, тако да се појављују гасови, као што су водониксулфид (H_2S), амонијак (NH_3), метан (CH_4). Најважнији агенс редукционих услова у природним водама су микроорганизми који разлажу органску материју.

Под појмом *јонска измена* подразумевају се процеси размене јона приликом интеракције фино диспергованих минерала са површине земљишта и водене средине. Интензитет размене зависи од бројних фактора: степена дисперзности минерала, особине јона који се размењују, рН вредности средине, концентрације компоненти и друго. Што је дисперзност минерала већа, то је интензивнији процес размене јона. Адсорпција јона је у функцији њихове валентности, односно јони веће валентности се јаче везују за адсорбент и могу да истисну слабије везан јон. Уколико су јони исте валентности, степен адсорпције се повећава са порастом атомске масе. Тако, према енергији размене, катјони се сврставају по следећем низу (Јаковљевић и Пантовић, 1991):



Значајно место у реакцији размене има јон водоника, јер је његова енергија размене већа и од једновалентних и двовалентних елемената. Већа концентрација јона водоника (киселина средина) у води спречава улазак других катјона у комплексе.

У природним водама размена катјона је од већег значаја од размене анијона, зато што се колоидни систем земљишта углавном састоји од негативних колоидних честица (мицела), силицијум(IV)-оксида SiO_2 и алуминијум(VI)-оксида Al_2O_3 .

5.1.3. Биолошки фактори

Под биолошким факторима подразумевају се активности биљака и микроорганизама које утичу на квалитет природних вода.

Вегетација околног земљишта и водене биљке имају значајан утицај на формирање хемијског састава површинских и подземних вода. Интензивна вегетација на површини земље повећава минерализацију подземних вода.

Поједине биљке могу селективно да апсорбују јоне из раствора и да их акумулирају у ткиву. Тако се кореном неких биљака апсорбује и акумулира угљена киселина из земљишног раствора, чиме се смањује њена концентрација у земљишту (киселост земљишта се смањује), што олакшава процес преласка минералне материје у природне воде. У пепелу биљака могу се наћи знатне количине гвожђа, мангана, бакра и других микроелемената који процесом спирања прелазе у природне воде.

Водене биљке мењају хемијски састав водених акумулација. Током процеса фотосинтезе биљке воду обогаћују кисеоником, док се смањује концентрација угљен-диоксида. Такође, процесом фотосинтезе водених биљака настају органске материје у води.

Микроорганизми својом активношћу утичу на хемијски састав природних вода. Микроорганизми се развијају, не само у површинским водама, већ и у подземним водама, и могу да опстану у широком опсегу температуре од -90°C до $+85^{\circ}\text{C}$. Значајна улога микроорганизама је у процесу разлагања остатака изумрлих биљних и животињских организама. У зависности од услова, процес се може обављати до потпуног разлагања на CO_2 , H_2O и CH_4 , што је изузетно значајно са санитарног аспекта воде.

Бактерије могу бити *аеробне* и *анаеробне*. Аеробни облици опстају само у присуству слободног кисеоника кога користе за дисање, док код анаеробних облика није потребан слободан кисеоник за животне активности. У аеробне бактерије спадају *аминофикатори* који разлажу органску материју, стварајући амонијак, док бактерије *нитрификатори* оксидују амонијак до нитрита, односно нитрата. Анаеробне бактерије су карактеристичне за стајаће водене системе, као што су мочваре, баре и друго. Значајне анаеробне бактерије природних вода су *денитрификатори* и *десулфофикатори*. Денитрификатори редукују нитрате и нитрите до слободног азота. Десулфофикатори редукују сулфате до водоник-сулфида, чиме се губи сулфатни јон (SO_4^{2-}) из воде, а настаје водоник-сулфид и угљен-диоксид.

5.1.4. Мешање воде

Мешање воде је природно веома распрострањена појава. То је најчешће веома брз процес који може да обухвати велике водене масе. Процесом мешања компоненте из једног дела водене средине реагују са компонентама другог дела водене средине, а резултат је стварање водене масе новог састава. Такође, може доћи и до таложења насталог чврстог материјала. Процес мешања воде у рекама и језерима настаје и уливом притока, које имају различите хемијске саставе. Код површинских акумулација на процес мешања водене масе утицај имају подземне воде, тако да састав воде у акумулацији није уједначен, односно разликује се у зависности од места у акумулацији.

5.2. Физичко-хемијске особине природних вода

Природне воде поседују карактеристичне физичко-хемијске особине, које су резултат утицаја фактора настанка воде и хемијских и биолошких процес у њој. Под појмом физичке особине природне воде подразумевају се она својства воде која се могу измерити без промена особина воде, а поједини параметри се могу и чулима регистровати. То су: температура, боја, мирис, провидност, мутноћа, вискозност, густина воде, електрична проводљивост, кретање воде (Кукучка и Кукучка, 2013).

5.2.1. Температура

Температура воде је промењива карактеристика воде и зависи од различитих фактора: порекла воде, брзине кретања водене масе, струјања ваздуха, географског положаја, боје воде, вегетације, годишњег доба, дубине воденог слоја, атмосферских падавина, вегетације и друго. Температура воде је значајна за метаболичке функције и одржавање живота водених организама, а свака значајна промена температуре неповољно утиче на њихово функционисање.

Горњи слојеви воде (до дубине од 1 m) апсорбују енергију сунчевих зрака која се претвара у топлотну енергију и загрева воду. Вода која је тамније боје (услед присуства различитих материја), у већој мери апсорбује сунчево зрачење, чиме се повећава температура воде. Такође, утицај има и вегетација присутна на обали, јер спречава продирење сунчевих зрака и загревање воде. Дубљи слојеви воде загревају се индиректно и то кружењем – циркулацијом воде и турбуленцијом (таласима и струјањем). Из тих разлога је потребно мерити температуру водене средине на различитим дубинама да би се добило право стање параметра температуре. Промена топлоте се уочава по слојевима – профилима воде и назива се *термално раслојавање* или *термална стратификација* (Веселиновић и др., 1995).

Природна промена температуре воде у зависности од дубине водене средине најбоље се запажа код стајаћих вода, које се греју са површине, као што су природна и вештачка језера и друге дубље водене масе. Разликују се две главне термичке зоне *эпилимнион* и *хиполимнион*, слика 5.1.:



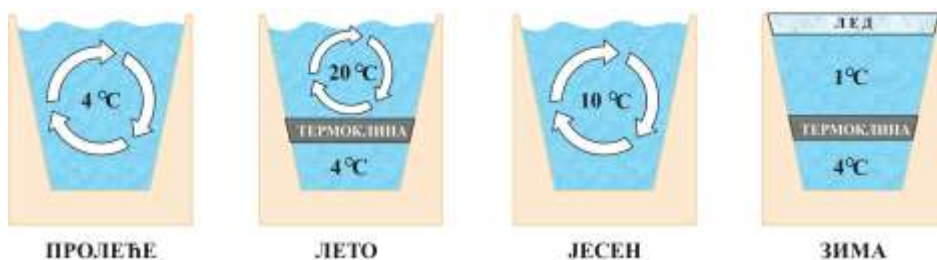
Слика 5.1. Термално раслојавање водене масе језера (модификовано према Fafard, 2018)

Епилимнион је површински слој воде, који је топлији и мање густине. Температура овог слоја зависи од сезонске промене температуре ваздуха и интензитета сунчеве светлости. Ваздушна кретања изнад епилимниона утичу на струјања и мешања водене масе, чиме се остварује добра снабдевеност кисеоником. Такође, изражен је процес фотосинтезе који додатно повећава количину кисеоника. Присутни кисеоник се користи за минерализацију органске материје, па се зато у овом слоју уједначава концентрација органске материје.

Металимнион или *термоклита* (слој термичког скока) је прелазни слој између епилимниона и хиполимниона.

Хиполимнион је најдубљи слој воде, који је хладан и веће густине (тежи). Овај слој се углавном одликује стабилном температуром. Процес фотосинтезе се не обавља у овом слоју, тако да се кисеоник не ствара биолошком активношћу, што доводи до његовог дефицита. Водозахватни објекат за снабдевање водом за пиће не сме се поставити на дубини хиполимниона, јер квалитет те воде углавном не задовољава стандарде квалитета вода за пиће (Далмација, 2000).

Температурни профил водене масе мења се зависно од годишњег доба, чинећи циклус који се годинама понавља, слика 5.2. У пролеће, пошто се лед истопи, вода има исту температуру од дна до површине. Ветар утиче на циркулацију и мешање воде (пролећно мешање), тако да се вода са површине потискује ка дну, а она са дна подиже на површину, што омогућава да релативно велика количина кисеоника стигне до дна језера. У супротном, кисеоник би до дна долазио споро, процесом дифузије. С порастом интензитета Сунчевог зрачења, вода се загрева од површине ка дну. Топла вода је мање густине од хладне, тако да она плива над слојем хладне воде. Између слојева топле воде (епилимнион) и хладне воде (хиполимнион) ствара се средњи слој металимнион или прелазна зона где је максимална брзина опадања температуре. Прелазни слој се обично задржава од априла до новембра. У току лета топли слој достиже максималну дубину, што се одржава до краја лета. У јесен, као и у пролеће, на мешање водене масе највише утиче ветар. Површинска вода, која је у директном контакту са хладним ваздухом, брже се хлади од воде испод ње. Хлађењем ваздуха, водена маса брже губи топлоту него што је упија, тако да топли слој воде постаје све тањи, а средњи слој воде (металимнион) се спушта ка дубини. Кретање хладне, густе воде додатно помаже мешању воде. Тада више не постоје топлотни слојеви, односно водена маса губи топлотно раслојавање. Зимом се површински слој воде хлади испод $+4\text{ }^{\circ}\text{C}$. Када температура воде достигне $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ лед покрива површину водене масе. За време зиме ледени покривач спречава ветар да меша воду, тако да се поново јавља топлотно раслојавање. Слој воде мање густине (хладнији од $+4\text{ }^{\circ}\text{C}$ а топлији од $0\text{ }^{\circ}\text{C}$), формира се одмах испод леда. Испод овог слоја, у осталом делу температура воде је обично близу $+4\text{ }^{\circ}\text{C}$. Тако долази до зимске стагнације, а са доласком пролећа температурни циклус се наставља.



Слика 5.2. Промена температуре воде у зависности од годишњег доба (модификовано према Fafard, 2018)

Важно је поменути да температура воде зависи од антропогених фактора, као што су: уливање отпадних вода из енергетских постројења, развијеност индустрије, уливање комуналних отпадних вода и друго.

5.2.2. Боја

Хемијски чиста вода је безбојна. Боја природних вода потиче од различитих растворених и суспендованих материја и зависи од услова осветљења, дубине воде, апсорпције и одбијања светлости, присуства планктона и друго. Промена боје воде настаје због присуства појединих природних минерала, метала (гвожђе, манган...) и органских материја. Повећана количина гвожђа води даје жуту или црвенкасту боју, мангана мрку боју, док органске материје у фази труљења дају жуту или браонкасту боју воде. Мада је боја воде значајна с аспекта естетике воде, ипак не мора да указује на њено загађење (Кристофоровић-Илић и др., 1998).

5.2.3. Мирис и укус

Мирис и укус природне воде, такође, зависе од присутних материја у води и одређују се чулом мириса, односно укуса. Појава мириса воде може да укаже на њено евентуално загађење. Мирис воде се нарочито мења због присуства алги и бактерија у њој. Тада се осећа мирис траве, буђи, труљења. Гасови који настају биолошком разградњом, такође могу проузроковати појаву мириса. Присуство индустријских отпадних материја у води осети се по карактеристичном мирису. Мирис воде усмерава испитивача ка детаљнијим хемијским и биолошким испитивањима (Кристофоровић-Илић и др., 1998).

Поједине супстанце које производе мирис воде учествују и у формирању укуса воде. Неорганске супстанце обично мењају само укус воде али не и мирис, док органске супстанце могу да промене и мирис и укус воде. Укус воде се мења у зависи од врсте и концентрације растворених соли, табела 5.1.

Табела 5.1. Промена укуса воде услед присуства појединих соли (Кристофоровић-Илић и др., 1998)

Растворена со	Концентрација (mg/l)	Укус
NaCl	500	Слан
MgCl ₂	400	Горак
KCl	700	Горак
FeSO ₄	5	Гвожђевит
MnCl ₂	4	Укус бадема

5.2.4. Мутноћа и провидност

Мутноћа воде је оптичка карактеристика воде и потиче од колоидних и суспендованих честица, пречника већег од 100 μm , као што су: нерастворене суспендоване честице глине, муља, органских материја, алги, бактерија и осталих живих организама, мехурића ваздуха и других сличних материја. Са повећањем мутноће воде, расипање светлосних зрака се повећава, тако да мање светлости продире кроз воду. Последица тога је успорен процес фотосинтезе, али и интензивније загревање воде услед присуства суспендованих честица које апсорбују Сунчево зрачење. Таква дешавања

доведе до смањене количина кисеоника у води, што негативно утичу на живот микрофлоре и других организма у води (Кристофоровић-Илић и др., 1998).

Мутноћа воде се одређује поређењем упадне светлости кроз узорак и стандард. Што је већи интензитет скретања светлости, то је и мутноћа узорка већа. Јединица којом се изражава мутноћа воде је нефелометријска јединица мутноће NTU (енгл. *nephelometric turbidity units*), а инструменти којим за одређивање мутноћа воде називају се турбидиметри.

Како мутноћа воде зависи од количине суспендованих честица у води, практично се може одредити *укупна количина суспендованих честица у води, TSS* (енгл. *total suspended solids*)¹⁴. Одређује се тако што се одговарајућа количина воде профилира, а филтрат се суши на 103 °C. Маса који остаје на мембрани филтера чине чврсте честице које су биле у води у суспендованом стању и њихова маса, након сушења, представља количину укупних суспендованих чврстих честица, TSS.

Уопштено посматрано, мутноћа воде је израженија код површинских вода у односу на подземне, јер се подземне воде спорије крећу тако да је и покретање честица слабије. Код споротекућих и стајаћих вода изражена је појава талога, који се под одређеним условима може покренути и створити замућење воде.

Под особином провидности воде подразумева се својство воде да је до одређене дубине провидна. Ова особина воде је уско повезана са мутноћом воде. Природна вода је транспарентна за опсег видљиве и UV области таласних дужина светлости. Провидност воде зависи од количине присутне материје у води, угла упада светлости, доба дана, временских прилика, густине суспендованих честица и друго. Провидност река у планинским крајевима је већа него оних у равничарским. Према особини провидности природне воде се деле на:

- бистре,
- скоро бистре,
- слабо замућене,
- замућене,
- веома мутне,
- непровидне.

Захваљујући овој особини воде светлост може да продре дубоко у водену средину, што омогућава живот на већим дубинама.

