



УНИВЕРЗИТЕТ У НОВОМ САДУ
ПОЉОПРИВРЕДНИ ФАКУЛТЕТ

ХИДРОЕКОЛОГИЈА



ХИДРОЕКОЛОГИЈА

Др Јасна Грабић



ЕДИЦИЈА „ОСНОВНИ УЏБЕНИК”

Оснивач и издавач едиције

*Универзитет у Новом Саду, Пољопривредни факултет
Трг Доситеја Обрадовића 8, 21000 Нови Сад*

Година оснивања:

1954

Главни и одговорни уредник едиције

*Др Недељко Тица, редовни професор,
декан Пољопривредног факултета*

Чланови комисије за издавачку делатност

Др Бранислав Влаховић, редовни професор, председник

Др Ивана Давидов, ванредни професор, члан

Др Дејан Беуковић, доцент, члан

Др Ксенија Мачкић, доцент, члан

ISBN 978-86-7520-600-2

Аутор

Др Јасна Грабић, ванредни професор

Главни и одговорни уредник

Др Недељко Тица, редовни професор,
декан Пољопривредног факултета, Универзитета у Новом Саду

Рецензенти

Др Атила Салваи, *редовни професор*
Универзитет у Новом Саду, Пољопривредни факултет
Др Тамара Јурца, *ванредни професор*
Универзитет у Новом Саду, Природно-математички факултет

Издавач

Пољопривредни факултет
Универзитет у Новом Саду, Нови Сад

Забрањено прештампавање и фотокопирање. Сва права задржава издавач.

Штампа: Штампарија „Донат Граф“ д.о.о., Београд

Штампање одобрило: Наставно-научно веће Пољопривредног факултета, Универзитета у Новом Саду, на предлог Комисије за издавачку делатност, по Одлуци 1000/0102
Број:1676/2/1 од 08.12.2023. године.

Фотографија корица: Обедска бара (фото: Ј. Грабић)

Тираж: 20

Место и година штампања: Београд, 2024. године

Предговор

Водопривредне активности у нашој земљи, а посебно на територији Војводине, оставиле су значајан отисак, доводећи не само до измене хидролошких карактеристика, већ упоредо са њима, мењајући и целокупни пејзаж и намену подручја. Водећу улогу у том процесу трансформације имале су активности великог обима на прокопавању нових водотока, измене постојећих и формирање моћних акумулација. При томе, значај је првенствено придаван испуњењу циљева везаних за хидроморфолошке одлике. Овакав приступ је карактерисао водопривредне активности не само у нашој земљи, већ и у Европи, али и широм света.

Претеран утицај антропогених активности у виду промена хидроморфологије, али и загађења довео је до забрињавајућег опадања биодиверзитета на влажним подручјима. С тим у вези, јавила се свест о потреби вредновања водних тела и на основу биолошких показатеља. Имајући у виду ове нове тенденције, као и потребу за осавремењавањем наставе на студијском програму Уређење, коришћење и заштита вода, на Пољопривредном факултета Универзитета у Новом Саду од школске 2015/16. године уведен је предмет Хидроекологија. На тај начин испуњен је циљ да будући стручњаци на пољу уређења вода добију основна сазнања о везама између живе и неживе материје у воденој средини, као и о улози и значају биотичке компоненте у обликовању и одржавању водених екосистема.

Поред студијског програма Уређење, коришћење и заштита вода, где би овај уџбеник представљао основно наставно средство на другој години студија, исти би се користио и у оквиру предмета Хидроекологија на смеру Пејзажна архитектура, који се слуша на трећој години студија. Поред тога, делови овог уџбеника могли би се користити на предмету Самопречишћавајућа моћ водотока, у оквиру мастерских студија, као и код Водоснабдевања и пречишћавања отпадних вода руралних средина, на докторским студијама.

Искрено се надам да ће овај уџбеник утрти пут бољем разумевању значаја биотичких утицаја и биодиверзитета будућих стручњака у области водопривреде.

Ауторка

Захвалност

На првом месту, желим да се захвалим проф. др Атили Салваију на иницијативи и подршци приликом конципирања предмета Хидрокологија, као и на уложеном напору при рецензирању овог уџбеника. Надаље, захвалност дугујем и проф. др Стевану Малетину, чији су ми наставни материјали о аквакултури и белешке послужили као корисна водиља при припремању наставе из овог предмета, што је финално обједињено уџбеником. Захваљујем се и колегиници проф. др Тамари Јурца, која је исцрпно рецензирала уџбеник и чије су сугестије допринеле бољем логичком распореду поглавља и фином брушењу садржаја. Др Дајана Благојевић је издвојила време за консултације у вези са микробиолошким аспектом заступљеним у уџбенику и хвала јој на томе.

Посебну захвалност дугујем колеги проф. др Павелу Бенки, уз чију помоћ су реализована многа истраживања на терену. Такође, захвална сам и колегиницама ангажованим на пословима у области заштите природе – Тањи Бошњак, Сандри Чокић Рех, Ивани Лозјанин и Биљани Латиф, од којих сам много научила, а део тих сазнања преточен је у ову публикацију.

Коначно, последњу реч имала је лекторка мр Милица Брацић, која је предано кориговала текст, те јој се захваљујем на стрпљењу.

Хвала и мојој породици, супругу и мојој деци, који су имали разумевања за мој ради и пружали ми подршку.

Ауторка

CIP - Каталогизација у публикацији
Библиотеке Матице српске, Нови Сад

502.51(075.8)

ГРАБИЋ, Јасна, 1975-

Хидроекологија / Јасна Грабић. - Нови Сад :
Пољопривредни факултет, 2024 (Београд : Донат граф). -
179 стр. : илустр. ; 30 см. - (Едиција Основни уџбеник /
Пољопривредни факултет, Нови Сад)

Тираж 20. - Речник појмова: стр. 176-179. - Библиографија.

ISBN 978-86-7520-600-2

а) Екологија -- Заштита вода

COBISS.SR-ID 139292425

САДРЖАЈ

1. УВОД У ХИДРОЕКОЛОГИЈУ	3
1.1. Дефинисање хидроекологије	4
1.2. Особине и значај воде	4
1.3. Прерасподела воде на земљи	9
1.4. Еколошки значај воде	10
1.5. Историјат коришћења воде и њен значај за потребе људи	10
1.6. Нивои разноврсности у води	11
1.7. Кружење воде у животној средини (хидролошки циклус)	12
2. ПОКАЗАТЕЉИ КВАЛИТЕТА ВОДА И ЊИХОВ МОНИТОРИНГ	14
2.1. Значај кружења нутријената у животној средини	28
2.2. Макро и микроелементи	34
2.3. Тешки метали	35
2.4. Микробиолошки параметри	35
2.5. Органске материје	37
2.6. Хлорофили и други пигменти	38
2.7. Промене или модификације станишта	42
2.8. Интеракције међу параметрима	42
2.9. Опрема и методе за мониторинг квалитета воде	44
2.10. Даљинска детекција при мониторингу квалитета вода и приобаља	46
2.11. Планирање и спровођење мониторинга квалитета воде	47
ХИДРОЛОШКИ ПОЈМОВИ, ОСОБИНЕ ВОДОТОКА И МЕРЕЊА	49
4. ОСНОВИ ЕКОЛОГИЈЕ	56
4.1. Појмови и дефиниције	56
4.2. Кружење материје и проток енергије у екосистему	57
4.3. Елементи организације биосфере	59
4.4. Биотички фактори	59
5. ВРСТЕ ВОДНИХ ТЕЛА И ЊИХОВО ЗОНИРАЊЕ	64
5.1. Текуће воде	67
5.2. Хипореичка зона	73
5.3. Крашки водотоци и облици рељефа	77
5.4. Стајаће воде	78
5.5. Мора и океани	98
5.6. Подземне воде	103
6. БИОЛОШКИ ПРОЦЕСИ У ВОДНИМ ТЕЛИМА	109
6.1. Трофичност водених екосистема	109
6.2. Дефинисање еутрофикације	109
6.3. Утицај азота и фосфора на раст алги	113
6.4. Одређивање степена загађености на основу биоценоза	114
6.5. Загађење водених екосистема	116
6.6. Утицај отпадних вода на живи свет	119
6.7. Управљање загађењем вода	123
7. ХИДРОЕКОЛОШКИ ПРОЦЕСИ У СЛИВУ	125

8. АКТИВНА ЗАШТИТА И ОПОРАВАК ХИДРОЕКОСИСТЕМА – НАТУРАЛНО УРЕЂЕЊЕ	134
9. МОДЕЛИРАЊЕ КВАЛИТЕТА ВОДА	141
9.1. Историјски преглед развоја модела квалитета вода	141
9.2. Дефиниције модела квалитета вода	143
9.3. Основи моделирања	144
9.4. Калибрација, валидација и верификација модела	145
9.5. Сврха моделирања квалитета вода	146
9.6. Поделе модела квалитета вода	148
9.7. Примери познатих модела квалитета вода	152
9.8. Предности коришћења модела	155
9.9. Несигурност у примени модела	155
9.10. Савремени приступи управљању квалитетом вода	157
10. ОДРЖИВО УПРАВЉАЊЕ ВОДОТОЦИМА НА ЗАШТИЂЕНИМ ПРИРОДНИМ ДОБРИМА	160
10.1. Специјални резерват природе „Стари Бегеј – Царска бара”	161
10.2. Парк природе „Јегричка”	162
10.3. Парк природе „Палић” и Специјални резерват природе „Лудашко језеро”	163
10.4. Парк природе „Зобнатица”	165
10.5. Специјални резерват природе „Обедска бара”	166
10.6. Национални парк „Фрушка Гора”	167
11. ИНТЕГРАЛНО УПРАВЉАЊЕ ВОДАМА	169
ЛИТЕРАТУРА	171
РЕЧНИК ПОЈМОВА	176

1. УВОД У ХИДРОЕКОЛОГИЈУ

Вода је једна од основних супстанци на којој се заснива живот на Земљи. Живот је настао у води и постоји захваљујући њој. Она чини **градивни део** свих живих организама, али представља и **животну средину** за водене организме. Сви океани, мора, реке и језера заједно чине хидросферу, која заузима огроман део површине планете Земље. Биосфера, коју сачињавају сви живи организми, настала је из хидросфере и суштински је за њу везана.