5.2.5. Вискозност

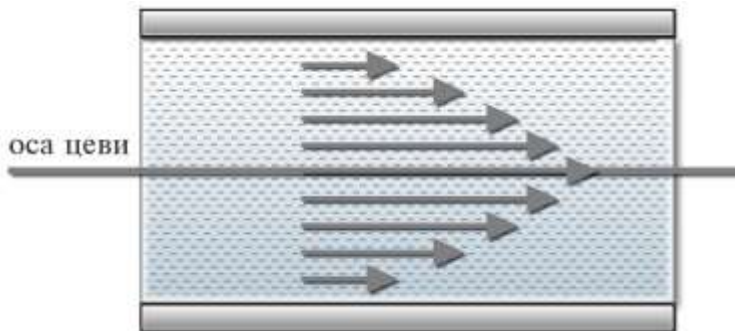
Вискозитет природних вода је у функцији температуре и минерализације. Са повећањем температуре смањује се вискозитет воде, а са повећањем минерализације повећава се вискозитет воде. Повећањем вискозности протицање течности и кретање тела кроз течност је спорије. Од вискозности природне водене средине зависи мобилност присутних супстанци, али и брзине кретања водених организама (Риковски, 1987).

Вискозност природне воде условљава неравномерно кретање слојева воде (сви слојеви течности се не крећу истом брзином) при протицања. Различита брзина

¹⁴ Јединица је mg суве материје у један литар воде.

кретања слојева течности последица је унутрашњег трења између слојева који клизе један по другом. Силе унутрашњег трења се супротстављају кретању слојева течности тако да изгледа као да долази до њиховог „раслојавања“ (слојевито-ламинарно кретање). Силе трења које постоје између суседних делова течности, јављају се само у току кретања течности и називају се *вискозне силе*.

На слици 5.3. приказани су слојеви воде који се јављају код протицања кроз цев, са напоменом да се слична дистрибуција слојева воде са различитим брзинама тока јавља и код река, где функцију зидова цеви имају речне обале.



Слика 5.3. Различита брзина протицања воде при току кроз цев

Са слике се може уочити да се најбрже крећу средишњи делови речног тока, а најспорије они делови који су уз обалу.

5.2.6. Густина

Густина и вискозитет природних вода су две међусобно зависне величине. Основни параметри од којих зависи густина природне воде су температура и количина растворених супстанци. Са повишењем температуре густина воде се смањује. Међутим, густина воде при ниским температурама показује извесну неправилност, која се огледа у томе да је густина леда мања од густине течне воде. Лед не тоне већ плива на површини своје течне фазе. Густина воде расте у интервалу од 0 °C до 4 °C и максимум достиже на 4 °C, а даљим повишењем температуре густина опада. Поменута појава је од значаја за опстанак водених организама у зимским условима. Повећана количина растворених соли у природној води повећава густину воде и обратно (Стојановић и Голубовић, 2014).

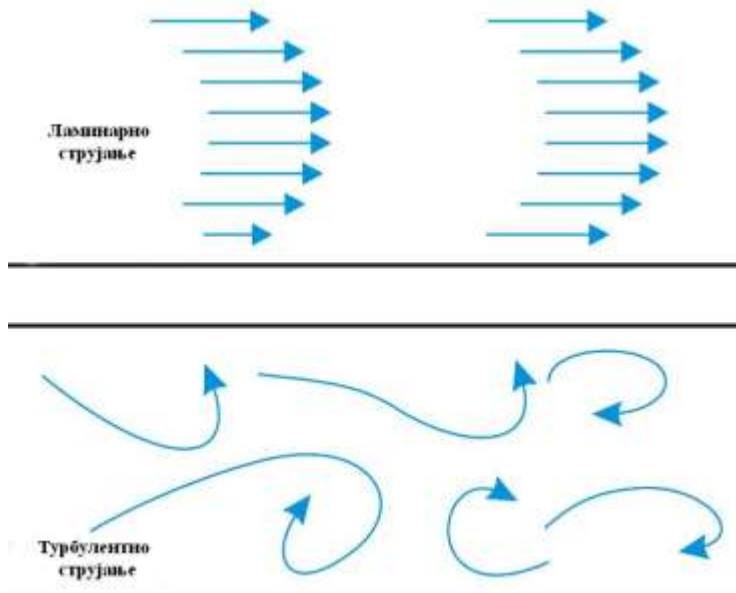
Дакле, густина природне воде се смањује повишењем температуре и смањењем концентрације соли, а повећава се снижењем температуре и повећањем концентрације соли.

5.2.7. Покрети воде

У природи не постоје воде које у потпуности мирују. Основни узрочници покретања воде су: ветар, Земљина гравитација, разлика у висини земљишта (нагиб подлоге), процес евапорације, утицај Месеца (плима и осека), земљотреси и друго. Најуочљивији покрети воде су: *струјање, таласи, плива и осека* (Веселиновић и др., 1995).

Струјање воде или ток је карактеристичан за потоке и реке, а брзина зависи од нагиба

тла и самих карактеристика воде. Таласи су покрети најчешће изазвани ветром или тектонским активностима. Плима и осека, односно надирање и повлачење воде, настају под утицајем Месечеве гравитације и смењују се на сваких 12 сати. Код стајаћих вода евидентни су хоризонтални и вертикални покрети слојева воде. Кретање водене масе може бити ламинарно и турбулентно, слика 5.4.



Слика 5.4. Ламинарно и турбулентно кретање водене масе

Ламинарно кретање воде јавља се при малој брзини протока воде. Појава турбулентног кретања воде условљена је мешањем слојева услед веће брзине протока. На турбулентно кретање воде утичу разне препреке. Изражено је при дну река где је каменит и шљунковит седимент, где се јавља трење које ствара вртложно кретање воде. Код турбулентног кретања воде карактеристично је интензивно мешање слојева воде.

5.2.8. Електрична проводљивост

Хемијски чиста вода не проводи електричну струју, али присуство јона у води условљава да раствор проводи струју, односно има особину електричне проводљивости. Електрична проводљивост природних вода зависи од присутних јона, њихове концентрације и мобилности, температуре и друго. Ова особина природне воде је директно зависна од степена минерализације (салинитета) воде на одговарајућој температури. Са повећањем степена минерализације расте вредност електричне проводљивости. Повећана количина минералних материја у рекама и језерима је евидентна за време обилних киша, када долази до спирања земљишта (нарочито пољопривредног земљишта), затим при великом испаравању и друго. Електрична проводљивост се повећава са повишењем температуре, а мерења се прерачунавају за температуру од 25 °C.

Кондуктометри су уређаји којима се мери електрична проводљивост воде, а јединица у SI систему јединица је сименс по метру (S/m) (Риковски, 1987).

Вредност електричне проводљивости природне воде је значајна, јер показује количину растворених соли, односно салинитет воде. Салинитет се изражава у промилима (‰) и представља укупан садржај соли изражен у грамима у 1000 g воде. Највећи салинитет има Мртво море, 300-400‰ (горњих 35 m), што је знатно више у односу на обичну морску воду (35‰). У њему живот не постоји, осим врло отпорних микроорганизама. Код природних вода електрична проводљивост се креће у границама од 10 – 1000 S/m, а веће вредности указују на загађеност воде (Далмација, 2000).

5.2.9. Растворљивост супстанци у води

Вода у природи, пролазећи кроз различите земљишне слојеве, раствара стене, минералне материје, при чему се обогаћује разноврсним супстанцама. Из тих разлога хемијски чиста вода у природи не постоји. У води се могу наћи растворене супстанце у сва три агрегатна стања: чврстом, течном и гасовитом.

У зависности од степена растворљивости супстанце се деле на оне које се добро растварају, које се слабо растварају и скоро нерастворљиве. При томе треба напоменути да практично не постоје потпуно нерастворљиве супстанце. Чак и оне супстанце за које се сматра да су нерастворљиве, као што су злато, стакло и друго, у води се растварају у минималним количинама.

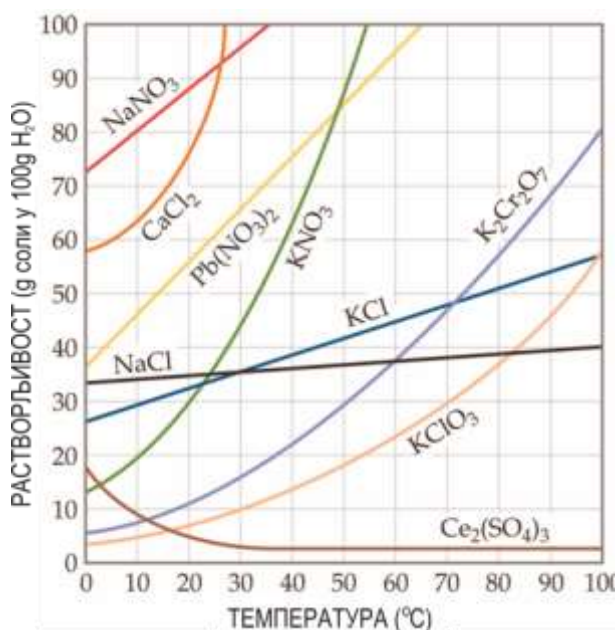
● Растварање чврстих супстанци

Процесу растварања подлежу соли, тако да се у природним водама најчешће налазе растворене соли хлорида, сулфата и хидрогенкарбоната прве и друге групе Периодног система елемената. Присуство свих јона растворених соли у природним водама представља *минерализацију воде*. Растварање соли зависи од: њихове хемијске природе, температуре, притиска, дисперзности и супстанци – примеса које се налазе у води. Сам процес растварања чврстих (кристалних) супстанци у води детаљно је описан у поглављу 2.

На температури од 18 °C у природним водама се добро растварају хлориди калцијума, магнезијума и натријума (CaCl_2 , MgCl_2 , NaCl), затим сулфати магнезијума и натријума (MgSO_4 , Na_2SO_4) и натријум-карбонат (Na_2CO_3). Умерену растворљивост има калцијум-сулфат (CaSO_4), а слабу растворљивост имају карбонати калцијума и магнезијума (CaCO_3 , MgCO_3). Најмању растворљивост имају карбонати земноалкалних метала, али се и њихова растворљивост повећава уколико вода садржи угљен-диоксид.

Повишењем температуре најчешће долази до повећања растворљивости чврстих супстанци. Растворљивост неких чврстих супстанци у зависности од температуре, при нормалним условима, приказана је на слици 5.5. Тако, растворљивост натријум-карбоната (Na_2CO_3) и натријум-сулфата (Na_2SO_4)¹⁵, расте до температуре од око 50 °C. Међутим, значајно мању растворљивост има натријум-хлорид (NaCl), само око 10% у температурном опсегу од 0 °C до 100 °C. Постоји и незнатан број соли чија се растворљивост смањује са повећањем температуре: литијум-сулфат (LiSO_4) и калцијум-сулфат (CaSO_4).

¹⁵ На 60 °C у истој количини воде раствори се девет пута више натријум-сулфата у односу на количину која се раствара на 0 °C.



Слика 5.5. График зависности растворљивости одабраних соли у води од температуре (Стојановић и Голубовић, 2014)

Процес растварања чврстих супстанци зависи и од присуства и утицаја других присутних супстанци. Познато је да на смањење растворљивости неке соли утиче друга со уколико имају заједнички јон, а уколико имају различите јоне растворљивост се повећава.¹⁶

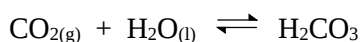
Процесу хидролитичког разлагања најчешће подлежу минерали земљине коре, као што су: силикати, феросиликати и алумосиликати, који у суштини представљају 75% минерала земљине коре.

• Растварање гасовитих супстанци

Растварање гасова у води је константан процес, тако да све природне воде садрже растворене гасове. Постоји динамичка равнотежа између концентрације гаса у природним водама и у ваздуху. Уколико је концентрација гаса у води већа, онда се тај гас поред раствореног облика налази и у слободном стању, односно у облику малих мехура.

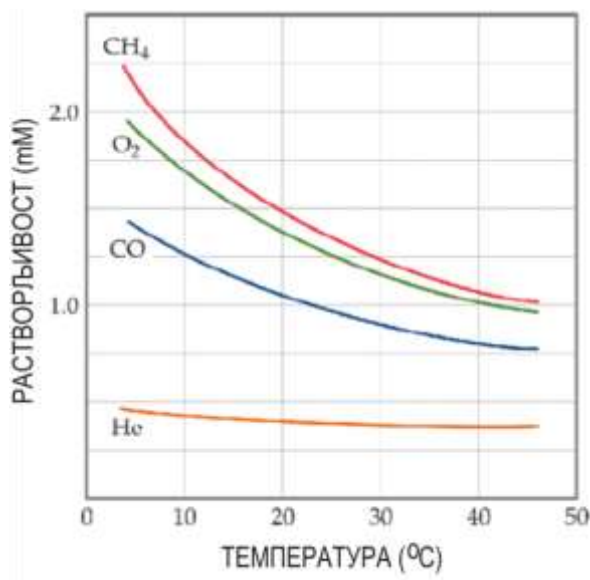
Растворљивост гасова зависи од: природе гаса, температуре (слика 5.6) и притиска.

У природним водама се могу наћи гасовите супстанце које се слабо растварају и оне које се добро растварају. Слабо се растварају неполарни гасови, односно они гасови који слабо реагују са водом, као што су: кисеоник, водоник, азот, инертни гасови, угљеник(II)-оксид. Добро се растварају поларни гасови, односно гасови који хемијски реагују са водом, као што су: угљеник(IV)-оксид, амонијак, хлороводоник, сумпор(IV)-оксид. Пример растварања угљеник(IV)-оксида:



¹⁶ Растворљивост бакар-сулфата се смањује са повишењем температуре, али се у присуству већих количина натријум-хлорида значајно повећава.

Растворљивост гасова у води се смањује са повећањем температуре.



Слика 5.6. График зависности растворљивости одабраних гасова у води од температуре (Стојановић и Голубовић, 2014)

Притисак је важна компонента у процесу растварања гасова. Зависност је изражена Хенријевим законом (Стојановић и Голубовић, 2014):

„Растворљивост гасова при константној температури управо је пропорционална притиску гаса над течностима“.

$$\chi = H \cdot p$$

χ – молски удео гаса у раствору

p – парцијални притисак гаса над раствором

H – Хенријева константа пропорционалности
(карактеристична за гас и растварач)

Уколико се изнад течности налази смеша гасова, сваки од њих се раствара у течности пропорционално свом парцијалном притиску. Тако се гасови водоник и угљен-дисулфид, услед ниског парцијалног притиска у атмосферском ваздуху, при нормалним условима, не налазе у површинским водама.

Поред претходно наведених параметара на садржај гасова у природним водама утичу и хемијски, биолошки и хидролошки процеси који се одигравају у водама.

У табели 5.2. приказана је растворљивост неких гасова у води на температури од 293 К и притиску 101,325 kPa. Из приказане табеле уочава се да је растворљивост кисеоника два пута већа од растворљивости азота у води. Из тих разлога је ваздух растворен у води другачијег састава од атмосферског.

Табела 5.2. Растворљивост гасова у води при нормалним условима (Кемер, 2005)

Гас	N ₂	O ₂	CO ₂	Cl ₂	H ₂ S	NH ₃
Растворљивост гаса (dm ³ гаса/dm ³ воде)	0,015	0,031	0,878	2,361	2,582	702,406

● **Растварање течних супстанци**

Растварање течности зависи од интермолекулских и интрамолекулских веза које су присутне у течним супстанцама. Растворљивост течних супстанци се може повећати променом температуре, односно повишењем или снижењем температуре, нарочито за оне течности које се делимично растварају. Растварањем течности не долази до значајне промене запремине, тако да процес скоро не зависи од притиска.

Питања за проверу знања:

1. Шта се подразумева под појмом природне воде?
2. Како уопштено атмосфера и земљиште утичу на формирање састава природних вода?
3. Који фактори утичу на формирање хемијског састава вода?
4. Објаснити утицај физичко-географски фактора на формирање састава природних вода.
5. Навести хемијске факторе, који утичу на формирање хемијског састава вода?
6. Како рН вредност утиче на хемијски састав вода?
7. Објаснити на који начин процеси оксидо-редукције и јонске измене утичу на хемијски састав природних вода.
8. Објаснити утицај биолошких фактора на састав природних вода.
9. Навести физичке особине природних вода.
10. Објаснити температуру као карактеристику природних вода.
11. Објаснити особине природне воде: боја, мирис, укус, мутноћа, провитност, вискозитет, густина.
12. Објаснити електричну проводљивост природних вода.
13. Шта је салинитет воде?
14. Објаснити процесе растварања чврстих, течних и гасовитих супстанци у води.

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. Далмација, Б. (2000). *Контрола квалитета вода у оквиру управљања квалитетом*. Нови Сад: Институт за хемију, Природно-математички факултет Универзитета у Новом Саду.
4. 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.
5. Јаковљевић, М., и Пантовић, М. (1991). *Хемија земљишта и вода*. Београд: Пољопривредни факултет Универзитета у Београду и Научна књига.
6. Кемер, Ф. (2005). *Налков приручник за воду*. Београд: Савез инжењера и техничара Србије.
7. Кристофоровић-Илић, М., Радовановић, М., Вајагић, Л., Крњетин, С., Обркнежев, Р., Јефтић, З., и Фолић, Р. (1998). *Комунална хигијена*. Нови Сад: Прометеј.
8. Кукучка М., и Кукучка Н. (2013). *Физичко-хемијски састав природних вода*. Београд: Техничко-металуршки факултет Универзитета у Београду.
9. Почуча, Н. (2008). *Екохидрологија (Загађење и заштита вода)*. Београд: Грађевинска књига.
10. Риковски, И. (1987). *Неорганска хемија*. Београд: Грађевинска књига Београд.
11. Стојановић, М., и Голубовић, Т. (2014). *Основи опште и неорганске хемије са задацима*. Ниш: Факултет заштите на раду у Нишу Универзитета у Нишу.
12. Fafard, P. (2018). How and Why Lakes Stratify and Turn Over: We explain the science behind the phenomena.
<https://www.iisd.org/ela/blog/commentary/lakes-stratify-turn-explain-science-behind-phenomena/>

6. ХЕМИЈСКИ САСТАВ ПРИРОДНИХ ВОДА

Циљеви поглавља:

- Стицање знања о хемијском саставу природних вода

Резиме:

Природне воде садрже велики број хемијских супстанци, и то: гасовите компоненте, основни јони, микроелементи и сложена једињења. Гасовите компоненте које се најчешће налазе у природним водама су: кисеоник, угљеник(IV)-оксид, водоник-сулфид и метан. Кисеоник представља најзначајнију гасовиту компоненту природних вода. Угљеник(IV)-оксид се налази у свим природним водама, с тим што је у мањој концентрацији присутан у површинским водама. Водоник-сулфид се налази у природним водама ниског садржаја раствореног кисеоника. Метан се најчешће јавља као гасовита компонента подземних вода. Јони који се налазе у природним водама могу се сврстати у групу макро- и микрокомпонената. Макрокомпоненте, односно главни или доминантни јони, чине највећи део минералног састава вода на основу кога се одређује хемијски тип воде. У ову групу спадају анјони хидрогенкарбоната (HCO_3^-), карбоната (CO_3^{2-}), хлорида (Cl^-) и сулфата (SO_4^{2-}) и катјони натријума (Na^+), калијума (K^+), калцијума (Ca^{2+}) и магнезијума (Mg^{2+}). Микрокомпоненте немају значајнији утицај на хемијски тип воде, али су значајни за квалитет воде. У микрокомпоненте природних вода убрајају се: силицијум, гвожђе, манган, алуминијум, баријум и други. Водоник у јонском облику (H^+) је слабо заступљен у природним водама, јер је веома реактиван. Код већине природних вода рН вредност је у опсегу 6–8,5. Од биогених елемената у природним водама најзначајнији су азот и фосфор. Органске материје се скоро увек налазе у природним водама. Могу постојати као природне или синтетске органске материје.

Summary:

Natural waters contain a large number of chemical substances, like: gaseous components, basic ions, microelements, and complex compounds. The gaseous components most often found in natural waters are oxygen, carbon(IV) oxide, hydrogen sulfide, and methane. Oxygen is the most important gaseous component of natural waters. Carbon(IV) oxide is found in all natural waters, but it is present in lower concentrations in surface waters. Hydrogen sulfide is found in natural waters with a low concentration of dissolved oxygen. Methane most often occurs as a gaseous component of groundwater. The ions found in natural waters can be classified into the group of macro- and micro-components. Macrocomponents make up the largest part of the mineral composition of water and they determine the chemical type of water. This group includes anions: bicarbonate (HCO_3^-), carbonate (CO_3^{2-}), chloride (Cl^-) and sulfate (SO_4^{2-}) and cations: sodium (Na^+), potassium (K^+), calcium (Ca^{2+}) and magnesium (Mg^{2+}). Microcomponents do not have a significant impact on the chemical type of water, but they are important for water quality. The microcomponents of natural waters include silicon, iron, manganese, aluminum and barium. Hydrogen ions are found in very low amounts in natural waters because they are very reactive. In most natural waters, the pH value is in the range of 6-8.5. The most important biogenic elements in natural waters are nitrogen and phosphorus. Organic matter, of natural or synthetic origin, is almost always found in natural waters, in different amounts.

Вода присутна на Земљи природно садржи веома разноврсне састојке, с обзиром да долазе у додир са различитим супстанцама. Поред природних супстанци у води се срећу и оне које су производ загађивања природе услед активности човека. Свака природна вода има карактеристичан садржај хемијских супстанци (Кукучка и Кукучка, 2013).

У природним водама заступљено је преко 70 хемијских елемената у различитим концентрацијама. Хемијске компоненте, које се налазе у природним водама, се према облику јављања могу сврстати у групе:

- гасовитих компоненти,
- неорганских компоненти у облику јона,
- биогених материја,
- микроелемената и
- сложених једињења, као што су органске материје.

6.1. Гасовити састојци природних вода

Природне воде садрже разноврсне гасовите састојке. У површинским водама се углавном срећу кисеоник (O_2) и угљеник(IV)-оксид (CO_2), а у подземним водоник-сулфид (H_2S) и метан (CH_4) и то у већој концентрацији од осталих гасова. У зависности од локације водене средине, поред поменутих гасовита, могу се наћи и други гасови, као што су: радон, разноврсни сулфиди, племенити гасови (хелијум) и друго (Веселиновић и др., 1995).

6.1.1. Кисеоник (O_2)

Кисеоник представља најзначајнију гасовиту састојку природних вода, од чије концентрације зависи опстанак водених организама. У води се налази у раствореном облику. Кисеоник је јако оксидационо средство, тако да има важну улогу у формирању хемијског састава природних вода.

У површинске воде кисеоник доспева из ваздуха или се ослобађа током процеса фотосинтезе. Из ваздуха, молекулски кисеоник, процесом дифузије улази у водене системе где се раствара¹⁷. Процес дифузије је интензивнији уколико је појачано струјање ваздуха. У току дана, алге процесом фотосинтезе, ослобађају кисеоник, али се изврстан део троше у току ноћи за метаболичке процесе.

У природним водама раствореног кисеоника има у ограниченим количинама и најчешће је до 14 mg/l. У наредном тексту, укратко је објашњено, како на растворљивост кисеоника у води утичу параметри као што су: годишње доба, доба дана, дубина воде, температуре, атмосферски притисак, количине растворених соли (салинитет), животне активности водених организама и друго (Кристофоровић-Илић и др., 1998).

Максимална количина раствореног кисеоника у води је током лета, када је интензивна фотосинтетичка активност биљака, док се у зимском периоду јавља дефицит кисеоника, јер су процеси потрошње већи од количине доспелог кисеоника.

¹⁷ Концентрација кисеоника у ваздуху је већа (21%) у односу на воду, тако да је концентрацијски градијент разлог процеса дифузије.

Концентрација раствореног кисеоника мења се у зависности од дубине воденог слоја. Ова појава се назива *вертикална расподела раствореног кисеоника*. Највећа количина раствореног кисеоника налази се у површинским слојевима због интензивног процеса фотосинтезе. Повећањем дубине воде и смањењем прозрачности смањује се концентрација раствореног кисеоника, тако да је најмања при дну где се врши процес оксидације седимента, односно процес труљења.

Са порастом температуре смањује се растворљивост кисеоника, тако да је на 0 °C око 14 mg/l, а на 35 °C око 4 mg/l. На вишим температурама смањење растворљивости кисеоника прати и пораст брзине потрошње кисеоника.

Порастом надморске висине смањује се засићење (сатурација) воде кисеоником¹⁸.

Растворљивост кисеоника се повећава код турбулентног протока воде.

Са порастом концентрације соли (салинитета) у води растворљивост кисеоника експоненцијално опада, тако да је концентрација кисеоника у морима за око 20% мања у односу на слатке воде.

Кисеоник се троши у процесу дисања водених организама и за оксидацију органских материја. Да би се у води разградило оксидацијом 7–8 mg органске материје, у присуству микроорганизама, троши се сав кисеоник који се налази у једном литру воде која је засићена кисеоником.

Кисеоник, као јако оксидационо средство, има важну санитарно-хигијенску улогу у водама, јер ефикасно разграђује остатаке органске материје до једноставних неорганских једињења.

Концентрација кисеоника у води одређује квалитет воде (Гаћеша и Клашња, 1994).

6.1.2. Угљеник(IV)-оксид (CO₂)

Угљеник(IV)-оксид (угљен-диоксид) се налази у свим природним водама и то углавном, у облику раствореног гаса. Његова растворљивост у води знатно је већа од растворљивости кисеоника¹⁹.

Угљен-диоксид у природне воде доспева из неорганских и органских извора.

Неоргански извори су: сложени геохемијски и магматски процеси у дубини Земље, ерупције вулкана и у знатно мањој количини из атмосфере. Органски извори CO₂ су живи организми и њихови биохемијски процеси, процес дисања, микробиолошка разградња органске материје и друго (Веселиновић и др., 1995).

Количина угљен-диоксида у природним водама варира у границама од милиграма до неколико грама на литар. Најмању концентрацију имају површинске минерализоване воде – мора и слана језера, док је највећа концентрација у подземним водама. У речним и језерским водама садржај угљен-диоксида је обично од 20 до 30 mg/l. Карактеристично је да, због добре растворљивости CO₂ у води, кишница увек садржи извесну количину овог гаса, због чега је слабо кисела.

Из атмосфере угљен-диоксид процесом *дифузије* улази у воду, а количина зависи од

¹⁸ На температури од 20 °C растворљивост кисеоника на нивоу мора је 9 mg/ l, а на 2000 m надморске висине је 7 mg/ l.

¹⁹ Угљен-диоксид се око 200 пута више раствара у води од кисеоника.

локалитета и потенцијалног антропогеног загађења. Растворљивост CO_2 у природним водама зависи од услова средине, односно притиска и температуре. Растворљивост CO_2 у функцији је атмосферског притиска и дефинисана је Хенријевим законом. Постоји стална динамичка равнотежа између количине CO_2 која се налази у атмосфери и природним водама. Уколико је парцијални притисак CO_2 у ваздуху већи од парцијалног притиска раствореног CO_2 у води, долази до његове апсорпције из ваздуха у воду. Код обратног случаја, односно када је парцијални притисак раствореног CO_2 у води већи од атмосферског, онда се издваја из воде и одлази у атмосферу.

Угљен-диоксид из атмосфере се боље раствара на нижој температури, односно у хладнијој води, што је приказано табелом 6.1.

Табела 6.1. Концентрација угљен-диоксида раствореног у води из атмосфере у зависности од температуре (Веселиновић и др., 1995)

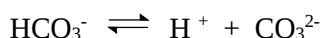
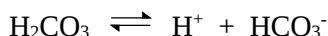
Температура (°C)	Концентрација CO_2 (mg/l)
0	1,1
15	0,6
30	0,4

Овај гас добро реагује са водом градећи угљену киселину. Међутим, у природним водама мала количина (око 1%) укупног CO_2 реагује са водом стварајући угљену киселину (H_2CO_3):



Реакција је карактеристична за $\text{pH} < 8$.

Угљена киселина је слаба киселина и у воденом раствору подлеже процесу дисоцијације:



У природним водама се успоставља динамичка равнотежа између раствореног CO_2 , угљене киселине, хидрогенкарбонатних и карбонатних јона, што се може приказати сумарном једначином:



Угљен-диоксид, као кисели оксид, реагује са базама градећи соли, па се из тих разлога не налази у водама где је $\text{pH} > 8,5$.

Поред значајне улоге за одржавање pH вредности воде и хидрохемијских процеса, угљен-диоксид је значајан за животне процесе биљних водених организама. Биљни свет га користи као извор угљеника. Међутим, већа количина CO_2 у води доводи до неповољне размене гасова код водених организама, што може да проузрокује њихову смрт. Из тих разлога максимална гранична вредност слободног CO_2 у води је 25-30 mg/l.

Смањење концентрације угљен-диоксида у природним водама испољава се услед реакције карбоната у хидрогенкарбонате, процеса фотосинтезе, дифузије у атмосферу уколико је вода презасићена угљен-диоксидом, и друго.

6.1.3. Водоник-сулфид (H_2S)

Водоник-сулфид је токсична гасовита супстанца. Чак и мале концентрације овог гаса у ваздуху могу да буду смртоносне. Његово присуство у природним водама је непожељно, а мирис водоник-сулфида (попут покварених јаја) осећа се већ при концентрацији од 0,05 mg/l.

Присуство водоник-сулфида је карактеристично за воде које не садрже растворени кисеоник. Настаје углавном у току процеса биохемијског разлагања органске материје у одсуству кисеоника. Овом процесу нарочито подлежу протеини који у свом саставу имају сумпор. Такође, настаје и при растварању сулфидних минерала под дејством угљене киселине. Водоник-сулфид се углавном јавља у доњим воденим слојевима где се и обављају процеси анаеробног разлагања органске материје (Петровић, Богдановић и Павић, 2004).

Код дубљих вода (језера, мора), где је смањено струјање воде или код река у зимском периоду, количина водоник-сулфида се повећава. Повећано присуство у површинским водама указује на развој бактерија у води и изузетну загађеност. Нарочито је евидентно присуство овог гаса у барама и мочварама где је изражено труљење органске материје.

Количина водоник-сулфида у природним водама се смањује услед оксидације са присутним кисеоником.