Због своје вишеструке улоге и изузетног значаја, вода представља предмет проучавања многих наука и научних дисциплина, као што су физика (динамика флуида, хидраулика), хемија, биологија (екологија, хидробиологија), геологија (хидрогеологија), географија и друге. У скорије време једнострано сагледавање воде из угла само једне науке показало се недовољним, посебно када су у питању проблеми везани за процесе и појаве у води. Из тог разлога настале су мултидисциплинарне науке везане за ову проблематику. Посебно је комплексно сагледавање воде као животне средине на чему се темеље хидроекологија и екохидрологија. Оне узимају у обзир и живу (биотичку) и неживу (абиотичку) компоненту животне средине.

Поред тога, вода је значајан **природни ресурс** и економско добро, на коме се темеље раст и развитак свих друштава, те је и социјална компонента веома битна када се сагледава проблематика вода. Многи изазови везани за савремено доба, од којих су најизраженији претерана експлоатација вода, њено загађење и климатске промене, скупно су довеле не само до нарушавања природног режима вода и њеног квалитета, већ и до умањења биодиверзитета. Као одговор на овакво стање јавили су се напори да се очувању воде и влажних станишта посвети значајна пажња, па чак и поштравањем законодавних мера.

На пример, то је учињено у законодавству Европске уније, где се поред физичко-хемијског квалитета воде, узимају у обзир и биолошки показатељи квалитета воде, тако да, када се говори о квалитету воде подразумевају се њен **еколошки статус** и **еколошки потенцијал**. С обзиром на ту чињеницу, мултидисциплинаран приступ при сагледавању воде и влажних станишта представља апсолутну неопходност, а хидроекологија пружа потребне основе, те и изучавање хидроекологије ради оспособљавања нових водопривредних стручњака представља нужност.

1.1. Дефинисање хидроекологије

Хидроекологија је млада научна дисциплина настала у 21. веку са циљем да проучава водене екосистеме и одговори на питања везана за њих. Реч хидроекологија је кованица коју чине старогрчке речи ὑδωρ (*hydōr*), вода, затим οἶκος (*oikos*), дом, домаћинство и наставка – λογία (*logía*) који означава науку (слика 1). У основи, то је наука која чини спој хидрологије и екологије.



Слика 1. Речи од којих је настао термин *хидроекологија*

Хидроекологија је примењена наука која повезује сазнања из хидрологије, хидраулике, геоморфологије и биологије/екологије да би предвидела одговоре слатководног живог света и екосистема на промене абиотичких утицаја у различитим просторним и временским оквирима.

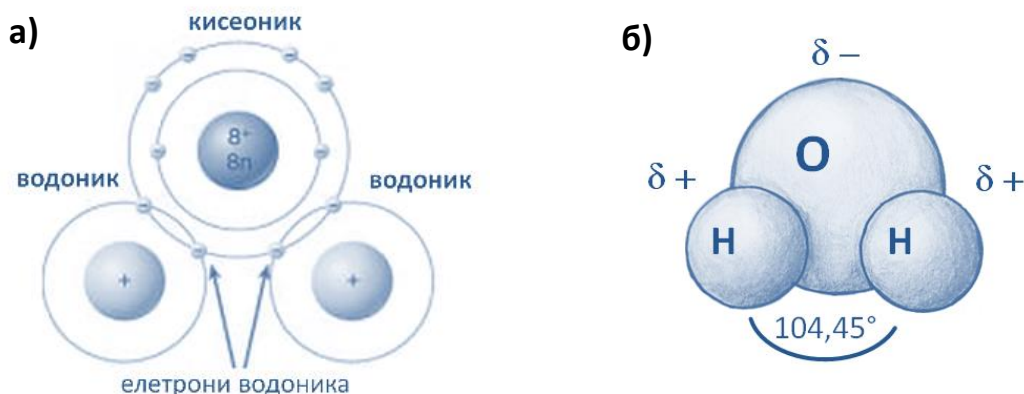
(Dunbar, Acreman, 2001)

1.2. Особине и значај воде

Физичко-хемијске особине воде

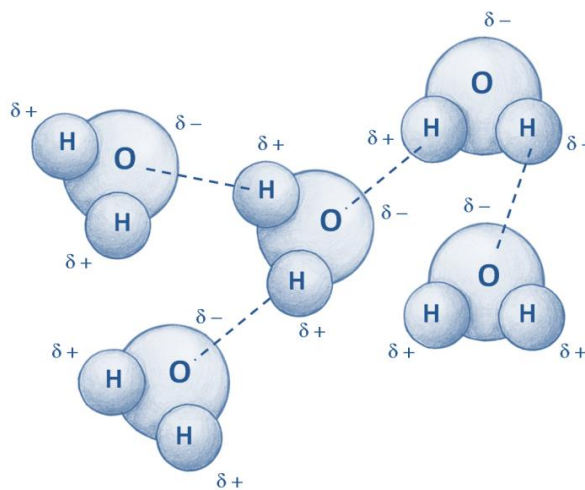
Вода представља основну супстанцу за настанак и одржање живота на Земљи. Она покрива две трећине њене површине. Због посебне структуре молекула воде, заступљена је у сва три агрегатна стања: чврстом, течном и гасовитом. На собној температури (око 20°C) чиста вода је течност без боје, укуса и мириса. Молекул воде се састоји од једног атома кисеоника (O) и два атома водоника (H). Веза коју међусобно успостављају је ковалентна, што значи да се формирају електронски парови и то од сваког атома водоника и кисеоника (слика 2а). Будући да атом кисеоника има много више електрона у свом електронском омотачу (укупно 8), од којих два учествују у грађењу ковалентне везе, преостали слободни електрони доприносе да део молекула водем где је лоциран кисеоник, буде делимично негативно наелектрисан (δ^-). Насупрот томе, делови молекула воде где су водоници, делимично је позитиван (δ^+). Пошто су електрони оба водоника заузети грађењем

ковалентних веза, а преостаје само по један протон у језгру, то резултира делимично позитивним наелектрисањем (слика 2б).



Слика 2. Молекул воде: електронски омотач (а) и поларност молекула (б)

Поред тога, битно је поменути и да атоми водоника везани у молекулу воде међусобно заклапају угао од $104,45^\circ\text{C}$. Делимична поларност молекула воде и угао између атома водоника омогућује формирање **водоничних веза** између суседних молекула воде, захваљујући чему је вода у течном стању (слика 3). Један молекул воде може да гради водоничне везе са четири суседна молекула. Две везе граде водоници, а две друге успоставља кисеоник. Ипак, догађа се да се могу везати још један или два молекула, али у том случају везе су још слабије.



Слика 3. Молекули воде међусобно везани slabим водоничним везама

При нормалном атмосферском притиску вода мрзне на 0°C и кључа на 100°C . Познато је да са вишином опада ваздушни притисак, тако да на Монт Евересту (близу 9.000 m nm) вода кључа већ на 68°C . У дубинама океана, где је притисак повишен, близу геотермалних отвора вода остаје течна и при температури од неколико стотина степени. Највећу густину вода има при температури од 4°C , а при хлађењу густина опада – што представља аномалију. При хлађењу, на температури близу 0°C почињу да се формирају кристали леда, што доводи до ширења воде, али јој се густина смањује. Због ове појаве, лед је лакши од воде, плива на њеној површини, а процес

смрзавања се одвија од врха ка дну. На тај начин, вода у чврстом агрегатном стању заузима 9% већу запремину од течне воде, што објашњава појаву да лед плива по води. Њена густина је 1.000 kg/m^3 када је у течном стању на 4°C , а 917 kg/m^3 када је залеђена, у чврстом стању.

Специфични топлотни капацитет

Због водоничних веза којима су молекули воде међусобно везани, вода поседује изузетан топлотни капацитет. То значи да она може примити велику количину топлоте, а да се њена температура не повиси значајније. **Специфични топлотни капацитет** (или **специфична топлота**) јесте она количина топлоте потребна да се повећа температура јединице масе неке супстанце за 1°C . При томе, количина топлоте се може изразити у калоријама (cal) или џулима (J), а јединица масе је 1 g. Специфични топлотни капацитет воде у течном стању износи 1 cal/g , што представља високу вредност, пошто примера ради, већина стена има много нижу специфичну топлоту, око $0,2 \text{ cal/g}$ (табела 1). Ипак постоје супстанце које имају виши специфични топлотни капацитет од воде, као што су течни амонијак ($1,23 \text{ cal/g}$) и течни водоник ($3,4 \text{ cal/g}$).

Табела 1. Специфични топлотни капацитет неких супстанци

Супстанца	Агрегатно стање	Специфична топлота	
		J/g °C	cal/g °C
ваздух	гасовито	1.01	0.24
вода	течно	4.18	1.00
вода (лед)	чврсто	2.09	0.50
алуминијум	чврсто	0.90	0.22
гвожђе	чврсто	0.44	0.11
бакар	чврсто	0.39	0.09

Воду карактерише, не само високи специфични топлотни капацитет, већ је потребна и велика количина топлоте да би се прекинуле интермолекулске везе и вода превела из течног стања у гасовито. То се зове **латентна топлота испаравања**. Ова особина омогућава ублажавање климе на Земљи, јер вода пуферише велике промене температуре. Поред тога, иста особина воде штити организме од шока, до кога би могло доћи због наглих температурних промена.

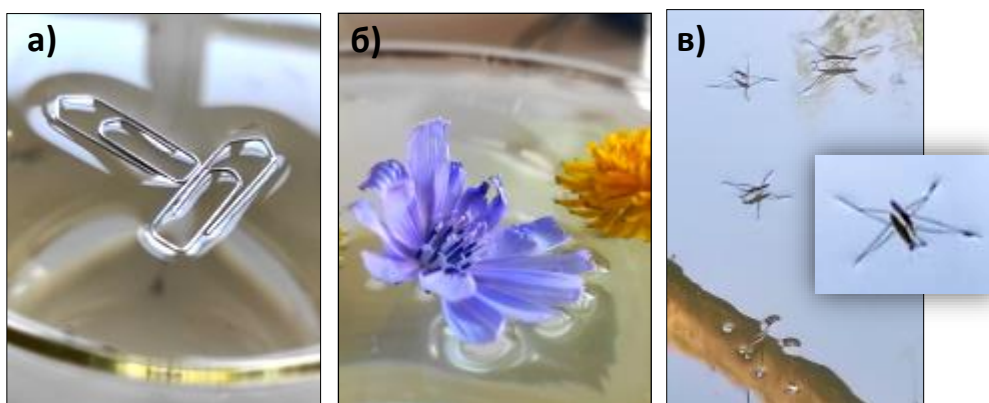
Површински напон воде

Још једна битна карактеристика воде јесте њен **велики површински напон**, који се објашњава чвршћим међусобним повезивањем молекула који су у површинском слоју, у односу на оне у стубу течности. Наиме, молекул воде је у воденом стубу окружен са четири суседна молекула, који су повезани slabим водоничним везама. Међутим, молекул који се нађе на површини није у потпуности окружен суседним молекулима, већ њихово место остаје упражњено. Зато се сила, која би била искоришћена за везивање недостајућег молекула, преусмерава према унутрашњости (слика 4).



Слика 4. Површински напон воде настао услед силе која је усмерена ка унутрашњости течности због недостајућих молекула на површини.

Отуда су молекули на површини везани много јачом силом него они који се налазе у дубљим слојевима течности. Ова особина омогућује да вода може да се приљуби или обложи чврсте материје, а лаки предмети могу да пливају по површини (слика 5). Ова особина је веома важна и за акватичне организме чији је животици циклус везан за површину воде (неустон), било да се крећу по површини, или су прикачени испод површине. Дobar пример представља водена стеница из фамилије Hydrometridae која хода по води (слика 5в).



Слика 5. Примери површинског напона: лаки објекти пливају по води (а и б) и инсект водена стеница (фамилија Hydrometridae) који хода по води (в)
(а и б – Лабораторија за воде, Пољопривредни факултет, Нови Сад;
в – Дунав, Сусечки Дунавац, август, 2023)

Површински напон условљава и да се вода креће дуж уских судова капилара. То се назива капиларним кретањем и од великог је значаја за кретање воде у биљкама. На овај начин се вода потискује вертикално навише из зоне корена преко стабла до листова (слика б). То кретање омогућено је постојањем финих спроводних судова унутар биљних органа (корена, стабла и листова). Поред тога, капиларно кретање се јавља и у земљишту у случају када се површински слојеви напајају водом из подземља. И тада се вода пење вертикално навише захваљујући ситним порам – међучестичним просторима у земљишту.



Слика 6. Капиларни притисак настао због површинског напона омогућава биљкама усвајање воде из земљишта.

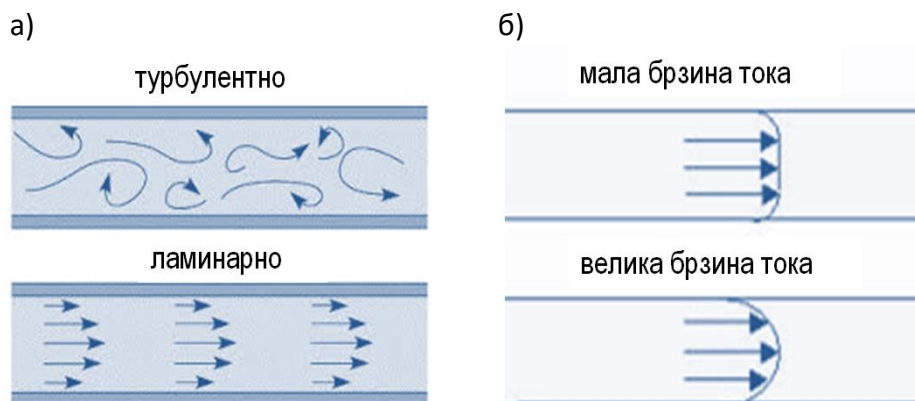
Универзални растварач и електрична проводљивост

Пошто раствара многе супстанце, вода представља универзални растварач. Ова особина омогућује да у живим организмима она преноси растворене хранљиве материје, али и отпадне продукте метаболизма. Будући да је добар растварач лако се може загадити различитим отпадним материјама.

Чиста вода веома слабо јонизује и због тога не може да проводи електричну струју, те је због тога добар изолатор. Растварањем соли и других једињења која јонизују она добија способност електричне проводљивости.

Вискозност

Као и друге течности и воду одликује **вискозитет**. Вискозност представља унутрашњи отпор течности који се јавља при ламинарном кретању између њених слојева. **Ламинарно кретање** значи да слојеви течности *клизе* један по другоме, али тако да течност из једног слоја не прелази у други. Супротно том начину кретања је **турбулентно кретање**, где долази до мешања између слојева услед кретања у течности (слика 7).

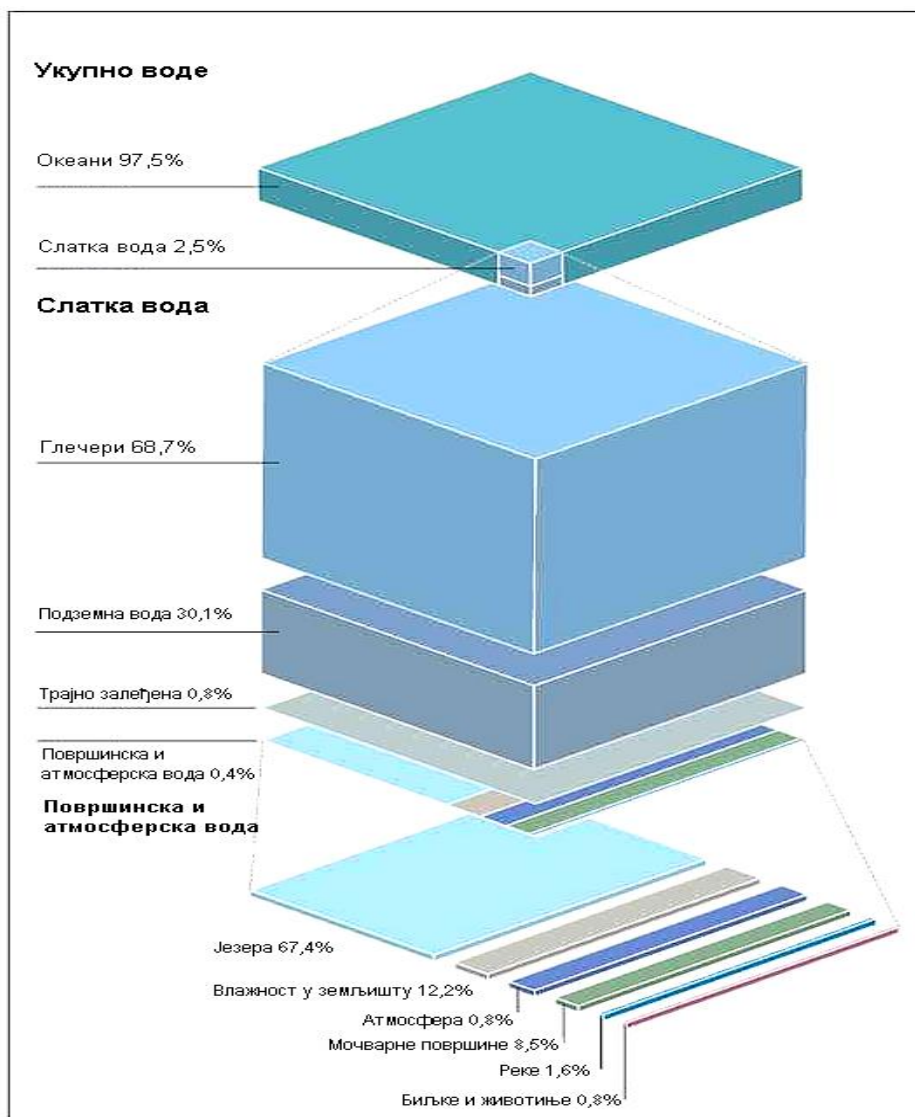


Слика 7. Кретање у течности: турбулентно и ламинарно (а); ламинарно при већој и мањој брзини (б)

Вискозитет зависи од врсте течности, али и од других чинилаца. Вискозност воде зависи од температуре и минерализације. Утицај температуре на вискозност воде је обрнуто пропорционалан, пошто повећањем температуре долази до смањења вискозитета. Минерализација је директно пропорционална вискозитету, тј. повећањем минерализације долази до повећања вискозитета.

1.3. Прерасподела воде на земљи

Вода покрива 71% површине наше планете. Ипак, највећи део, 97,5%, чини слана вода океана и мора, док је само мали део од 2,5% слатка вода. Слатка вода је заступљена највећим делом у виду ледника и глечера – 68,7% од укупних количина слатке воде. Око 30,1% слатке воде налази се у подземљу, а 0,8% је трајно залеђена подземна вода. Од укупних количина слатке воде, само је 0,4% у виду лако доступне воде – површинских вода и атмосферске влаге (слика 8). Укупна количина воде на нашој планети процењује се на око 1.400.000 km³, а укупна запремина слатке воде око 35.200.000 km³.



Слика 8. Расподела воде на планети Земљи (Shiklomanov, Rodda, 2003)

1.4. Еколошки значај воде

Сви живи организми захтевају воду одређеног квалитета и квантитета да би преживели, иако поједине врсте могу толерисати различите нивое квалитета. Станишта која зависе од воде су разноврсна. Она се распростиру од полова до екватора и на различитим надморским висинама, допирући до планинских врхова. Свако станиште настањују организми адаптирани условима који у њему владају, било да се ради о врстама које цео свој животни циклус проводе у води, било да су за њу везане само у одређеним фазама развића, или у њој налазе храну и склониште. У зависности од величине површинских водних тела, станишта која су везана за водотоке могу бити мали потоци, па све до великих низијских река, затим воде у виду мочварних станишта, као што су баре, или ритови и језера.

1.5. Историјат коришћења воде и њен значај за потребе људи

Вештачка регулација водотока се врши већ више од 8.000 година. Преграђивање река и стварање акумулација, прокопавање канала за наводњавање и одводњавање, само су неке од најважнијих активности на регулацији копнених вода. Посебно се током неколико последњих векова бележи изразити пораст вештачког уређења водотока. Индустријска револуција утицала је на повећање потреба за водом и енергијом. Поред тога, на повећање потреба за водом, утицао је и пораст бројности светске популације и повећани стандард живота, а паралелно са тим и развој и интензивирање пољопривредне производње. Захвати на водотоцима и у прошлости и данас, имали су за циљ да обезбеде релативно униформне услове – повољни водно-ваздушни режим и да превазиђу просторне и временске варијације у обезбеђености појединих региона водом. Због растуће потрошње чисте воде у другој половини прошлог века многи извори воде постали су угрожени, као и природна станишта везана за воду. Поменуто околности, довеле су до тога да је о води почело да се размишља са аспекта екологије и заштите животне средине. У складу са тим јавља се идеја о одрживом коришћењу водних ресурса и очувању и заштити влажних станишта.