Водени раствор водоник-сулфида испољава особине слабе киселине, тако да се у води могу наћи сулфидни (S^{2-}) и хидрогенсулфидни (HS^-) јони²⁰.

6.1.4. Метан (CH_4)

У подземним водама, метан је најчешћа гасовита компонента. Поред овог гаса подземне воде, садрже азот и угљен-диоксид (Петровић, Богдановић и Павић, 2004).

Метан настаје при анаеробном разлагању органске материје у подземним слојевима, али и приликом распадања и труљења органског материјала на површини тла. Најчешће се налази у оним подземним водоносним слојевима који су у близини налазишта нафте и гаса. Код површинских вода присутан је у доњем воденом слоју, где се у муљу разлажу органски остаци анаеробним процесом. Знатно већа концентрација метана се среће у барама и мочварама.

На количину насталог метана утичу температура и влажност. При вишим температурама и већим влажностима производи се већа количина метана.

6.2. Неоргански састојци природних вода

У природним водама доказано је присуство разноврсних хемијских елемената, који учествују у формирању анјона и катјона. Неоргански јони се према количини у којој се налазе у природним водама могу сврстати у групе макро- и микрокомпонената. *Макрокомпоненте природних вода се називају и главни или доминантни јони*, јер чине највећу количину минералног састава вода на основу кога се одређује хемијски тип

²⁰ При рН између 5 и 9 у води се налази H_2S у равнотежи са HS^- јонима. При $pH < 5$ у води је присутан само H_2S , а при $pH > 9$ јавља се S^{2-} јон.

воде. У ову групу спадају анјони: хлорида (Cl^-), хидрогенкарбоната (HCO_3^-), карбоната (CO_3^{2-}), сулфата (SO_4^{2-}) и катјони: натријума (Na^+), калијума (K^+), калцијума (Ca^{2+}) и магнезијума (Mg^{2+}). Макрокомпоненте природних вода су одговорне за *сланост или салинитет воде*, односно количину растворених соли у води²¹. Просечна концентрација соли у површинским водама је око 0,120 g/l, али варира у зависности од географског положаја, климатских услова, терена и друго. Салинитет копнених вода се креће од 0,010–0,500 g/l, односно (0,01–0,5 ‰) и знатно је нижи у односу на салинитет морске воде који се креће око 35 g/l (35‰). Из тих разлога је морска вода сланог укуса па се не може користити за пиће и за наводњавање усева (Почуча, 2008).

Табела 6.2. Просечна концентрација карактеристичних јона у рекама на глобалном нивоу (Почуча, 2008)

Катјони	Концентрација (mg/l)	Анјони	Концентрација (mg/l)
Ca^{2+}	15,0	HCO_3^-	58,4
Na^+	6,3	SiO_3^-	13,1
Mg^{2+}	4,1	SO_4^{2-}	11,2
K^+	2,3	Cl^-	7,8

Воде које имају мали салинитет, односно малу концентрацију соли, су меке воде, док је код тврдых вода концентрација соли већа. Значајно је да се са повећањем салинитета смањује растворљивост кисеоника.

Количина микрокомпоненти је знатно мања у односу на макрокомпоненте воде, тако да немају значајнији утицај на хемијски тип воде, али су важни за њен квалитет. У микрокомпоненте природних вода убрајају се: силицијум, гвожђе, манган, алуминијум, баријум и други.

Неке супстанце природних водах се налазе на прелазу између макро- и микро количина: јони водоника (H^+), амонијум јони (NH_4^+), нитрата (NO_3^-) и силицијумова киселина (H_2SiO_3). Поменути јони код појединих вода могу имати пресудни значај за њихов хемијски квалитет.

Такође, неки јони, у зависности од типа воде, могу се јавити у макро или микро количинама (Веселиновић и др., 1995).

6.2.1. Хлоридни јони (Cl^-)

Хлоридни јони су присутани у свим природним водама, али у различитим концентрацијама, и то од трагова па до неколико стотина милиграма у литру. Код слабо и умерено минерализованих вода Cl^- се, по количини, обично налазе на трећем месту, али са повећањем минерализације су на првом или другом месту.

У природним водама хлоридни јони се појављују растварањем минерала и то халита (NaCl) и силвина (KCl). Извори хлорида могу бити и атмосферске падавине уколико садрже хлор, ерупције вулкана и процеси распадања магматских стена.

Хлоридни јони имају велику способност миграције, односно способност за премештање, која зависи од услова средине. Они се не адсорбују на колоидне

²¹ Салинитет се изражава у mg/l или у промилима (‰). Промил показује колико грама соли има у једном литру воде.

честице²² и не акумулирају биогеним процесима.

Минерална једињења хлора се добро растварају у води, јер хлориди не граде тешко растворљиве соли, а посебно добру растворљивост имају соли: натријум-хлорид (NaCl), калијум-хлорид (KCl) и магнезијум-хлорид (MgCl₂). У слатким водама концентрација хлорида је обично мала.

Хлориди у концентрацијама у којима се налазе у природним водама немају штетни утицај на живи свет воде и човека. Када је концентрација хлорида већа од 0,25 g/l вода има слани укус. У слатким водама повећана концентрација хлорида неповољно утиче на живи свет, док су живи организми у сланим водама мора и океана адаптирани и на веће концентрације. Хлориди су у сланим водама доминантни јони.

У природне воде хлориди доспевају из антропогених извора, јер су у стални састојци отпадних комуналних и индустријских вода. Из тог разлога се могу наћи и у плићим подземним водама. Један од основних показатеља загађења водене површине опотпадним водама је повишена концентрација хлорида (Clesceri, Greenberg, & Eaton, 1998).

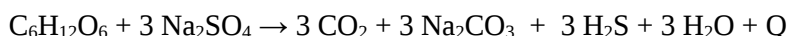
6.2.2. Сулфатни јони (SO₄²⁻)

Присуство сулфатног јона у води углавном потиче од растворених минерала гипса (калцијум-сулфат дихидрат, CaSO₄·2H₂O) и његовог анхидрида (калцијум-сулфат, CaSO₄). Сулфатни јони настају и као производи оксидације сулфида којих у земљиној кори има у знатној количини, затим оксидацијом сумпора и органских једињења која садрже сумпор, ерупцијом вулкана, када се знатна количина ослобођеног водоник-сулфида оксидује до сулфата. Извесна количина SO₄²⁻ у природне воде долази атмосферским падавинама из загађеног ваздуха. Сулфати се у водама могу јавити и при разлагању комуналног и индустријског отпада.

Највећа количина сулфатних јона се налази у умерено минерализованим водама река и језера. Површинске и подземне воде плићих хоризоната скоро увек садрже сулфате. На већим дубинама где нема кисеоника вода је без сулфата, односно уопште у водама где је концентрација кисеоника веома мала сулфатни јони су непостојани и редукују се до H₂S (Далмација, 2001).

Сулфатни јон је изузетно покретљив јон, али је његова мобилност нешто мања од хлоридног јона. Они реагује са калцијумом градећи слабо растворно једињење калцијум-сулфат (CaSO₄), чиме се смањује количина сулфатног јона у води, али се повећава њена тврдоћа, која се не може елиминисати загревањем воде до кључања. Воде са малим садржајем калцијума имају већу концентрацију SO₄²⁻.

У анаеробним условима сулфатни јон се редукује до водоник-сулфида. Редукцију сулфата у присуству органске материје врше *сулфато-редукујуће бактерије* по једначини:



Овај процес се назива *десулфатизација* и њиме се повећава садржај H₂S и CO₂ у води, а смањује садржај SO₄²⁻ при чему се мења категорија воде.

²² Изузетак је земља црвеница у тропским влажним пределима.

6.2.3. Хидрогенкарбонатни (HCO_3^-) и карбонатни јони (CO_3^{2-})

Ови јони су важни састојци природних вода од чије заступљености, у већини случајева, зависи рН вредност воде. Присуство хидрогенкарбонатних и карбонатних јона у природним водама је уско повезано са садржајем угљен-диоксида у води. Извори ових јона у природним водама су разне карбонатне стене: кречњаци, доломити, лапорци, спирање са земљишта и друго. Хидрогенкарбонатни јони могу настати и микробиолошким распадањем еруптивних стена (Далмација, 2001).

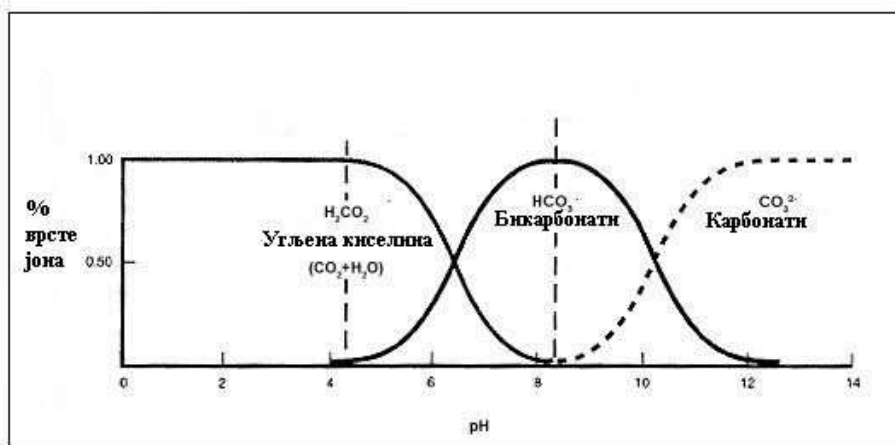
Као што је претходно речено, само мала количина угљен-диоксида (од укупно присутног у води) реагује са водом стварајући угљену киселину. Ова слаба киселина у воденом раствору дисосује на хидрогенкарбонатне (HCO_3^-) и карбонатне јоне (CO_3^{2-}).

У природним водама постоји динамичка равнотежа између саме угљене киселине и њених јона:



Приказани однос угљене киселине и њених јона представља *карбонатни систем хемијске равнотеже*, који у датој води има пуферски капацитет, а самим тим и велики значај за очување живота у води (Јаковљевић и Пантовић, 1991).

Присуство и однос одређених облика карбонатне равнотеже, углавном зависи од рН вредност воде, слика 6.1.



Слика 6.1. рН вредност природних вода у зависности од односа бикарбонатних и карбонатних јона (Јаковљевић и Пантовић, 1991)

Природне воде у којима преовлађује слободан угљен-диоксид и угљена киселина (H_2CO_3), имају ниску рН вредност, односно мању од 5. Такве воде су киселе воде.

Природне воде у којима преовладавају хидрогенкарбонатни јони (HCO_3^-) имају рН вредности у интервалу 6,5-9, и то су неутралне или слабо алкалне воде. У том интервалу рН вредности повећава се концентрација хидрогенкарбонатног јона, а смањује се концентрација слободне угљене киселине. Дакле, у неутралним и слабо алкалним водама као доминантан јон јавља се хидрогенкарбонатни јон.

Природне воде код којих су доминантни карбонатни јони (CO_3^{2-}) су алкалне воде са $\text{pH} > 9,5$.

Уопштено можемо рећи да се у природним водама успоставља систем:



Доминантно присуство поједине компоненте система указује на рН вредност воде.

Количина хидрогенкарбонатног јона повећава се код вода које протичу кроз кречњачке терене, пошто угљена киселина раствара стене богате калцијумом:



Из тих разлога је рН вредност воде калцеровних региона већа од 8, односно вода је алкална.

Карбонатни јони (CO_3^{2-}) се релативно ретко налазе у природним водама. Како је растворљивост карбоната калцијума и магнезијума мала, то је количина карбонатних јона у водама неколико милиграма у литру. Међутим, у природи се могу наћи, мада веома ретко, алкалне или содне воде код којих је карбонатни јон везан за натријум и где се концентрација јона карбоната мери у грамима на литар.

6.2.4. Јони натријума (Na^+)

Натријум је присутан у свим природним водама и доспева растварањем једињења која садрже натријум. Највећи извори натријума су еруптивне стене, затим кристалне соли натријума (углавном камена со) и друге соли које се налазе у земљишту. Соли натријума се добро растварају у води, тако да натријум има велику миграциону способност.

Концентрација натријума у природним водама је углавном мања од 20 mg/l, међутим код јако минералних вода може достићи концентрацију и 250 mg/l, тако да спада у доминантне јоне. У морској води катјони натријума чине око 84% масе свих катјона. У природним водама најзаступљеније соли натријума су хлориди и сулфати, а најмање карбонати. Количина натријума у природним водама, заједно са осталим минералима, чини минерализацију воде (Веселиновић и др., 1995).

На повећану концентрацију натријума у површинским водама утицај имају антропогени извори, нарочито отпадне воде из домаћинства, које су богате синтетичким детерџентима²³.

6.2.5. Јони калијума (K^+)

Калијум је по својим хемијским особинама и количини у Земљиној кори сличан натријуму. Међутим, количина калијума у природним водама је мања него натријума, и креће се од 4% до 10% количине натријума, односно обично је мања од 1 mg/l. Разлика у количини сродних елемената натријума и калијума у природним водама настаје из разлога што се јони калијума интензивније везују у земљишту, али и због велике биолошке потребе живих организама за овим елементом. За разлику од калијума, натријум се знатно мање задржава у земљишту, тако да лакше доспева у природне воде. Из тих разлога је и миграција калијума у природним водама слаба (Ђармати и др., 2007).

²³ Синтетички детерџенти су слични сапунима, али за разлику од сапуна нису осетљиви на према тврдој води.

Са основним анијонима (Cl^- , SO_4^{2-} , CO_3^{2-}), који се налазе скоро у свим природним водама, јони калијума граде лако растворљиве соли.

Концентрација калијума у површинским водама знатно се повећава са дотоком отпадних вода. Калијум у водотокове доспева највише са отпадним водама из рудника.

6.2.6. Јони калцијума (Ca^{2+})

Јони калцијума су доминантни јони у слабо минерализованим водама. Са повећавањем минерализације воде јони калцијума реагују са присутним анијонима градећи слабо растворљиве соли, што знатно смањује њихову концентрацију у води. Нарочито су изражене реакције са сулфатним и карбонатним јонима из природних вода, при чему настају слабо растворне соли калцијум-сулфат (CaSO_4), односно калцијум-карбонат (CaCO_3).

Извори калцијума у природним водама су кречњаци, доломит ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$) и карбонатни цемент, који могу да садрже 10-40% калцијума и који се растварају у води. Такође, калцијум у води потиче од гипса и силиката калцијума који се, у знатној количини, налазе у земљиној кори. Важан извор калцијума је и жива материја²⁴. Након изумирања организама у земљишту настају минерална једињења калцијума, тако да је земљишни раствор по правилу раствор калцијума.

Јони калцијума и магнезијума су присутни у свим природним водама, па се њихова количина користи као један од параметара за дефинисање тврдоће воде (Ђармати и др., 2007).

6.2.7. Јони магнезијума (Mg^{2+})

Магнезијум је по својим хемијским особинама сличан калцијуму. У природне воде доспева првенствено растварањем доломита, лапорца²⁵ или других базних стена. Код вода које се формирају изнад или поред наведених стена, јони магнезијума су доминантни катјони, чак и када је минерализација слаба. У тим водама може се и калцијум јавити у већој количини.