Због широке употребе воде, људи су коренито променили природне хидролошке процесе и услове у многим областима због чега су водени екосистеми претрпели смањење биодиверзитета скоро исто тако значајно као и остали копнени екосистеми.

Веома мали део од укупне количине воде на планети је доступан људима, у смислу да га могу користити за пиће и друге потребе. Од укупних количина слатке воде само је 20% погодно да се уз релативно малу поправку/дораду, која подразумева пречишћавање и дезинфекцију, искористи за људске потребе. Иако највећи удео светске популације (74%) има приступ пијаћој води и задовољавајућим санитарним условима, ипак више од две милијарде људи живи у условима несташице воде, а око половина становништва земаља у развоју пати од болести проузрокованих неисправном водом за пиће. Осим за пиће, вода је људима неопходна и за припремање хране, одржавање хигијене, за производњу хране у пољопривреди, као и за многобројне процесе у индустрији, за производњу енергије и др. У укупној светској потрошњи воде, пољопривреда има удео са око 70%. За

Европску унију тај проценат је нижи и износи 37%, али се зато за производњу енергије троши 33%, за потребе урбаног водоснабдевања 18%, а за индустрију само 12%. Поред тога, вода се користи и за транспорт, али и за туризам и рекреацију.

Почетак 21. века обележило је испољавање последица глобалних промена климе, што се у домену водних ресурса манифестује у виду дужих и чешћих бескишних периода, који доводе до суше, али и учесталијих епизода непогода праћених обилним падавинама, које могу проузроковати поплаве. Поред тога, загађење вода представља изразити проблем. Што се тиче копнених вода, у површинским водним телима је, услед загађења, умањен биодиверзитет, а прекомерно обогаћивање нутријентима води пренамножавању појединих фотосинтетичких организама и деградације целокупних водених екосистема. Поред наведених проблема присутних у површинским водама на копну, у морима и океанима додатно се јавља и проблем пластичног отпада, који собом носи нежељене последице по живи свет.

1.6. Нивои разноврсности у води

У природи се врло ретко среће чиста вода – течност која је састављена само од молекула воде. Изузетно, то могу бити кишница или вода која настаје након топљења снега и леда. Најчешће, оно што називамо водом јесте течност која у великом проценту садржи молекуле воде, али и многе друге примесе.

Нивои разноврсности живе и неживе материје у воденој средини:

- **молекулски** – чиста вода (само молекули воде), природна минерализација воде и растворене загађујуће материје
- **микроскопски** – неорганске суспендоване честице (честице песка, глине), детритус, вируси, бактерије, гљивице, протозое, фито и зоопланктон
- **макроскопски** – алге и водене биљке (макрофите), животиње (кичмењаци и бескичмењаци) и неживи облици (камење, већи одумрли делови биљака и животиња)

Пролазећи преко подлоге, вода раствара минералне материје, те састав воде у великој мери зависи од њеног окружења. На тај начин формира се **природна минерализација воде**. Све пијаће воде карактерише одређен степен минерализације, односно заступљеност позитивно и негативно наелектрисаних јона (катјона и анјона). Врста и садржај јона се разликују од извора до извора воде, односно врсте водног тела. Поред тога, захваљујући антропогеном утицају у воду доспевају и јони и једињења који нису карактеристични за природне воде (нпр. детергенти, пестициди, полихидроксилни ароматични угљоводоници – РАН и др.), или се пак у природи могу наћи у много нижим концентрацијама (јони тешких метала, амонијак и др.). У оба случаја то представља **загађење вода**. На основу претходног, може се закључити да молекули воде заједно са осталим раствореним јонима и молекулима чине **молекулски ниво воде**.

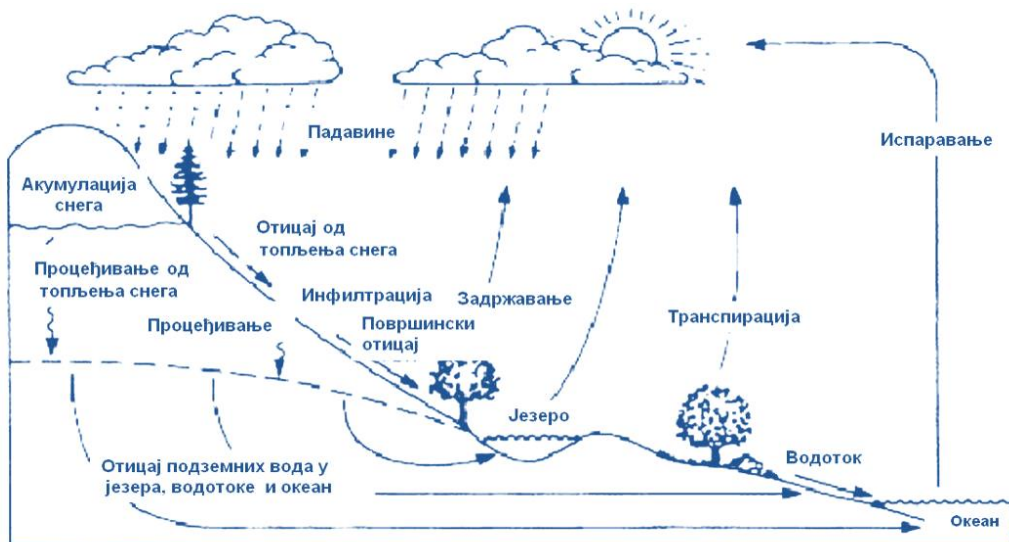
Вода у животној средини често садржи суспендоване и крупније честице. Ове честице могу бити неорганског или органског порекла, али и ситни живи организми. Неорганске суспендоване материје су најчешће честице песка или глине, док органску материју чине делићи органске материје пореклом од живих организама

који су подложни труљењу и распадању – детритус. Поред тога, и ситни живи организми се често срећу суспендовани у води. Поред бактерија, вируса и протозоа (праживотиња), често се срећу и фито и зоопланктон. Све побројане врсте честице које су видљиве под микроскопом чине **микроскопски ниво** разноврсности у воденој средини.

У воденој средини се могу наћи и крупније живе и неживе форме, које су видљиве голим оком. Ту спадају макроскопске алге и водене биљке – макрофите, као и крупније животиње, укључујући рибе, бескичмењаке (шкољке, пужеве, ракове, водене инсекте и др.). Поред њих, присутне су често и неживе форме крупније минералне фракције – каменчићи, као и крупније камење и одумрли делови биљака и животиња – опало лишће, грање, скелети животиња и др. Све крупније форме присутне у воденој средини чине **макроскопски ниво**.

1.7. Кружење воде у животној средини (хидролошки циклус)

Под утицајем **Сунчеве енергије** у природи се одвија стални циклус кружења воде који се назива **хидролошки циклус**. Он обухвата кретање, губљење и обнављање воде на нашој планети са површине копна или водене површине до атмосфере, и обрнуто. Иако је хидролошки циклус континуиран, ипак се састоји из више компоненти – процеса. Истовремено, овај циклус заједно са водним билансом одређеног подручја представља и основно поље изучавања **хидрологије** као науке. На слици 9 приказано је кружење воде у природи.



Слика 9. Хидролошки циклус (<https://learning.uonbi.ac.ke>)

Слатка вода на планети готово у целисти потиче од атмосферских падавина које се јављају након испаравања воде са површине мора и океана. Први корак у хидролошком циклусу представља **евапорација (испаривање) воде**. При томе, океани обезбеђују 84% од укупне годишње количине воде која је испарила, док удео са континенталног дела износи само 16%. Атмосферска влага се састоји од капљица воде, водене паре и кристала леда. Ипак, мали део атмосферске влаге формира облаке – само 4%. Услед одвијања својих животних функција, сви живи организми

дишу и при дисању губе изванредан део воде у виду водене паре. Овај процес се назива **транспирација**. Будући да су, својом запремином и покровношћу, биљни организми ти који на копну имају највећи удео у одавању водене паре у атмосферу, када се говори о **евапотраспирацији**, најчешће се мисли на губитак воде са површина које су покривене вегетацијом.

Доспевањем у више слојеве атмосфере водена пара се хлади и **кондензује** и долази до формирања облака. Следећи корак у хидролошком циклусу чине **падавине**. Оне се могу јављати у више облика, од који хидрологе занима само да ли се ради о **течним** (киша) или **чврстим** (снег, лед, суснежица и ледена киша) падавинама. И док киша отиче чим доспе на површину земље, доспевајући брзо до водотока, дотле се чврсте падавине задржавају дуже време, све док се не почну топити. Снежни покривач представља значајан депо зимских падавина, који у пролеће нестаје. Ово се поклапа са повећаним потребама биљака за водом које бујају у пролеће. Део воде садржане у снежном покривачу након отапања доспева до површинских вода, а део се процеђује у подземље. Отапање снега ређе узрокује поплаве, али уколико се оно одвија упоредо са обилним кишама, може се јавити изливање водотока из својих корита – поплаве. Уколико се ради о великој води, која се јавља једном у 100 година, корито водотока заједно са поплавленим простором заједно чине корито за велику воду.

Магла и роса представљају значајне изворе воде за биљке посебно у сушним периодима године. Део воденог талога се задржава на вегетацији (**интерцепција**) и не доспева до тла, већ испари у атмосферу. Ипак, највећи део падавина доспе до површине земље где један део одмах отиче као **површински отицај**, док се делом врши **инфилтрација (процеђивање)** воде у земљиште. У земљишту се вода може задржавати као **капиларна вода**, или доспети у дубље слојеве, при чему долази до **прихрањивања подземних вода**. Процес при коме се вода креће кроз слојеве земље услед гравитације и капиларних сила зове се **перколација**. Понирањем дубље у земљиште вода доспева до слојева који су потпуно засићени овом течностју. Вода која се налази у зони сатурације (засићења) представља **подземну воду**.

Вода на површини земљишта површинским отицајем доспева до текућих и стајаћих површинских вода. У подземљу се одвија **потповршинско кретање** подземне воде, које опет учествују у прихрањивању површинских вода. Отицањем, било површинским или подземним путем, воде завршавају у већим површинским водним телима – већим рекама, језерима, морима или океанима.

Хидролошки циклус чине следећи процеси:

- (1) **евапотраспирација** – испаравање воде са површине Земље траспирацијом и евапорацијом;
- (2) **кондензација** – хлађењем долази до преласка водене паре у течно стање;
- (3) **падавине** – облици кондензоване или сублимиране водене паре који доспевају на површину Земље у течном или чврстом стању;
- (4) **интерцепција** – задржавање воде која је доспела падавинама на површини Земље;
- (5) **површински отицај** – услед силе гравитације вода се по површини креће ка нижим котама терена;
- (6) **инфилтрација** – понирање воде са површине у земљиште;
- (7) **перколација** – понирање и кретање воде кроз слојеве земљишта;
- (8) **ток подземне воде** – кретање воде у сатурисаном слоју земљишта под утицајем гравитације.

2. ПОКАЗАТЕЉИ КВАЛИТЕТА ВОДА И ЊИХОВ МОНИТОРИНГ

Стање квалитета воде представљају вредности њених физичких, хемијских и биолошких параметара. Најчешћи показатељи који указују на стање у воденој средини јесу температура, рН вредност, електропроводљивост, кисеонични параметри – растворени кисеоник и проценат засићења воде кисеоником, затим, турбидитет и концентрација хлорофила. Квалитет воде се обично изражава на основу концентрације појединих материја, као што су хранљиве материје, тј. азотна и фосфорна једињења.

Загађену воду карактерише присуство одређених материја, које доприносе оптерећењу воде, а могу се идентификовати мерењем одговарајућих параметара квалитета воде. Оптерећење воде за поједине параметре се може приказати као маса у јединици времена и представља основу за одређивање максималног дневног оптерећења (нпр. kg/дан). Параметри који се обично изражавају кроз оптерећење укључују облике фосфора и азота, биохемијску потрошњу кисеоника (БПК), хемијску потрошњу кисеоника (ХПК), суспендоване честице, растворене материје, патогене (нпр. бактерије и фекалне колиформе), пестициде, метале и сулфате. Температура се може посматрати или као параметар оптерећења (оптерећење температуром), или као параметар који не изазива оптерећење. Следи детаљније упознавање са појединачним параметрима који се обично прате ради увида у опште стање водотока, или су за њих законским нормама прописани стандарди.

РАСТВОРЕНИ ГАСОВИ

Проласком кроз атмосферу вода у облику кишних капи, снежних пахуљица и других видова падавина упија гасове из ваздуха. Најчешће су то кисеоник (O_2), и угљен-диоксид (CO_2), а услед загађења може растворити и азотне и сумпорне оксиде и покупити честице (чађи или песка) које лебде у ваздуху. Ови гасови и честице пореклом из атмосфере путем падавина доспевају до површине Земље и површинских водних тела. Са друге стране и при различитим физичко-хемијским реакцијама у воденим екосистемима долази до ослобађања појединих гасова услед многих биохемијских реакција и процеса везаних за активности живих организама.

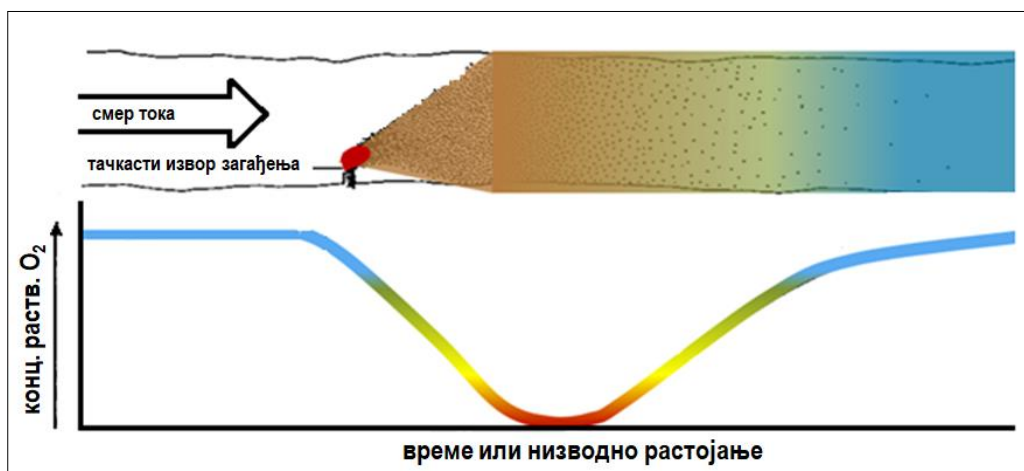
Најзначајнији растворени гасови у води јесу **РК** и **CO₂**, јер они представљају антагонисте и основне гасове за кључне биохемијске процесе – фотосинтезу и дисање. Ови процеси се одвијају у живим организмима, али се може посматрати и сумарно њихово ослобађање и усвајање на нивоу животних заједница, на пример ослобађање ових гасова захваљујући активностима организама из неког барског или мочварног станишта.

Поред поменутих гасова, веома су битни и амонијак (NH_3) и водоник-сулфид (H_2S). Ови гасови се у површинским водама нормално јављају у случајевима у којима долази до интензивне разградње органске материје, какви владају у барско-мочварним стаништима, а њихове повишене концентрације могу се јавити и услед загађења. Детаљнија објашњења о значају амонијака биће дата у поглављу 2.1. Значај кружења нутријената у животној средини, у оквиру кога је одељак о трансформацији азотних једињења.

Растворени кисеоник

Кључни фактор при сагледавању квалитета водотока јесте количина раствореног кисеоника (РК), јер је он витални фактор опстанка за аеробне водене организме. Утицај његове ниске концентрације у екстремним случајевима, узрокује анаеробне услове у уобичајено добро аерисаним површинским водама. При таквим условима водени екосистеми постају неуравнотежени и могу се јавити помор риба, као и непријатни мириси и друге естетске неугодности. Када је концентрација РК смањена, водене животиње су присиљене да мењају навике дисања, или да смање ниво својих активности. На пример, у току летњих дана у барским стаништима у условима облачности, долази до дефицита кисеоника и рибе долазе до површине и чини се као да дишу атмосферски кисеоник. У народу се ова појава назива „угуш риба”. У сваком случају, дефицит кисеоника је озбиљан проблем и може условити успорен развој организама, репродуктивне проблеме код полно зрелих јединки, а посебно су осетљиви ранији узрасни стадијуми водних организама, где може доћи до повећаног морталитета јаја и/или деформитета.

Различите загађујуће материје утичу на смањење концентрације РК, тако што га користе при оксидативним процесима. Након упуштања загађења долази до наглог опадања концентрације РК у водопријемнику, а потом, пошто се активирају механизми самопречишћавања долази до повишења његове концентрације док се поново не достигне концентрација засићења кисеоником (слика 10). Дефицит РК се може јавити и зими услед дуготрајног леда, који покрива површину воде и омета њено обogaћивање кисеоником из ваздуха.



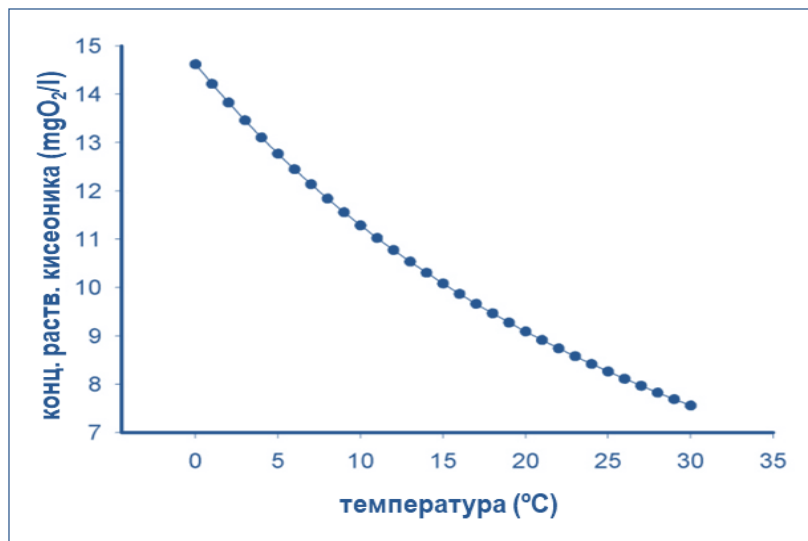
Слика 10. Промене које се јављају у водотоку након упуштања непречишћене отпадне воде из тачкастог извора

Мерење РК представља директни показатељ способности воде да обезбеди услове за живот воденим организмима који не врше фотосинтезу. Значај концентрације раствореног кисеоника у површинским водама проучава се већ више од једног века, о чему ће бити више речи у поглављу 9, о моделирању квалитета воде.

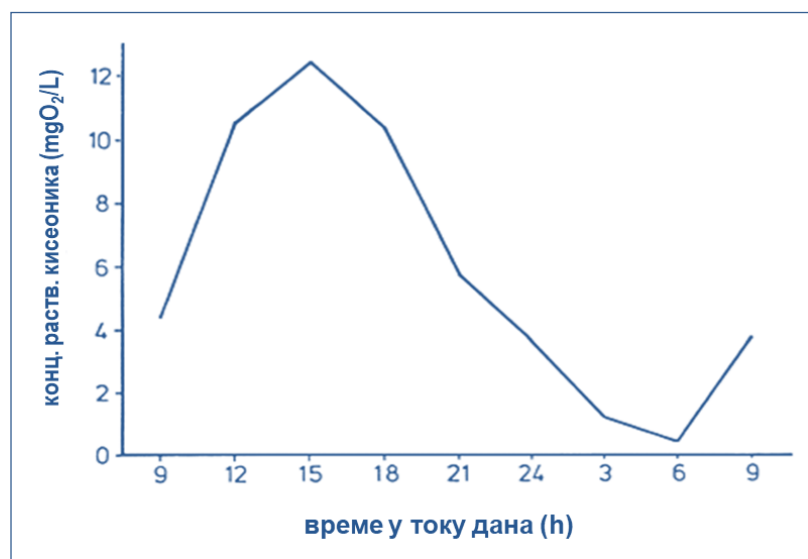
Концентрација РК се изражава у mgO_2/l , или као проценат засићења воде кисеоником. Максимална количина (концентрација засићења) гасовитог кисеоника који се може растворити у води смањује се са порастом температуре. На пример, вода засићена кисеоником на 15°C садржи $10,1 \text{ mgO}_2/\text{l}$, док ће при температури од

25°C концентрација кисеоника износити 8,3 mgO₂/l. Битно је запажање да вода може примити знатно више раствореног кисеоника када је извор гасова састављен од чистог кисеоника (слика 11). Такав случај се јавља када је извор кисеоника фотосинтеза, за разлику од онога када је извор кисеоника ваздух, који садржи само 21% кисеоника.