Биолошки извори магнезијума су ређи од калцијума, јер се у мањој количини налази у живим организмима.

Магнезијум је присутан скоро у свим водама, али најчешће није доминантан јон. Међутим, боља растворљивост соли сулфата и бикарбоната магнезијума у односу на калцијумове повећава његову количину у појединим природним водама.

Тврдоћа воде је један од важнијих параметара квалитета воде (Tchobanoglous, Burton, & Stensel, 2003).

Тврдоћа воде потиче, првенствено, од присуства соли калцијума и магнезијума, а знатно мање гвожђа и других метала. Као што је напред наведено, калцијум и магнезијум се у природним водама налазе у облику соли хидрогенкарбоната и

²⁴ Средњи садржај калцијума у живој материји је око 0,5%.

²⁵ Лапорац је седиментна стена изграђена од честица глине и калцијум-карбоната или доломита (доломитични лапорац), при чему проценат калцијум-карбоната варира у широком распону од 25 до 75%.

карбоната, сулфата, хлорида, нитрата и других. Соли калцијума и магнезијума су присутни у највећој количини, јер су најзаступљенији у Земљиној кори. Количина супстанци, које стварају тврдоћу воде, зависи од терена кроз који пролази вода. Уколико је терен каменит са већом количином соли калцијума и магнезијума то је степен тврдоће воде већи (Далмација, 2001).

Према количини и врсти присутних соли воде могу бити *тврде* и *меке*.

Практична разлика је очигледна код растварања сапуна. Меке воде добро праве сапуницу, док је тврдим водама потребно много више сапуна да би се створила сапуница.

Карбонатну тврдоћу воде (КТ) чине хидрогенкарбонати калцијума ($\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$) и магнезијума ($\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$).

Карбонатна тврдоћа воде назива се и *пролазна тврдоћа воде* (ПТ) јер се може уклонити дужим загревањем на температури од 90 °C до 100 °C, при чему се хидрогенкарбонат преводи у тешко растворан карбонат, угљен-диоксид и воду:



Некарбонатну тврдоћу воде (НТ) чине соли калцијума и магнезијума: сулфати (CaSO_4 , MgSO_4), хлориди (CaCl_2 , MgCl_2), нитрати ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$), силикати (CaSiO_3 , MgSiO_3) и друге у води присутне соли.

Некарбонатна тврдоћа воде се назива и *стална тврдоћа воде* (СТ) јер је чине соли које после кључања воде остају у њој.

Укупну тврдоћу воде (УТ) чини збир карбонатне и некарбонатне тврдоће:

$$\text{УТ} = \text{КТ} + \text{НТ}$$

односно збир пролазне и сталне тврдоће:

$$\text{УТ} = \text{ПТ} + \text{СТ}$$

У пракси и литератури најчешће се користе јединице – степени тврдоће и то немачки, француски и енглески:

немачки: 1 °dH = 10 mg CaO/l воде

француски: 1 °French Deg. = 10 mg CaCO_3 /l воде

енглески: 1 °English Deg. = 14,3 mg CaCO_3 /l воде

Углавном се користи немачки степен (°dH) који представља садржај од 10 mg CaO у 1 литру воде, или 7,19 mg MgO у 1 литру воде.

Међутим, степени тврдоће нису данас дозвољене јединице (Clesceri, Greenberg, & Eaton, 1998).

Тврдоћа воде изражава се у mg CaCO_3 по 1 литру воде. Веза са степенима тврдоће и њихова међусобна веза приказана је у табели 6.3.

Табела 6.3. Претварање степена тврдоће (Clesceri, Greenberg, & Eaton, 1998)

Мера тврдоће	mg CaCO ₃ /l	Енглески степени	Француски степени	Немачки степени (°dH)
mg CaCO ₃ /l	1,00	0,07	0,10	0,056
1° енглески	14,30	1,00	1,43	0,08
1° француски	10,00	0,70	1,00	0,56
1° немачки	17,90	1,25	1,79	1,00

У зависности од количине калцијум-карбоната у води, воде могу бити тврде и меке. Мека вода садржи мање од 75 mg/l CaCO₃, док тврда вода има преко 150 mg/l CaCO₃.

Табела 6.4. Врста воде у зависности од концентрације CaCO₃ (Clesceri, Greenberg, & Eaton, 1998)

Концентрација CaCO ₃ (mg/l)	Врста воде
0-75	Мека вода
75-150	Умерено тврда вода
150-300	Тврда вода
преко 300	Врло тврда вода

6.2.8. Јони водоника (H⁺) и pH вредност

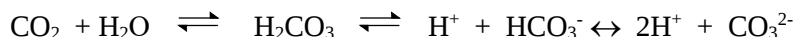
Концентрација јона водоника представља значајан параметар квалитета природних вода, јер дефинише киселост или базност водене средине. Ради једноставности у тексту ће се користити израз јон водоника (H⁺), иако је познато да је он у води присутан у хидратисаном облику, односно као хидронијум јон (H₃O⁺).

Киселост или базност водене средине изражава се као pH вредност, односно то је негативни декадни логаритам концентрације хидронијум јона (јона водоника).

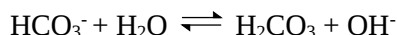
$$\text{pH} = -\log[\text{H}^+]$$

Сама pH вредност природних вода зависи од: концентрације и облика угљене киселине, присуства органских киселина из земљишта, хидролизе соли, присутних слободних киселина (нарочито сумпорне киселине), присутних микроорганизама и друго.

У природним, незагађеним водама pH вредност зависи од односа слободног CO₂, хидрогенкарбонатног и карбонатног јона, што је приказано једначином:

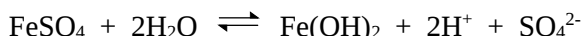


Такође, дисоцијацијом соли Ca(HCO₃)₂ и Mg(HCO₃)₂ повећава се концентрација хидрогенкарбонатног јона (HCO₃⁻), што доводи до смањења концентрације H⁺ јона, односно долази до појаве OH⁻ јон услед реакције хидролизе:



Смањењем концентрације H⁺ јона повећава се pH вредности, односно настаје базна средина. Кисела и хумусна земљишта, нарочито шумско тло, представљају изворе хуминских киселина које обогаћују воде јонима водоника. Из тих разлога су подземне воде шумске зоне слабо киселе.

Киселе воде могу настати и при процесу хидролизе соли тешких метала као што су гвожђе, олово, бакар и других метала. Следећи пример приказује хидролизу гвожђе(II)-сулфата:



Присуство слободне сумпорне или, ређе, хлороводоничне киселине ствара ниску рН вредност у водама (0,45–3,0). По овоме су карактеристичне воде вулканских региона јер садрже јаке минералне киселине.

Код већине природних вода рН вредност је у опсегу од 6–8,5.

Термалне воде имају највећу вредност рН до 11,5.

Према рН вредностима природне воде се могу сврстати у следеће групе (Ђармати и др., 2007):

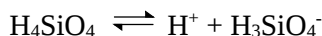
- јако киселе воде (рН < 3);
- киселе воде (рН 3–5);
- слабо киселе воде (рН 5–6,5);
- неутралне воде (рН 6,5–7,5);
- слабо алкалне воде (рН 7,5–8,5);
- алкалне воде (рН 8,5–9,5);
- јако алкалне воде (рН > 9,5).

6.2.9. Силицијум

Силицијум је присутан у малој концентracији у површинским водама, иако се у земљиној кори налази у знатној количини, одакле и долази у природне воде. Поједини организми силицијум из земље користе за изградњу скелетног омотача.

Силицијум се може наћи у органском и неорганском облику.

Растворљивост силицијума у природним водама зависи од температуре (повећава се са повишењем температуре), минерализације воде, рН вредности воде, присуства CO_2 . Растворен у води силицијум се налази у облику силицијумових²⁶ и полисилицијумових киселина²⁷, као и у облику колоида типа $x\text{SiO}_2 \cdot y\text{H}_2\text{O}$. Сматра се да у води доминира ортосилицијумова киселина H_4SiO_4 , чија се дисоцијација може представити једначином:



Количина H_4SiO_4 и H_3SiO_4^- у води зависи од рН вредност воде. Највећу концентрацију силицијума имају термалне воде, као и воде у областима вулканских активности, угљенокиселе минералне воде (Ђармати и др., 2007).

²⁶ Силицијумова киселина је опште име за фамилију хемијских једињења елемента силицијума, водоника, и кисеоника, са општом формулом $[\text{SiO}_x(\text{OH})_{4-2x}]_n$. Неке од једноставних силицијумових киселина се идентификоване у веома разблаженим воденим растворима, нпр. метасилицијумова киселина (H_2SiO_3), ортосилицијумова киселина (H_4SiO_4), дисилицијумова киселина ($\text{H}_2\text{Si}_2\text{O}_5$), и пиросилицијумова киселина ($\text{H}_6\text{Si}_2\text{O}_7$).

²⁷ Киселине са једним атомом силицијума у свом молекулу називају се силицијумове, а оне са више атома су полисилицијумове киселине.

6.3. Биогене материје

Под појмом биогене материје у води подразумевамо оне хемијске елементе и једињења који улазе у састав живих организама и неопходни су за постојање живота у воденој средини. У овом тексту биће речи само о азоту, фосфору и њиховим једињењима. Концентрација биогених елемената у води зависи од интензитета биохемијских и биолошких процеса који се у њој обављају (Веселиновић и др., 1995).

6.3.1. Азот и његова једињења

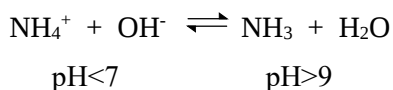
Азот је један од основних елемената грађе свих живих организама. У природне воде доспева атмосферским падавинама, биогеним процесима, али и антропогеном активношћу (спирањем земљишта третираног ђубривом, отпадним водама и друго). Азот из ваздуха у природне воде долази процесом дифузије као елементарни азот (N_2) у гасовитом стању. Гасовит азот могу да усвоје само микроорганизми – цијанобактерије и преведу у амонијак и друге молекуле, што се назива *процес азотофоксације*. Виши организми, за своје животне потребе, могу да користе азот једино у облику тих једињења. Из тих разлога се азот у природним водама јавља као саставни хемијски елемент неорганских и органских једињења.

Неоргански азот се јавља у:

- јонизованом облику – јони амонијака (NH_4^+), нитрита (NO_2^-), нитрата (NO_3^-), који су међусобно повезани, односно прелазе из једног у други облик,
- нејонизованом облику – растворен гас амонијак (NH_3) и молекуларни елементарни азот (N_2).

Органски облици азота у природним водама су многобројни, а то су првенствено аминокиселине, амини, протеини, хуминске киселине и друго.

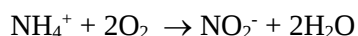
Нејонизован и јонизован неоргански облик амонијака, односно растворени гас амонијак (NH_3) и амонијум јон (NH_4^+) се налазе у равнотежи:



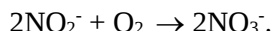
Који од облика ће преовладати зависи од pH водене средине. Када је pH вредност мања од 7 преовладаће јонизовани облик, односно амонијум јон (NH_4^+), а уколико је pH воде већа од 9 присутан је нејонизовани облик амонијака (NH_3). Гасовити амонијак присутан у води је токсичан за живе организме, и његова токсичност је неколико пута већа од токсичности амонијум јона кога водене алге и биљке користе за исхрану. Количина амонијум јона, нитрита и нитрата у природним водама је мала (стоти или десети делови милиграма у 1 воде), осим код вода у ванредним ситуацијама или код загађених вода (Tchobanoglous, Burton, & Stensel, 2003).

Амонијум јон је непостојан у присуству кисеоника, тако да се оксидује под утицајем бактерија *нитрификатора* у нитрите и нитрате. Процес оксидације амонијака врши се у две фазе:

- У првој фази оксидације амонијум јон прелази у нитритни јон (NO_2^-):

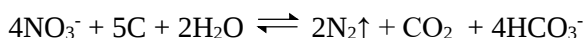


- Друга фаза је оксидација непостојаних нитритних јона до нитрата (NO_3^-):



Процеси су егзотермни и могу се одвијати само у аеробним условима. Енергију која се ослобађа бактерије користе за свој развој. У слатким водама нитрати се не акумулирају, јер их користе биљке. Међутим, садржај нитрата у тим водама зависи од односа између прилива и искоришћавања од стране биљних организама. Код подземних вода природно концентрација нитрата је веома мала (стоти део милиграма на литар).

Супротно претходним процесима, који се обављају у присуству кисеоника, у недостатку кисеоника долази до процеса *денитрификације*. То је процес којим се везани азот редукује до слободног гасовитог облика (N_2):



Овај процес је неповољан за живе организме, пошто азот у слободном стању дифундује у атмосферу, па га нижи организми не могу користити.

Азотни циклус се може приказати шемом:



У органском облику азот се јавља као саставни елемент аминокиселина, протеина, ензима, односно органских једињења која су одговорна за биохемијске процесе и грађу живих организама. Органски облици азота, у воденим срединама, налазе се као продукти разних биохемијских процеса, али и као последица изумирања организама и распадања производа њихове животне активности. *Регенерација азота* је процес преласка сложених органских облика азота у простије неорганске минералне облике. Крајњи производ трансформације сложених азотних органских једињења у неорганска је амонијак.

У ком облику ће се азот наћи у природним водама зависи од воденог режима и од услова при којима доспева у воду. За време поплава појачано је спирање органске материје са површине тла, па се у води могу наћи органски облици азота у повећаним концентрацијама. У летњем периоду водени организми за метаболичке процесе користе растворена једињења азота, тако да се његова концентрација смањује.

У последње време количина азотних једињења, која доспева у воде из атмосфере, знатно се повећала, с обзиром на то да је повећано њихово антропогено уношење у атмосферу. Неоргански и органски облици азота из ваздуха могу доспети у водене средине у растворном облику, адсорбовани на честице ваздуха или у облику органских једињења (Tchobanoglous, Burton, & Stensel, 2003).

6.3.2. Фосфор и његова једињења

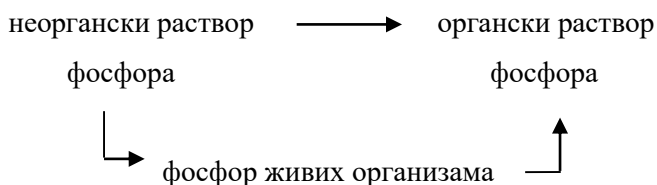
Фосфор је такође значајан биогени елемент, али је концентрација његових једињења у природним водама веома мала и варира у зависности од геохемијске структуре региона. Највећа концентрација фосфора је у водама које су богате органским материјалом, као што су мочваре и мочварна језера.

У воде доспева растварањем фосфатних стена, разградњом биогеног материјала, али и антропогено (испирањем земљишта које је третирано фосфорним ђубривом,

индустријским и комуналним отпадним водама). Највећа количина неорганских једињења фосфора у природне воде доспева испирањем различитих облика калцијум фосфата²⁸ (минерал апатит), који улази у састав еруптивних и седиментних стена.