а)



б)



Слика 11. Промена концентрације РК у зависности од температуре воде у лабораторијским условима (а) и промена у току дана, захваљујући фотосинтези и дисању водених организама у стајаћој води богатој нутријентима и фотосинтетичким организмима (б)

Уколико је проценат РК око 100%, то означава да је вода, при датој температури, засићена кисеоником, док се сматра да она није засићена ако садржи мање од 80%. У случају да је проценат РК виши од 110% сматра се да је дошло до

суперсатурације, односно да вода при датој температури садржи више РК у односу на вредности које су потврђене у лабораторијским условима (теоретске вредности).

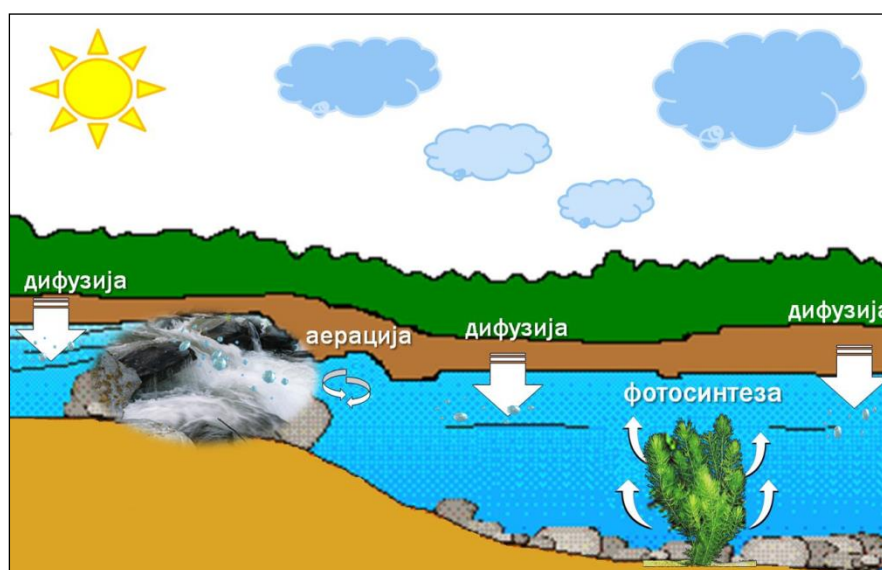
Засићење кисеоником се израчунава према формули:

$$\text{релативна концентрација РК (\%)} = \frac{\text{измерена вредност РК} \times 100}{\text{теоретска вредност}}$$

Према Bricker et al. (1999) следеће концентрације РК се одражавају на погодност за живот водених организама:

- аноксија: 0 mgO₂/l, недостатак кисеоника;
- хипоксија: 0 mgO₂/l–2 mgO₂/l (недовољно кисеоника да би се одржао живот);
- биолошки стрес: 2 mgO₂/l–4 mgO₂/l (само неколицина врста риба и водених инсеката може да опстане);
- повољно за живот: 5 mgO₂/l–7 mgO₂/l (погодна за већину водених животиња, али низак ниво за рибе хладнијих вода);
- веома повољно за живот: 7 mgO₂/l–11 mgO₂/l (оптимално за већину слатководних риба, које живе у текућим водама).

Кисеоник доспева у воду на три начина: (1) дифузијом из ваздуха, (2) као продукт фотосинтезе фотосинтетичких организама и (3) путем аерације (слика 12).



Слика 12. Начини на које се вода обогаћује кисеоником: дифузијом, аерацијом и фотосинтезом водених фотосинтетичких организама

Концентрација РК у води зависи од више фактора, а најзначајнији су температура, количина соли и притисак. Тако копнене воде у условима нормалног притиска при 0°C садрже око 10 mg/l РК, а морска вода 8 mg/l. Са повећањем температуре воде, количина РК опада и његова концентрација је на 30°C у копненим водама 5,6 mg/l, а у морима 4,5 mg/l. Количина РК у води стално варира пошто се троши у процесима оксидације (дисања) свих водених организама, као и за минерализацију органске материје (труљење). У површинским слојевима водених басена кисеоник се непрестано обнавља захваљујући растварању кисеоника из

атмосфере, било простом дифузијом на контактної површини вода–ваздух или активно захваљујући аерацији услед турбулентног кретања воде. Поред тога значајан допринос РК у води представља и процес фотосинтезе који врше алге и водене биљке (слика 13).



Слика 13. Водене биљке и алге ослобађају кисеоник током процеса фотосинтезе

Код дубоких језера или у морима, јасно се уочава **вертикална стратификација РК**. Током летњег периода, у површинским слојевима, може доћи до хиперпродукције овог гаса која доводи до стања презасићености воде кисеоником – **суперсатурације**. У дубљим слојевима РК се стално троши и његова количина се смањује, јер је мање продуцента, или их уопште нема. Понекад може да дође и до његовог дефицита. Овај распоред у виду стратификације ремете покрети воде, нпр. таласи и водене струје, које доводе до мешања воде, па тако РК доспева у дубље слојеве. У великим морским и океанским дубинама кисеоник се обнавља искључиво захваљујући струјама. Међутим, у неким морима, као што је Црно море, нема таквих покрета, па РК одсуствује на дубинама већима од 200 m. У тим слојевима воде је висока концентрација водоник-сулфида (H_2S) као резултат активности бактерија.

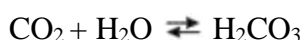
Код текућих вода уочљива је **хоризонтална стратификација РК**. Највише га је у изворишном региону услед ниже температуре и мешања воде. Идући према ушћу река, услед пораста температуре воде и количина органске материје која је подложна труљењу и распадању, долази и до пада концентрације РК.

Мањи број водених организама може да користе РК пореклом из атмосфере, док је већи број оних који се ослањају на кисеоник растворен у води. За разлику од копнених организама који су **стенооксибионти**, хидробионти су већином **еуриоксибионти**, што значи да могу да подносе не само ниске концентрације овог гаса, него и његова значајна дневна и сезонска варирања, која се најчешће дешавају у органски оптерећеним, загађеним водама. Због великог колебања количине раствореног РК у води, код водених организама су развијене разне адаптације у циљу бољег обезбеђења овим неопходним гасом. Тако на пример, сесилне животиње пипцима стварају водене струје, а код животиња које поседују шкрге (ларве инсеката, ракови, рибе) оне су увек у покрету, тако да вода стално прелази преко респирационих површина. Поједине врсте се својим понашањем прилагођавају концентрацији РК. У случају да се јави дефицита РК у воденом стубу, рибе мигрирају у горње слојеве воде, који су богатији овим гасом. Насупрот њима, поједине врсте олигохета (малочекињастих црва) могу да поднесу изузетно ниске концентрације РК, а краће време и анаеробно стање.

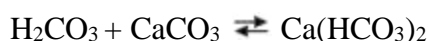
Због свог значаја, РК представља један од основних параметара при класификацији типова водених екосистема.

Угљен-диоксид

Угљен-диоксид (CO_2) је од основног значаја за биљну заједницу једног воденог екосистема пошто се процес фотосинтезе базира на коришћењу угљеника из овог гаса. У воду доспева из ваздуха падавинама или дифузијом, а једним делом потиче и од респирације (дисања) водених организама или настаје труљењем органске материје у води. Овај гас растворен у води гради слабу угљену киселину:



Угљена киселина раствара кречњак (нерастворљиви CaCO_3) и гради растворљиви бикарбонат:



Формирање бикарбоната се дешава само у случају да је количина CO_2 довољна, што зависи од парцијалног притиска. Уколико је количина CO_2 у води мања него у атмосфери (око 0,03%), а то се дешава када биљке потроше CO_2 у води или услед више температуре која условљава његов прелазак у атмосферу, бикарбонат се разлаже на слабо растворљиви CaCO_3 и H_2CO_3 , а ова на CO_2 и H_2O . Овај процес у води траје непрестано све док се не успостави равнотежа између преосталог бикарбоната и ослобођеног CO_2 којег опет има довољно. Овај равнотежни систем CO_2 – карбонати – бикарбонати има велики значај за хемијско стање воде. Он регулише јонске реакције у природним водама, односно рН вредност. Слободни јони H_2O , бикарбоната и H_2CO_3 стално одржавају овај систем реакција и том приликом преостаје вишак OH^- јона, па су због тога копнене воде слабо алкалне са рН вредношћу нешто вишом од 7. Интензитет овог процеса повећава се са повећањем температуре воде, а горња граница је 15°C. То значи да је на нижим температурама слабије таложење CaCO_3 јер је дифундовање CO_2 из воде према атмосфери мање.

На извору и у горњем току водотока концентрација CO_2 је виша од концентрације РК, док је у средњем току, због интензивнијег процеса фотосинтезе концентрација РК виша од концентрације CO_2 .

Водоник-сулфид

Водоник-сулфид (H_2S) се јавља у воденим системима приликом труљења органске материје богате беланчевинама у условима смањене или недовољне количине раствореног кисеоника. У мањим количинама бактерије могу да га оксидишу, најпре у H_2SO_4 , а затим у соли доступне биљкама. Међутим, у повећаним концентрацијама H_2S је токсичан, а поред тога за његову оксидацију троши се велика количина РК, па долази до гушења појединих водених животиња, нарочито у мањим стајаћим водама. Неке водене животиње су веома добри биоиндикатори за овај гас, као што је *Daphnia longispina*. Њихово присуство указује да у води нема H_2S . С друге стране, неке глисте могу да живе и при концентрацији до 8 mg/l.

Потрошња кисеоника у воденој средини

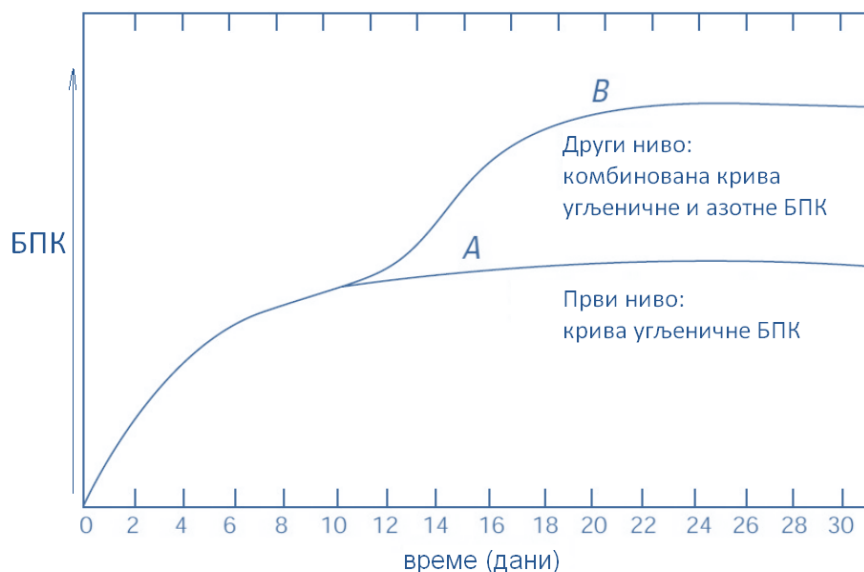
Концентрација РК у води је веома значајна за здравље водених организама. Када се губи кисеоник из воденог стуба долази до низа реакција које резултирају деградацијом квалитета воде, о чему је већ било речи у поглављу о кисеонику. Кисеоник из воде користе биљке (ноћу) и животиње. Микроорганизми који разлажу органске материје или оксидишу амонијак такође користе кисеоник (о потрошњи кисеоника при оксидацији амонијака је већ било речи). Осим тога, неке хемијске реакције у којима се троши кисеоник не захтевају активност микроорганизама. **Биохемијска потрошња кисеоника (БПК)** се односи на разградњу или оксидативне процесе у којима посредују микроорганизми, док се **хемијска потрошња кисеоника (ХПК)** односи општено на брзе хемијске оксидативне процесе.

Биохемијска потрошња кисеоника

Биохемијска потрошња кисеоника подразумева количину кисеоника неопходна за разградњу органских материја у воденој средини од стране хетеротрофних микроорганизама. Многи тачкасти извори загађења садрже високе концентрације материја које се брзо разграђује, какав је случај са фабрикама за прераду хране, које могу испустити отпадну воду богату шећерима. Отпадне воде које се јављају при узгоју животиња такође се брзо разграђују и доприносе повишењу БПК. Такве су на пример, осока, отпадне воде са хранилишта, фарми живине и млекара.

Поред концентрисаних и расути извори загађења доприносе повишењу БПК вредности. Ерозија и спирање површинских слојева земљишта који садрже органске материје у значајној мери доприноси повишењу БПК у води. Исто се догађа и са распадањем и спирањем жетвених остатка. Вегетација дуж водотока може изазвати исти ефекат када у јесен опада лишће, или угинуле биљке падну у водоток или језеро. У случају да се било која од тих органских материја исталожи на дно водног тела, оне настављају да се разлажу у седиментима дна. Та појава се назива потрошњом кисеоника седимената, што може укључивати и део **хемијске потрошње кисеоника (ХПК)**, као и БПК. Разградња органских материја врши се у два нивоа. Први ниво чини разградња угљеничне компоненте, која се изражава као угљенична БПК, док други ниво чини разлагање азотне компоненте, односно азотна БПК. Оба нивоа заједно чине укупну БПК (слика 14).

Скраћеницом **БПК₅** означава се утршак кисеоника у процесу разлагања органске материје уз посредовање **аеробних бактерија** током **5 дана при инкубацији узорка на 20°C** и указује на органску оптерећеност испитиване воде.



Слика 14. Криве угљеничне и укупне БПК

Хемијска потрошња кисеоника

Количина кисеоника која се утроши за потпуну оксидацију органске супстанце и појединачних неорганских соли у води уз употребу оксидативних средстава назива се **хемијска потрошња кисеоника – ХПК**. Да би се установила ХПК, узорак се доноси у лабораторију и реагује са одговарајућим киселинама које оксидишу сву органску материју у узорку. Количина хромне киселине, која је реаговала са органском материјом у узорку, директно је сразмерна укупној количини органске материје у узорку која подлеже оксидацији.

Оба параметра се изрававају преко потрошње кисеоника mgO_2/l . Према Директиви о рибама (Directive, 2006/44/EC), препоручена вредност за БПК₅ за ципринидне воде је $\leq 6 \text{ mgO}_2/\text{l}$. Према Уредби о граничној вредности емисије (Сл. гласник РС бр. 67/11) ХПК зависи од врсте загађивача и прописана је за сваку индустријску и пољопривредну делатност посебно. Према истој уредби, захтеване концентрације за ефлуенте крећу се од $50 \text{ mgO}_2/\text{l}$ до $150 \text{ mgO}_2/\text{l}$, а могуће и више за поједине загађиваче.

Температура

Водени организми имају свој праг толеранције када је у питању температура. Посебно неповољно могу да утичу више температуре, јер смањују растворљивост кисеоника. Температура је од посебног значаја у областима у којима живе рибе хладнијих вода, салмонидне врсте, као што је пастрмка. Њихова тела сагоревају енергију брже на вишим температурама, тако да не искоришћавају енергију толико ефикасно. Алге расту брже при вишим температурама када хранљивих материја и светлости има у изобиљу. Осим тога, у топлијим водама се може повећати број организама узрочника болести и паразити који нападају ослабљене водене организме.

Температура се везује за топлотна „оптерећења” из различитих извора. Оптерећење температуром може водити порекло од расутих извора, нпр. када

сунчева светлост директно обасјава водену површину на деловима водотока са неодговарајућом заштитном вегетацијом. Улив топле површинске воде из акумулација или бара, индустријских отпадних вода, летњег отицаја са кровова и тротоара у урбаним областима такође доприноси повишењу температуре водних тела. Очекивана оптерећења топлотом изазвана директним сунчевим зрацима који падају на површину воде могу се прорачунати на основу интензитета осунчавања при пуном сунчевом сјају и процента сенке у датом делу водотока.

рН вредност

Скраћеница рН потиче од француског термина „*pouvoir hydrogène*”, или енглеског „*hydrogen power*” водонични капацитет. Однос киселости и базности у води изражава се преко концентрације јона водоника, односно рН. Пошто су концентрације јона водоника у води веома ниске, оне се дају као логаритамске вредности. рН се дефинише као негативни логаритам активности H^+ јона:

$$pH = -\log [H^+]$$

где је $[H^+]$ концентрација H^+ јона у молима по литру. Скала рН вредности креће се од 1 до 14, при чему је неутрална средина означена са рН 7; вредности испод 7 су киселе, а изнад 7 указују на базну средину (слика 15).



Слика 15. Скала рН вредности

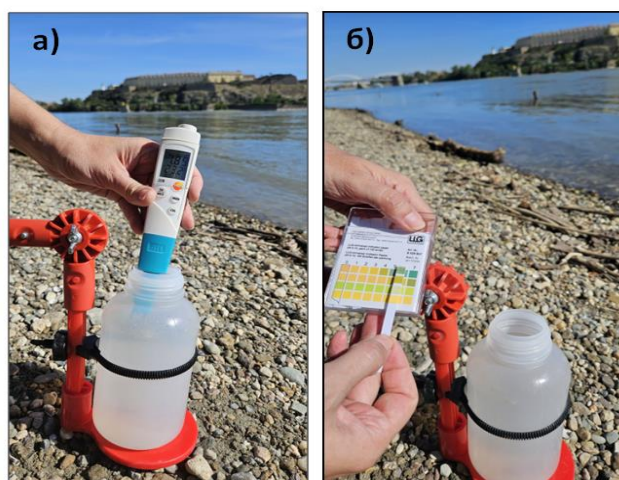
У природи изузетно висок или низак ниво рН често се доводи у везу са недостатком хранљивих материја, токсичношћу метала и другим проблемима везанима за живот у води. Висока рН чини амонијак токсичнијим. Ниска рН вредност повећава растворљивост већине тешких метала као што су цинк и бакар.

Копнене воде су воде бикарбонатног типа и представљају пуферске растворе у виду смеше слабих киселина и њихових соли. За повољан развој хидробионата неопходан је стабилан рН. Оптимална концентрација водоникових јона омогућује одвијање биохемијских процеса у ћелијама и ткивима хидробионата. Његова стабилност је омогућена на основу релације угљена киселина (H_2CO_3 , односно CO_2) \Rightarrow бикарбонати – $Ca(HCO_3)_2$. Повећана количина CO_2 изазива смањење рН вредности, која у већини случајева погоршава животне услове. Оптимални услови за живот највећег броја водених организама су при рН 7–8. У неким случајевима рН се може попети и до 9,5 или 10, што је редовна појава у шаранским (топловодним) рибњацима услед додавања негашеног креча (CaO) или минералних ђубрива (суперфосфата), као обавезних компонената у процесу производње. Повећана базичност водене средине делује мање негативно него киселост која за већину хидробионата може да буде токсична. Киселе воде се јављају као посебан тип

површинских хидроекосистема – мочваре и тресетишта, а садрже хуминске киселине. Само мали број акватичних организама (биљака и животиња) могу поднети мање или више киселу средину. Таква је маховина тресетница (*Sphagnum* sp.), месождерна биљка *Drosera* sp., неке *Rotatoria* sp. и рачићи.

Природне воде често одсликавају рН земљишта преко кога или кроз које се крећу. Индустријске, комуналне и воде са пољопривредних површина могу имати значајно вишу или нижу рН вредност. Током цветања алги, алгална фотосинтеза утиче на повишење рН воде, посебно у стагнантним или споротекућим воденим системима, зато што алге апсорбују биокарбонате, из којих при фотосинтези користе CO_2 и тада излучују хидроксилни јон, који повишава рН. У екстремним случајевима она може прећи рН 10, изазивајући низ хемијских реакција које негативно утичу на живе организме.

На терену се рН вредност може мерити помоћу сензора или коришћењем индикаторског папира (слика 16).



Слика 16. Мерење температуре и рН вредности на терену помоћу сензора – пехаметра (а) и индикаторског папира (б) (Дунав, Нови Сад; септембар 2023)

Алкалитет

Алкалитет или пуферски капацитет воде представља меру отпора воде да постане кисела. Киселине доспевају у водотоке киселим кишима, топљењем снега или спирањем са киселих земљишта. Базни садржај воде неутралише доспеле киселине, одржавајући рН. Уколико је алкалитет превише низак, 100 mg/l или нижи, дотицај киселих вода може условити низак ниво рН, који може угрозити живе организме у води. Ово посебно може бити штетно у пролеће приликом отапања снега које собом носи и киселине, што представља критично време с обзиром да се развијају биљке и млади организми.