У природним водама фосфор је присутан у облику неорганских једињења (ортофосфати и пирофосфати²⁹) и органских једињења. Од укупне количине фосфора, неорганском облику припада око 5% и то су углавном растворни ортофосфати (PO_4^{3-}), а остало су органски фосфати. За процесе фотосинтезе, односно биолошке активности алги и осталог воденог биља користе се ортофосфати. Међутим њихов повећани унос може довести до појаве *еутрофикације*.³⁰

Размена фосфора између његовог неорганског и органског облика може се приказати шемом:



Процесима животне активности организама и разлагањем органске материје врши се размена фосфора, и већи део фосфора који су користиле биљке и животиње враћа се у воду. Због ниске растворљивости фосфорних једињења и његове интензивне апсорпције од стране живих бића, фосфор се у природним водама налази у незнатним количинама. Значајно смањење концентрације фосфора до кога може да дође због интензивног процеса фотосинтезе негативно утиче на раст и развој водених биљака.

Повећана концентрација фосфора указује на разлагања сложених органских материја и на загађеност природних вода отпадним водама или водама са пољопривредног земљишта (Tchobanoglous, Burton, & Stensel, 2003).

6.4. Микроелементи

Поред набројаних хемијских елемената, у природним водама се налазе и они елементи чија је количина веома мала па се сврставају у групу микроелемената природних вода. Могу се класификовати као: најчешћи катјони и анјони природних вода, јони тешких метала, елементи који образују комплексе и радиоактивни елементи (Clesceri, Greenberg, & Eaton, 1998).

Најчешћи анјони су: бромиди (Br^-), јодиди (I^-), флуориди (F^-) и други, а најчешћи катјони су јони литијума (Li^+), рубидијума (Rb^+), цезијума (Cs^+), баријума (Ba^{2+}) и други. У јоне тешких метала спадају: злато (Au^+), сребро (Ag^+), бакар (Cu^{2+}), кадмијум (Cd^{2+}), никл (Ni^{2+}) и други. Елементи који образују комплексе су најчешће: молибден

²⁸ Калцијум фосфати је заједнички назив за има фамилије минерала који садрже јоне калцијума (Ca^{2+}) заједно са ортофосфатом (PO_4^{3-}), метафосфатом или пирофосфатом ($\text{P}_2\text{O}_7^{4-}$), а у неким случајевима и јоне водоника и хидроксил групу.

²⁹ Ортофосфати су соли ортофосфорне киселине (H_3PO_4), а пирофосфати су соли пирофосфорне киселине ($\text{H}_4\text{P}_2\text{O}_7$).

³⁰ Еутрофикација воде или цветање воде је процес обогаћивања воде нутријентима, што доводи до пренаможености водених биљака, најчешће алги, и има негативне последице по водени живи свет.

(Mo), хром (Cr), ванадијум (V) и други (Clesceri, Greenberg, & Eaton, 1998).

Микроелементи имају значајну улогу у животним процесима, тако да њихов недостатак или повећана концентрација у живим организмима проузрокује различита обољења. Њихове концентрације у води и земљишту су различите за поједине територије, односно могу бити карактеристично повећане или смањене. Последица тога су специфични здравствени поремећаји код становништва, који доводе до болести познате као ендемске болести.³¹

Земљина кора садржи **бромиде (Br⁻)** у незнатним количинама, и то углавном у раствореном облику. Концентрације бромида у природним водама су мање од концентрација хлорида. Највећа количина бромида се може наћи у неким сланим језерима, сланим нафтним лежиштима и у воденим растворима лежишта соли. Минералне воде могу имати релативно велике количине бромида, од 10 mg/l до 50 mg/l. У подземним водама садржај бромида расте са порастом минерализације.

У природним водама **јодида (I⁻)** има много мање од бромида. Већа количина јодида среће се у водама нафтоносних лежишта. У сланим језерима углавном нема јодида, али их има у морској води (око 0,05 mg/l). Подземне воде имају веома мало јодида (стотим и хиљадитим деловима милиграма у једном литру). Повећан садржај јодида у подземним водама последица је повећане количине у земљишту и пољопривредним културама. На местима где је уочена повећана концентрација јодида може се јавити ендемско обољење *тироидне жлезде*.

Количина **флуорида (F⁻)** у природним водама је важан параметар, јер се сматра да низак али и висок садржај флуорида у водама за пиће има утицаја на квалитет зуба и коштаног ткива човека. Количина флуорида у води река, језера и артерских бушотина је до 0,3 mg/l, а у морској води око 1 mg/l. У подземним водама, због присуства минерала који садрже флуорида, количина је нешто већа, а само изузетно 5–6 mg/l. Неки минерални извори и слана језера могу имати веома високу концентрацију флуорида (преко 32 mg/l).

Иако је **гвожђе (Fe)** веома заступљен елемент у Земљиној кори, због мале миграционе способности његова концентрација у природним водама је незнатна. Јавља се углавном у двовалентном (Fe²⁺) и тровалентном (Fe³⁺) оксидационом облику. Двовалентни јон гвожђа најбољу миграциону способност има у киселим водама (pH < 5,5), слабије у неутралним, а у алкалним водама веома мало. У присуству слободног кисеоника оксид двовалентног гвожђа (FeO) је непостојан и лако прелази у оксид тровалентног гвожђа (Fe₂O₃) који је мале миграционе способности. Процес оксидације Fe²⁺ обавља се у присуству *ферозних бактерија*. Тровалентно гвожђе је карактеристично за подземне воде. Међутим, постоје киселе воде (pH < 4) где је количина Fe²⁺ и до стотину милиграма у литру.

Хемијски елемент **стронцијум (Sr)** припада групи земноалкалних метала, као што су калцијум и магнезијум, али за разлику од њих у природним водама је веома мало заступљен. Разлог томе је слаба растворљивост његових једињења са сумпором. Концентрација стронцијума је реда микрограма по литру слатке воде, мада има реона са повећаном концентрацијом. Повећана концентрација овог елемента у земљишту и води доводи до повећане количине у прехранбеним производима, што је

³¹ Позната је ендемска гушавост проузрокована недостатком јода у локалној животnoj средини.

карактеристично за поједине територије, где људи обољевају од *уровске болести*. Сматра се да је етиопатогенеза ендемске, уровске³², болести повећана количина стронцијума у организму човека.

Природне воде скоро увек садрже **никл (Ni)** као микроелемент. Речне воде имају веома ниску концентрацију никла (око 3 µg/l), али се знатно већа концентрација (20 µg/l) може наћи у подземним водама које су у додиру са рудама никла.

У природним водама **кобалт (Co)** се налази ређе него никал, због мање миграционе способности и мале количине кобалта у површинским минералима. Кобалт је биолошки активан елемент.

Манган (Mn) се такође природно, доста често, може наћи у води. Пошто је есенцијалан елемент за човека дозвољена концентрација у води је 0,05 mg/l. Међутим, у неким водама га има у већој концентрацији, што утиче на промену боје и других физичких особина воде.

Најзначајнији **радиокативни елементи** природних вода су уран и радијум³³. За човека то су токсични елементи, тако да садржај у води за пиће не сме бити већи од $5 \cdot 10^{-5}$ g/l за уран и за радијум $5 \cdot 10^{-11}$ g/l. При атомским и термонуклеарним пробама, као и од отпадака атомске индустрије и централа, настају радиоактивни елементи вештачког порекла који доспевају у атмосферу. Са атмосферским талозима радиоактивни елементи доспевају на површину земље и у водене акумулације. Инфилтрацијом кроз земљиште и површинске стене већи део радиоактивних елемената се адсорбује.

6.5. Органске материје

Органске материје се скоро увек, у различитим количинама, налазе у природним водама (Мариновић, 2013). Могу постојати као *природне органске материје (ПОМ)* или оне које су производ људске активности (Далмација и Иванчев-Тумбас, 2002). Извори природне органске материје у воденој средини су органске материје које улазе у састав живих организама и органске материје које су производи животних активности и процеса распадања. Могу да потичу из саме водене средине или са водоснабдевајућих површина. Највећа количина природне органске материје настаје хемијском и биолошком разградњом изумрлих ћелија.

Хумус представља површину земљине коре и обично је дебљине од неколико дециметара. Хумус чине комплексне природне материје које се формирају у земљишту од биљних и животињских остатака током процеса хумификације у коме учествују бактерије. Са хемијског аспекта хумусне материје су органске материје које чине: хумини, хуминске киселине, фулво киселине. Хумусно тло представља значајан извор природне органске материје. Спиратељем земљишног покривача испира се извесна количина хумусних материја и других производа насталих распадењем и хумификацијом, која даље одлази до водених средина. Подземне воде испод земљишта које је богато хумусним материјама обично садрже доста органских материја. Хуминске киселине због своје јаке киселости утичу на процесе разлагања

³² Уровска болест је добила назив по томе што се јавља у области Бајкалског и Сибирског терена. Манифестује се тешким обољевањем зглобова, а тело добија наказни изглед.

³³ Радијум настаје од урана, његово време полураспада је 1590 година.

стена разноврсног састава, а сасим тим и на формирање састава природних вода. У састав воденог хумуса улазе хемијска једињења: угљоводоници, масти, воскови и елементи пореклом из органских једињења (угљеник, водоник, азот, фосфор, сумпор, кисеоник).

Синтетичка органска једињења у природним водама представљају она органска једињења, која су производ људске активности. У синтетичка органска једињења спадају: пестициди, детерџенти, сапуни, нафтни деривати, растварачи и друго. Њихово присуство у природним водама утиче на квалитет воде, јер поспешују раст микроорганизама, који троше растворени кисеоник. Многа синтетичка једињења која доспеју у водене површине имају токсично, односно канцерогено дејство на организме. У густо насељеним местима и индустријски развијеним областима значајан извор органске материје у природним водама су индустријске и канализационе отпадне воде.

У природним водама непрекидно се одвијају сложени процеси стварања и разградње органске материје. Микроорганизама који живе у водама трансформишу сложене органске материје у просте, а при томе ослобођену енергију користе за своје животне активности. За раст и развој појединих микроорганизама неопходан је кисеоник – *аеробни микроорганизми*, док други своје животне активности обављају без присуства кисеоника – *анаеробни микроорганизми*. У аеробне микроорганизме спадају нитрификационе бактерије, које врше биолошку оксидацију амонијака са кисеоником до нитрита, а затим до нитрата. У анаеробне спадају бактерије које редукују сулфате до водоник-сулфид, за шта не користе кисеоник.

Процес разлагања органских материја је значајан јер се тиме у водама обнављају хемијски елементи неопходни за живе организме.³⁴ Међутим, при разградњи веће количине органских материја повећава се количина угљен-диоксида, што доводи до смањења рН вредности воде.

Количине разградиве органске материје у води се може одредити помоћу два параметра: хемијске потрошње кисеоника (НРК) и биолошке потрошње кисеоника (ВРК) (Tchobanoglous, Burton, & Stensel, 2003).

Хемијска потрошња кисеоника (НРК) представља меру садржаја органске материје у води, а аналитички се одређује на основу количине калијум-перманганата (KMnO_4), који се троши за њихову оксидацију. Што је већи садржај органске материје у вода, већи је и утрошак калијум-перманганата. Према Правилнику о хигијенској исправности воде за пиће (Службени гласник РС, бр. 28/2019) дозвољени утрошак KMnO_4 је до 8 mg/l.

Други важан параметар је *биолошка потрошња кисеоника* (ВРК), што представља количину кисеоника која је потребна за биохемијску оксидацију³⁵ органске материје у једном литру воде при одређеним условима. Воде са већим вредностима ВРК су неповољније за живе организме у води. Сматра се, да је потребно пет дана како би се разградио већи део (70%) присутних органских материја у води, и то на сталној температури воде од 20 °C, што се представља као ВРК₅. Овај параметар се одређује тако што се првог дана измери количина раствореног кисеоника у узорку, а затим и

³⁴ Овим процесом у природне воде нарочито доспевају угљеник, азот, фосфор, сумпор и други.

³⁵ Разлагање органских материја од стране аеробних микроорганизама.

након инкубационог периода од 5 дана на температури од 20 °C. Разлика између ове две вредности количине раствореног кисеоника представља вредност ВРК₅. Ова вредност није стварна вредност ВРК, јер биолошка оксидација органских материја траје дуже од пет дана. Око 95–99% оксидације се завршава тек после двадесет једног дана. Пошто је то дуг период да би се приказали резултати узима се петодневни период, за које време се 60–70% органске материје биолошки оксидује.

Неразградиве органске материје су оне које се веома споро разграђују или се уопште не разграђују. У ту групу спадају пестициди (нарочито органохлорни инсектициди), полихлоровани бифенили (РСВ)³⁶, детерџенти, деривати нафте и друго.

Воде дубљих хоризоната обично немају или имају веома малу количину органских материја, јер се филтрацијом кроз земљиште до нижих водених слојева органске материје оксидују и троше. Међутим, уколико постоји директан извор органске материје у нижим водоносним слојевима онда се у њима може очекивати повећана количина органских материја. Тако, подземне воде које су у додиру са нафтоносним слојевима и лежиштима угља садрже значајну количину органских материја.

6.6. Класификација природних вода на основу хемијског састава

Природне воде могу да се поделе на велики број класа у зависности од: доминантног јона или јонске групе, односа између групе јона, присутности карактеристичних компонената, садржаја соли и друго. До сад је објављен већи број класификација природних вода, али не постоји једна свеобухватна и универзална класификација.

Према укупној концентрацији растворених минералних соли, односно према општој минерализацији природне воде се класификују на:

Изузетно меке – садржај укупних соли је мањи од 0,2 g/l и то су најчешће воде у којима преовлађују хидрогенкарбонати;

Меке – садржај укупних соли је 0,2–0,5 g/l, такође преовлађују хидрогенкарбонати;

Знатно минерализоване – садржај укупних соли је 0,5–1,0 g/l, углавном су присутне соли карбоната и сулфата;

Укуса сличног морској води – садржај укупних соли је 1,0–3,0 g/l, преовлађују соли сулфата и хлорида;

Са високим салинитетом – садржај укупних соли је мањи од 3,0–10,0 g/l, углавном су заступљене соли хлорида. Таква је морска вода.

Веома слане воде – садржај укупних соли је већи од 35 g/l. У највећој количини су присутне хлоридне соли. Вода Мртвог мора припада овој класи, где је салинитет 70%.

Посебну групу природних вода чине термалне, минералне и радиоактивне воде. Оне углавном поседују лековита својства. Термалне воде су карактеристичне по температури вишој од 20 °C и садрже минерале и радиоактивне елементе. Такве воде

³⁶ Полихлоровани бифенили (PCB, енгл. *polychlorinated biphenyl*).

су бањске воде.³⁷ Према доминирајућим катјонима минералне воде могу бити: алкалне, земноалкалне и гвожђевите, а према доминантном ањону: хидрогенкарбонатне, карбонатне, хлоридне, сулфатне, сумпорасте, бромидне, јодидне. Подела вода се може извршити и према намени коришћења: за пиће, за рекреацију, техничка (индустријска вода), расхладна, медицинска...

У литератури се најчешће среће класификација природних вода по хемијском саставу коју је предложио руски научник Олег Александрович Алекин (Alekin, 1970). Класификација је иницијално дефинисана 1954. године, а заснива се на два принципа:

- принципу преовлађујућих јона и
- принципу односа између јона.

Преовлађујући јони, по Алекину, су јони са највећим релативним садржајем (изражен у процентима прерачунато на количину материје у еквивалентима).

Према критеријуму преовлађујућег или доминантног ањона, по Алекину, природне воде се деле на три *класе*:

- класу хидрокарбонатних вода (C),
- класу сулфатних вода (S) и
- класу хлоридних вода (Cl) .

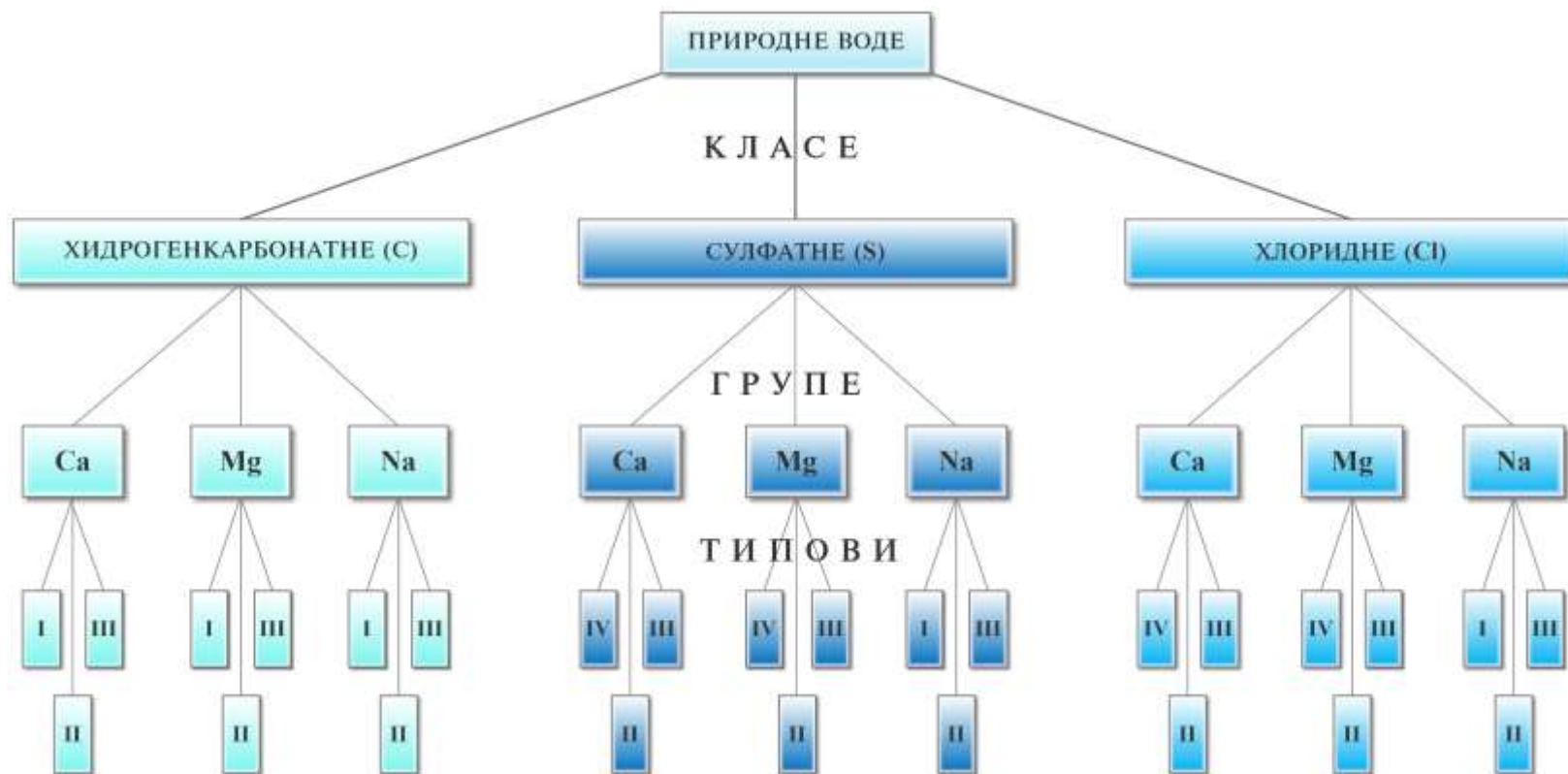
Слабо минерализоване воде река, језера и неке подземне воде чине хидрокарбонатну класу а високо минарализоване воде океана, мора и сланих језера чине класу хлоридних вода. По распрострањености и минерализацији воде сулфатне класе су на прелазу између хидрогенкарбонатних и хлоридних вода. Воде сулфатне класе воде порекло од различитих седиментних стена.

Према критеријуму преовлађујућег или доминантног катјона природне воде се деле на *групе*:

- калцијумову (Ca),
- магнезијумову (Mg) и
- натријумову (Na).

Групе се даље деле на типове који дају однос међу јонима, што је дато на слици 6.2.

³⁷ Једна од најтоплијих термалних вода у Европи су извори у Брањској бањи, где температура износи преко 90 °C.



Слика 6.2. Класификација површинских вода по Олегу Александровичу Алекину (Alekin, 1970)

- Код првог типа воде (I) однос јона је $\text{HCO}_3^- > \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$.

Природне воде овог типа су меке, настају при растварању еруптивних стена које садрже знатну количину натријума и калијума, па су ти јони и доминантни. Воде овог типа карактерише мала минерализација, изузетак су језера где нема отицања воде.

- Други тип воде (II) има следећи однос јона: $\text{HCO}_3^- < \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} < \text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{2-}$. Воде овог типа формирају састав као производ контакта воде са седиментним стенама и продуктима ерозије. То су воде већине река, језера и подземних вода ниске и умерене минерализације.
- Воде трећег типа (III) имају следећи однос јона: $\text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{2-} < \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ или $\text{Cl}^- > \text{Na}^+$. У ову групу спадају воде океана, мора, лимана, многих сланих језера и јако минерализоване подземне воде.
- Однос јона код четвртог типа воде (IV) је $\text{HCO}_3^- = 0$.

Према наведеној класификацији може се скраћено приказати састав воде. Класе, групе и типови у наведеној класификацији се означавају симболима. Класна припадност означава се симболом елемента доминантног анјона:

C – HCO_3^- ,

S – SO_4^{2-} ,

Cl – Cl^- .

Припадност групи, односно доминантни катјон, означава се симболом хемијског елемента (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+) у горњем десном углу код симбола за класну припадност.

На пример:

$\text{C}^{\text{Ca}^{2+}}$ – вода хидрогенкарбонатне класе, група калцијума, тип II

Cl^{Na^+} – вода хлоридне класе, група натријума, тип III.

У индексу десно доле означава се тип воде римским бројем: $\text{C}^{\text{Ca}}_{\text{II}}$, $\text{Cl}^{\text{Na}}_{\text{III}}$

Питања за проверу знања:

1. Како се могу природне воде класификовати према хемијском саставу?
2. Које су основне гасовите компоненте које се могу наћи у природним водама?
3. Објаснити порекло и значај кисеоника у природним водама.
4. Дефинисати и објаснити скраћенице ВРК и НРК.
5. Објаснити порекло и значај угљеник(IV)-оксида у природним водама.
6. Објаснити порекло и особину токсичности водоник-сулфида у природним водама.
7. У којим природним водама има највише метана?.
8. Који основни јони се могу наћи у природним водама?
9. Објаснити порекло и значај хлорида у природним водама.
10. Објаснити порекло и значај сулфатних јона у природним водама.
11. Како настају хидрогенкарбонатни јони у природним водама и који је њихов значај?
12. Који облик дисоцијације угљене киселине је доминантан у неутралним и слабо алкалним и алкалним водама?
13. Објаснити порекло и значај јона натријума и калијума у природним водама.
14. Објаснити порекло и значај калцијума и магнезијума у природним водама.
15. Шта је тврдоћа воде и како се одређује?
16. Зашто су значајни јони водоника у природним водама?
17. Навести неке параметре природних вода од којих зависи рН вредност?
18. Објаснити порекло и значај силицијума у природним водама.
19. Објаснити порекло и значај азота и азотних једињења у природним водама.
20. Објаснити у ком облику се најчешће налази фосфор у природним водама.
21. Објаснити порекло и значај присуства органске материје у природним водама.
22. Који је значај микроорганизама у природним водама
23. Објаснити порекло и значај микроелемената у природним водама.
24. Који радиоактивни елементи се најчешће налазе у природним водама и које је њихово порекло?
25. Која се најчешће класификација природних вода користи?
26. Објаснити како се класификују природне воде по класама и групама.
27. Који типови природних вода постоје према класификацији по Алекину?

Литература:

1. Alekin, O. (1970). *Fundamental Hydrochemistry*. Leningrad: Gidrometeoizdat.
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., и Иванчев-Тумбас, И. (2002). *Природне органске материје у води*. Нови Сад: Департман за хемију, Природно-математички факултет, Универзитет 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. 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.
7. Јаковљевић, М., и Пантовић, М. (1991). *Хемија земљишта и вода*. Београд: Пољопривредни факултет Универзитета у Београду и Научна књига.
8. Кристофоровић-Илић, М., Радовановић, М., Вајагић, Л., Крњетин, С., Обркнежев, Р., Јефтић, З., и Фолић, Р. (1998). *Комунална хигијена*. Нови Сад: Прометеј.
9. Кукучка, М., и Кукучка, Н. (2013). *Физичко-хемијски састав природних вода*. Београд: Техничко-металуршки факултет Универзитета у Београду.
10. 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.
11. Петровић, Ј., Богдановић, Ж., и Павић, Д. (2004). *Хидрологија: Подземне воде*. Нови Сад: Департман за географију, туризам и хотелијерство, Природно-математички факултет, Универзитет у Новом Саду.
12. Почуча, Н. (2008). *Екохидрологија (Загађење и заштита вода)*. Београд: Грађевинска књига.
13. Tchobanoglous, G. Burton, F., & Stensel, D. (2003). *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse*. New York: McGraw-Hill Science, Engineering and Mathematics.
14. Clesceri, L., Greenberg, A., & Eaton, A. (1998). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. Washington: American Public Health Association.

7. ПРОЦЕСИ У ПРИРОДНИМ ВОДАМА

Циљеви поглавља:

- Стицање знања о основним процесима који се одигравају у води

Резиме:

Природне воде су изузетно сложени системи. Супстанце природног или антропогеног порекла које се налазе у води подлежу различитим физичким, хемијским и биолошким процесима, који утичу на облик налажења, понашање и судбину супстанци у воденој средини. У овом поглављу објашњени су најзначајнији процеси који се одвијају у воденим срединама: растварање, адсорпција, испирање, испаравање, фотохемијски и оксидо-редукциони процеси, хидролиза, метаболички процеси и самопречишћавање воде. Адсорпција је процес концентрисања честица неке супстанце на површинском слоју друге супстанце. Испирање је процес којим у природне воде доспевају различите супстанце. Процес испаравања са водених површина је универзална појава на сваком месту, на Земљиној површини где је атмосфера незасићена воденом паром. Фотохемијски процеси у воденој средини се врше под утицајем Сунчевог зрачења таласних дужина од 240 до 700 nm. Оксидо-редукциони процеси су од значаја за водене системе јер се њима могу објаснити понашања многих супстанци у води. Хидролиза је процес разлагања супстанци у води. Метаболички процеси се обављају енергијом из самих биолошких система, и скоро увек се катализују ензимима. Самопречишћавање или аутопурификација воде је природан процес регенерације, који се завршава смањењем или потпуним уклањањем загађујућих материја.

Summary:

Natural waters are extremely complex systems. Substances of natural or anthropogenic origin found in water undergo various physical, chemical, and biological processes, that influence the form, behavior, and fate of substances in the aquatic environment. This chapter is dedicated to the processes that are most important for the aquatic environment: dissolution, adsorption, surface runoff, evaporation, photochemical and redox processes, hydrolysis, metabolic processes, and self-purification of water. Adsorption is the process of concentrating particles of one substance on the surface layer of another substance. Surface runoff is a process through which various substances get into natural waters. The process of evaporation from water surfaces is a universal phenomenon in every place on the surface of the Earth where the atmosphere is unsaturated with water vapor. Photochemical processes in the aquatic environment are performed under the influence of solar radiation ranging between 240 and 700 nm. Redox processes are important for aquatic systems because they can explain the behavior of many substances in water. Hydrolysis is the process of decomposing substances in water. Metabolic processes use energy from the biological systems themselves and are almost always catalyzed by enzymes. Self-purification or autopurification of water is a natural regeneration process, which ends with the reduction or complete removal of pollutants.

Природне воде су изузетно сложени системи. Супстанце природног или антропогеног порекла које се налазе у води подлежу различитим процесима. Процеси су разноврсни и дефинишу облик налажења, понашање и судбину супстанци у воденој средини. Неки од процеса који се дешавају у воденој средини су: растварање, адсорпција, испирање, испаравање, фотохемијски процеси, хидролиза, оксидоредукција, метаболички процеси и биоакумулација. Поред поменутих, природне воде имају способност самопречишћавања или аутопурификације, што представља скуп разноврсних спонтаних процеса ради регенерације и одржања њиховог квалитета (Ђуковић и др., 2000).

7.1. Растварање

Вода је позната као добар растварач јер се у њој могу растворити супстанце у сва три агрегатна стања. Сам процес растварања и услови потребни за растварање неорганских супстанци у води детаљније су објашњени у поглављима 2.2.6. и 5.2.9. Неорганска једињења настала поларним хемијским везама добро се растварају у води. Растворљивост органских супстанци у води првенствено зависи од поларности и молекулске масе органског једињења. Поларна органска једињења, а најчешће су то она која садрже азот и кисеоник, добро се растварају у води. Органска једињења веће молекулске масе слабије се растварају у води у односу на једињења мање молекулске масе, што је приказано у табели 7.1 (Јаковљевић и Пантовић, 1991).

Табела 7.1. Растворљивост неких органских једињења у зависности од молекулске масе (Јаковљевић и Пантовић, 1991)

Органско једињење	Молекулска формула	Релативна молекулска маса	Растворљивост (g/l) на одређеној температури
Бензен	C_6H_6	78	1,78 (15 °C)
Толуен	C_7H_8	92	0,47 (20-25 °C)
o-Ксилен	C_8H_{10}	106	0,18 (25 °C)

7.2. Адсорпција

Процес концентрисања честица неке супстанце на површинском слоју друге супстанце назива се *адсорпција*. Процес адсорпције је брз, селективан, коме подлежу супстанце у сва три агрегатна стања. Супстанца која врши адсорпцију назива се *адсорбент*, а она која се адсорбује је *адсорптив*. Адсорбент је бољи уколико је његова површина порозна. Процес адсорпције је повратан, а супротан процес је *десорпција*. Ова два процеса успостављају стање динамичке равнотеже – *адсорпциона равнотежа* (Стојановић и Голубовић, 2014).

У воденој средини процес адсорпције се одвија на површини суспендованих минералних или органских честица и седимената воде. Везивање супстанце за адсорбента може бити физичко или хемијско. Код физичке адсорпције веза је слабија, па се адсорбована супстанца лако десорбује и поново појављује у води. Хемијска адсорпција се остварује хемијским везама, спорије се одиграва од физичке адсорпције и углавном је иреверзибилна. Процес хемијске адсорпције може се остварити и при веома ниским концентрацијама адсорбента, што није случај са процесом физичке адсорпције. У воденој средини се процесом адсорпције врши удаљавање одређених

супстанци из воде, али се оне тако адсорбоване (суспендованим честицама или седиментом) таложе при дну водене средине и ту задржају дуже време. Адсорбовањем супстанци за седимент успорава се процес њихове микобиолошке разградње, интензитет испаравања и инхибира процес фотолизе. Међутим, под одређеним условима (покрети воде, коментенција јона или друго) адсорбоване супстанце са дна се могу поново појавити у воденој средини (десорбовати), чиме додатно контаминирају воду.

Дакле, овим процесом се супстанце удаљавају из воде, али не и из водене средине (Веселиновић и др., 1995).

7.3. Испирање

Испирање у основи представља физичко-хемијски процес који се дешава при интеракцији течности, односно воде, са чврстом средином. Процесом испирања течна фаза се обогађује састојцима из чврсте средине кроз коју пролази.

Овим процесом у природне воде доспевају различите супстанце, па се вода обогађује растворним, слабо растворним или нерастворним компонентама средине, односно тла. Процес се директно не одиграва у води али је важан за формирање састава природних вода и њеног загађивања.

За процес испирања значај имају атмосферске падавине, којима се спирају материје са површинског слоја земљишта али и са површине ка дубим слојевима земљишта. Супротан процес настаје када се земља исуши, при чему се вода капиларним сила из унутрашњости креће ка површини. На основу тога можемо рећи да је процес испирања реверзибилан.

Супстанце које се добро растварају у води лакше се и испирају из земљишта. За оцену способности испирања супстанци из земљишта као критеријуми могу се узети коефицијент адсорпције, растворљивост и наелектрисање. Тако се азот лакше испира када је у облику нитрата, а теже када се налази у облику амонијум јона.

Процес испирања је сложенији уколико се материја разграђује у земљишту и ако долази до метаболичких процеса (Веселиновић и др., 1995).

7.4. Испаравање

Испаравање је сталан процес у природи и дефинише се као прелазак материје у гасовиту фазу. Брзина испаравања зависи од низа фактора, као што су: физичко-хемијске карактеристике супстанце која испарава, односно њене способности да прелази из једне у другу фазу, међусобне реакције супстанце са површином са које испарава, температура, струјање ваздуха, густина ваздуха уз површину испаравања и друго. Испаравање са течне површине у функцији је напона паре течности.

Процес испаравања са водених површина је универзална појава на сваком месту на земљиној површини где је атмосфера незасићена воденом паром. Процес се дешава на било којој температури ваздуха. Уопштено, испаравање са водених површина зависи од климатских услова одређеног подручја. Када је клима влажна испаравање је веома мало, јер у атмосфери постоји велика количина влаге. Код сувих клима испаравање је интензивно. Процесом испаравања могу се из воде одстранити испарљиве растворене компоненте. Међутим, испаравањем воде повећава се концентрација састојака који су

остали у воденој средини.

Разликују се два основна облика испаравања: испаравање са слободне водене површине и збирно испаравање или евапотранспирација. За водене површине процес испаравања супстанци је од значаја, јер се тиме могу елиминисати токсичне материје из водене средине (Веселиновић и др., 1995).

7.5. Фотохемијски процеси

Фотохемијски процеси су хемијски процеси који се обављају под дејством светлосног зрачења.

У воденој средини значајни су фотохемијски процеси који настају под утицајем електромагнетног зрачења у блиској ултраљубичастој и видљивој области спектра, односно у опсегу таласних дужина од 240–700 nm. Апсорпцијом зрачења поменутих таласних дужина долази до промена у молекулима које се називају фотохемијске промене.

У природним водама фотохемијске процесе изазива Сунчево зрачење, док су енергије јонизујућег и инфрацрвеног зрачења недовољне да би произвеле промене у молекулима.

Процес се одвија у три фазе које обухватају:

- апсорпцију зрачења, што доводи до преласка честице из основног у побуђено стање,
- примарни фотохемијски процес ради стварања непобуђеног стања и, као крајње,
- секундарне или топлотне реакције настале примарним фотохемијским реакцијама.

Фотохемијски процеси у природним водама најчешће се манифестују као фотолитичке реакције, од којих су значајне оне са учешћем микроорганизама (алги) за разлагање органских супстанци (Веселиновић и др., 1995).

7.6. Оксидо-редукциони процеси

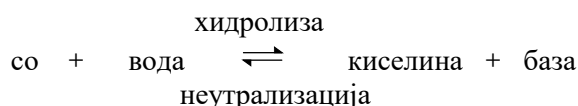
Оксидо-редукциони процеси представљају врсту хемијских реакција у којима се истовремено дешава процес примања и отпуштања електрона. Оксидација је процес отпуштања електрона, а редукција процес примања електрона.

Ови процеси су од изузетног значаја за водене системе, јер се њима могу објаснити понашања многих супстанци у води. Реакција оксидације је нарочито значајна за процесе трансформације атмосферског угљен-диоксида и азота у воденој средини, затим за аеробне процесе и друго, док се реакцијом редукције у седименту стварају метан и водоник-сулфид. Оксидовани и редуковани облици супстанци се разликују по биолошким и еколошким особинама.

Тако се жива може наћи у води у оксидованом облику као двовалентни јон Hg^{2+} који микроорганизми преводе у изузетно токсичан органски облик, диметилживу $(\text{CH}_3)_2\text{Hg}$ (Кристофоровић-Илић и др., 1998).

7.7. Хидролиза

Хидролиза је процес који подразумева разлагање хемијских једињења под дејством воде. У ужем смислу, под хидролизом подразумева се реакција соли са водом, при чему настају киселина и база:



Процесу хидролизе не подлежу соли које су настале из јаке киселине и јаке базе, као што су: натријум-хлорид (NaCl), калијум-нитрат (KNO₃), натријум-сулфат (Na₂SO₄) и друге, а њихови раствори реагују неутрално.

У воденој средини хидролизом се повећава концентрација дисосованих јона, што утиче на киселинско-базну равнотежу, односно рН вредност средине. Свака промена рН вредности воде негативно утиче на живе организме, али и хемијско понашање присутних супстанци. Такође, реакцијом хидролизе не морају увек да настану нетоксична или мање токсична једињења, већ се могу добити и значајно токсичнија.

7.8. Метаболички процеси

Поред наведених процеса у воденој средини се одвијају и разноврсни метаболички процеси, које каталишу микроорганизми. Метаболички процеси могу нарушити квалитет вода, уколико су метаболити токсичне супстанце. Преживљавање водених организама условљено је њиховом способношћу да савладају деловање токсичних супстанци.

Многа истраживања указују да су концентрације неких токсичних супстанци значајно веће у воденим организмима него у самој води. То је значајно, јер се процесом биоаккумуляције токсична супстанца елиминише из воде, али не и из водене средине.

Процес акумулације је сложен и зависи од многих услова укључујући факторе средине и карактеристике самог организма. Такође, познато је да се ланцем исхране токсична материја преноси до човека. Такав случај је са пестицидом ДДТ, који је последњих година забрањен али због постојаности самог једињења може се још увек наћи у воденим организмима у знатно већој количини него у самој води.

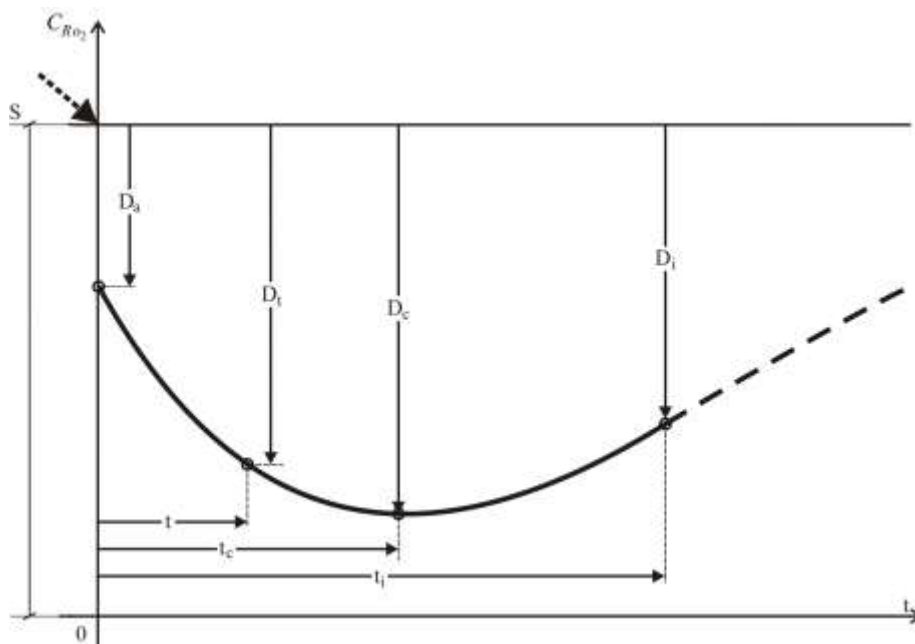
7.9. Самопречишћавање воде

Способност самопречишћавања или *аутопурификације природних водотокова* представља изузетно значајан процес за њихово одржање (Почуча, 2008).

То је природан процес регенерације, који се завршава смањењем или потпуним уклањањем загађујућих материја, односно успостављањем истог или скоро истог стања које је вода имала пре мешања са загађујућим компонентама (Далмација, 2000).

Самопречишћавање воде је скуп физичких, хемијских, микробиолошких и хидробиолошких процеса и интеракција. Обавља се спонтано, тако да се загађена вода може регенерисати у току дужег или краћег временског периода. Класичан пример процеса самопречишћавања природних вода представља циклус обнављања концентрације раствореног кисеоника у природним водама. Наиме, када извесна

количина органске материје доспе у природну водену средину, биолошком активношћу водених организама долази до претварања органске материје у минералне производе.³⁸ У Овој фази је потрошња раствореног кисеоника већа од количине које се добија путем природне аерације тако да је јавља смањење концентрације кисеоника – дефицит кисеоника. Након одређеног времена, када се већи део биоразградиве органске материје минерализује, концентрација раствореног кисеоника се повећава и враћа на почетно стање, слика 7.1 (Tchobanoglous, Burton, & Stensel, 2003).



Слика 7.1. Крива дефицита кисеоника (модификовано према Tchobanoglous, Burton, & Stensel, 2003)

Ознаке на слици имају следеће значење:

- црном стрелицом дефинисано је време (у простору: тачка уливања) у коме долази до уливања одређене количине загађења у природни реципијент (најчешће отпадних вода канализације),
- S - представља сатурациону (равнотежну) концентрацију кисоника, при датим утицајним параметрима (температура, парцијални присак кисеоника, количина растворених соли, итд) која у случају претходно незагађеног реципијента има вредност око 10 mg/l,
- C_{RO_2} - представља концентрацију раствореног кисеоника у води, у mg/l,
- t - представља време, у данима,
- D_a - представља иницијални дефицит у зони мешања речне и загађене воде, који се јавља само као резултат мешања два раствора различитих концентрација,
- D_t - представља дефицит кисеоника у одређеном временском тренутку t ,
- D_c - представља критични дефицит кисеоника (када је вредности дефицита кисеоника највећа, концентрација раствореног кисеоника је најмања,

³⁸ На пример, у последњој фази минерализације азотне органске материје настају нитрати.

обзиром да су обрнуто пропорционални). Ради одржања виших акватичних организама, концентрација растороног кисеоника у реци - C_{RO_2} , не сме да буде нижа од вредности биолошког минимума, који има вредност око 5 mg/l,

- D_1 - представља дефицит кисеоника у тачки инфлексије, односно у тренутку када крива дефицита кисеоника мења свој нагиб.

За процес регенерације водотока заслужни су организми: рибе, ракови, шкољке и микроорганизми који насељавају водену средину. Они уситњавају придошле материје, разграђују их и талоче на дно водене средине у виду муља, кога даље микроорганизми разлажу на минералне соли (Ђармати и др., 2007).

У процесу разградње органске материје микроорганизми који учествују су из групе редуцента, јер за свој рад троше растворени кисеоник, чиме смањују његову концентрацију у води. Смањење количине раствореног кисеоника, односно дефицит кисеоника у води у односу на стање пре уношења органског загађења може се надокнадити кисеоником из ваздуха. Та појава се назива *реаерација* и израженија је уколико је дефицит кисеоника у води већи и уколико је снажније турбулентно кретање водене средине. Процес турбуленције је значајан јер доприноси природном аерисању водене средине, односно преласаку гасова (кисеоника) у воду кроз додирну граничну површину (Гаћеша и Клашња, 1994).

У пракси процеси уношења и изношења кисеоника из водене средине зависе од више чинилаца. Одређивање просторне и временске расподеле раствореног кисеоника у некој воденој средини назива се *биланс кисеоника*.

Питања за проверу знања:

1. Који се процеси најчешће одвијају у водама?
2. Објаснити значај процеса у природним водама.
3. Објаснити процес растварања у води.
4. Објаснити процес адсорпције.
5. Дефинисати процес испирања.
6. Објаснити процес испаравања супстанци из водене средине.
7. Који је значај фотохемијских процеса у воденој средини?
8. Објаснити процес оксидо-редукције у води.
9. Објаснити процес хидролизе и значај за водене средине.
10. Шта се подразумева под појмом метаболички процеси у води?
11. Објаснити процес самопречишћавања 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. (2000). *Контрола квалитета вода у оквиру управљања квалитетом*. Нови Сад: Институт за хемију, Природно-математички факултет Универзитета у Новом Саду.
4. 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.
5. Ђуковић, Ј., Ђукић, Б., Лазић, Д., и Марсенић, М. (2000). *Технологија вода*. Београд: Технолошки факултет Универзитета у Београду.
6. Јаковљевић, М., и Пантовић, М. (1991). *Хемија земљишта и вода*. Београд: Пољопривредни факултет Универзитета у Београду и Научна књига.
7. Кристофоровић-Илић, М., Радовановић, М., Вајагић, Л., Крњетин, С., Обркнежев, Р., Јефтић, З., и Фолић, Р. (1998). *Комунална хигијена*. Нови Сад: Прометеј.
8. Почуча, Н. (2008). *Екохидрологија (Загађење и заштита вода)*. Београд: Грађевинска књига.
9. Стојановић, М., и Голубовић, Т. (2014). *Основи опште и неорганске хемије са задацима*. Ниш: Факултет заштите на раду у Нишу Универзитета у Нишу.
10. Tchobanoglous, G. Burton, F., & Stensel. D. (2003). *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse*. New York: McGraw-Hill Science, Engineering and Mathematics.