Алкалитет подразумева количину бикарбоната (HCO_3^-) у води. Текуће воде по правилу садрже мале количине бикарбоната, а највише у изворишном делу. Алкалитет карактерише сезонско варирање, са максималним вредностима у зимском, а минималним у летњем периоду. Овај параметар има одређени еколошки значај јер ограничава дисперзију и диверзитет хидробионата, па се у високоалкалним водама могу наћи само они организми који подnose повишене вредности. Алкалитет повећава осмотски притисак воде, која је у таквим условима хипертонична средина, што је веома слично у поређењу са морима и океанима. Разлика је једино у томе што у морској води преовлађују хлориди и сулфати, а у копненим водама су највише заступљени карбонати и бикарбонати. Због тога, воде са високим алкалитетом представљају посебне биотопе у оквиру екосистема копнених вода. Зато је и

терминолошки бољи назив **копнене воде** него *слатке воде*, пошто и оне могу бити веома минерализоване, где доминирају бикарбонати.

Електропроводљивост, растворене материје и салинитет

Вода садржи различите концентрације растворених јона. Натријум (Na^+) и хлор (Cl^-) доминирају у морској води. Копнене воде најчешће садрже катјоне калцијума (Ca^{2+}), магнезијума (Mg^{2+}), натријума (Na^+) или калијума (K^+), а од анјона су присутни хлориди (Cl^-), сулфати (SO_4^{2-}), карбонати (CO_3^{2-}) и бикарбонати (HCO_3^-). Пошто јони поседују електрични набој, вода са високом концентрацијом соли боље ће проводити струју него вода са нижом концентрацијом. Превелики садржај јона може проузроковати физиолошко „исушивање” код неких слатководних организама. Гајење стоке, интензивна земљорадња, процеђивање из септичких јама и друге погодности модерног живота – често доводе до заслањивања воде.

Важно је запазити да су јони мање подложни утицајима окружења него рН, температура и растворени кисеоник. На пример, концентрација раствореног кисеоника може се повећати због обогаћивања из атмосфере аерацијом и услед фотосинтезе, а троши се при дисању биљака, животиња и микроорганизама. Чињеница да се јони не мењају брзо услед фактора средине може послужити као добар показатељ за мониторинг. Присуство специфичних јона у водотоку може се искористити као ефикасан трасер „из прве руке” при одређивању да ли остали извори воде – и загађивачи, као што је нетретирана отпадна вода – улазе у водоток између две тачке где се врши мониторинг. У слатководним екосистемима количина јона обично се изражава кроз специфичну проводљивост – **електропроводљивост**, која је индикатор салинитета.

Растворене материје се изражавају у mg/l или ppm . У морским водама или ушћима садржај јона се обично извештава као салинитет у хиљадитим деловима (промилима или *parts per thousand* – ppt). Салинитет у слатким водама одређује се индиректно мерењем специфичне проводљивости (температуре и компензоване проводљивости) или електричне проводљивости воде. Јединице за електропроводљивост су: miliSimens po cm – mS/cm , deciSimens po m – dS/m , или mikroSimens/cm – $\mu\text{S/cm}$. У зависности од специфичног типа соли која је присутна, множећи електропроводљивост са вредностима између 0,55 и 0,9, може се проценити салинитет у милионитим деловима. Модерни мерачи проводљивости аутоматски прорачунавају салинитет на основу проводљивости и температуре (слика 17).



Слика 17. Контрола квалитета воде на терену: (а) електропроводљивости и засићености РК и (б) изглед узорковане воде (Палићко језеро, 24. септембар 2020)

Растворене соли

Проласком преко земљине површине или процеђивањем кроз различите слојеве земље вода на том путу раствара разне минералне материје, које су најчешће у облику соли, али и супстанце органског порекла. Најчешћа подела воде је у односу на количину соли и према томе се деле на **копнене** – слатководне, које обично садрже ниже концентрације растворених соли и **морску воду**, која садржи висок проценат соли. Минерализацију копнених вода обично чине катјони међу којима доминирају јони **калцијума** (Ca^{2+}) и **магнезијума** (Mg^{2+}), док се **натријум** (Na^+) налази у мањим количинама. Од анјона највише су заступљени **хидрокарбонати** (HCO_3^-), а срећу се и хлориди (Cl^-), сулфати (SO_4^{2-}) и фосфати (PO_4^{3-}). Ипак постоје и изузеци, тако да међу копненим водама има и оних које садрже више концентрације натријума. У том случају се превасходно ради о подземним водама, које су геолошки старе и представљају остатке некадашњег мора. Добар пример представљају воде у Панонској низији, које су заслађене пошто чине остатке некадашњег мора.

Воде свих мора и океана имају сличан састав и поред **натријум-хлорида** (NaCl), који доминира, садрже и натријум-сулфат (Na_2SO_4), калијум-сулфат (K_2SO_4) и калцијум-сулфат (CaSO_4). Због тога ове воде припадају и **сулфатном типу вода**.

Поред поменутих анјона и у копненој и морској води, у мањој количини садржани су и јони нитрата (NO_3^-), нитрита (NO_2^-), амонијака (NH_4^+). При томе азотна и фосфорна једињења растворена у води представљају градивне елементе за фотосинтетичке организме, а надаље путем ланца исхране и за све остале организме и целокупну биоценозу.

Сулфати

Сулфати се јављају као нуспродукти многих људских делатности. Осим тога, они се јављају у многим аридним или семиаридним регионима као последица деловања природних услова и то од умерених до високих концентрација.

Проблеми у воденој средини се могу јавити у одсуству кисеоника, јер тада долази до превођења сулфата у сулфиде, који су токсични за многе водене организме. Водоник-сулфид мирише на покварена јаја и често се јавља у топлим изворима.

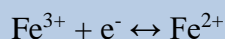
Сулфати се не анализирају често рутински у води, али под одређеним условима могу бити значајни. На пример, у постројењима за третман отпадних вода у којима се при третманима користи алуминијум-сулфат да би се уклонио фосфор, испуштају се високе концентрације сулфата у водоток реципијент. У Републици Србији Уредбом о граничним вредностима емисије (Сл. гласник РС бр. 67/11) прописане су концентрације у ефлуентима из појединих извора.

Оксидо-редукциони потенцијал

Вода представља комплексну смешу сачињену, поред атома водоника и кисеоника, и од јона и молекула других хемијских елемената, који доприносе њеној нечистоћи. У таквим условима може доћи до примања и отпуштања електрона – оксидо-редукционих реакција. Оне се увек појављују везано, пошто уколико нека врста јона отпушта електроне – **оксидује се**, друга врста јона ће примити јоне – **редуковати се**. Тенденција воденог раствора да прима и отпушта електроне назива се **оксидо-редукционим потенцијалом (ORP)**, или скраћено **редокс потенцијал**. Реч *редокс* је настала спајањем почетних делова речи *редукција* и *оксидација* – **ред** и

окс. Вредност редокс потенцијала изражава се у милivolтима (mV) и варира у распону од -400 mV до +700 mV, при томе чиста вода – дестилована вода има редокс потенцијал од +250 mV, а вода из чесме од +300 mV до +400 mV. Уколико је читавање негативно такав водени раствор има тенденцију ка редукцији (да даје електроне). Насупрот томе, уколико је читавање позитивно медијум тежи да усваја електроне, тј. оксидациони процеси преовлађују.

Пример: Седименти често садрже значајне количине гвожђа, па се на релацији седимент–вода одвија једна од најчешћих оксидо-редукционих реакција. У овом случају, гвожђе (II) се отпуштањем електрона преводи у гвожђе (III), при чему се гвожђе (II) оксидовало:

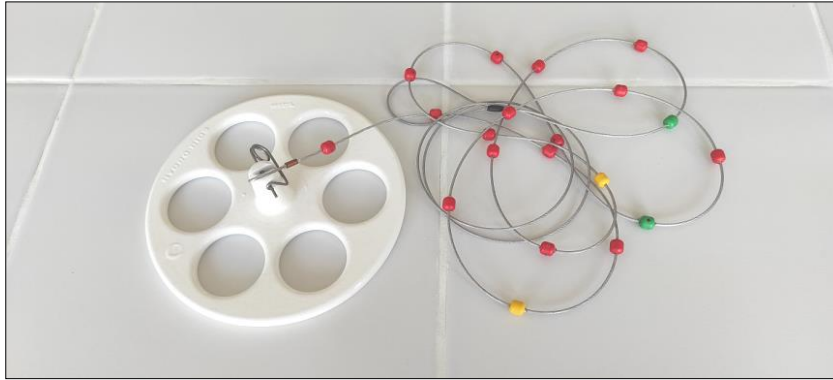


Најчешћи прималац електрона у аерисаној води је кисеоник, који се примањем електрона редукује. Према томе, редукција је усвајање електрона. У том случају се каже да се кисеоник редуковао, а да се гвожђе оксидовало. Поред тога, кисеоник је утицао да се гвожђе оксидује, па се кисеоник назива и оксидационим средством. Супстанце које узрокују да се њихови парњаци редукују називају се редукционим средствима. Описане реакције везане за гвожђе најчешће се догађају при редокс потенцијалу од 200 mV, што предстаља типичне услове који владају у граничном појасу воде и седимента.

Прозирност и турбидитет воде

Прозирност, односно **замућеност воде** представља веома важну карактеристику воде. Ови појмови се често доводе у везу са суспендованим честицама и директно су им пропорционални.

Најједноставнији начин мерења **прозирности воде** врши се уз помоћ **секи диска** (енг. *Secchi disk*). То је метални диск пречника 30 cm, беле боје. Међутим модерније варијанте су мањег пречника – 20 cm, код кога су неизменично распоређена тамна (црна) и светла (бела) поља. Најсавременији модели уместо тамних поља имају округле отворе равномерно распоређене по ободу диска (слика 18). Диск је сачињен од метала или бар за дно има причвршћен метални тег. Та тежина омогућује униформно урањање и спуштање диска у дубину воде. Са горње стране за њега је привезано уже са подеоцима, који означавају метре и дециметре. Одређивање прозирности врши се тако што се диск урони у воду и забележи се дубина на којој се он више не може видети, а потом се лагано повлачи уже и забележи се моменат када диск поново постаје уочљив. Аритметичка средина представља дубину прозирности воде у тој тачки. Мониторинг веће водене површине се врши, на пример, тако што се неко пловило креће по задатој праволинијској путањи (трансекту), а диск се урања на појединим тачкама које су на истој удаљености једна од друге. На тај начин се добијају информације о прозирности воде дуж дате путање.



Слика 18. Секи диск намењен мерењу прозирности воде
(Лабораторија за воде, Пољопривредни факултет, Нови Сад)

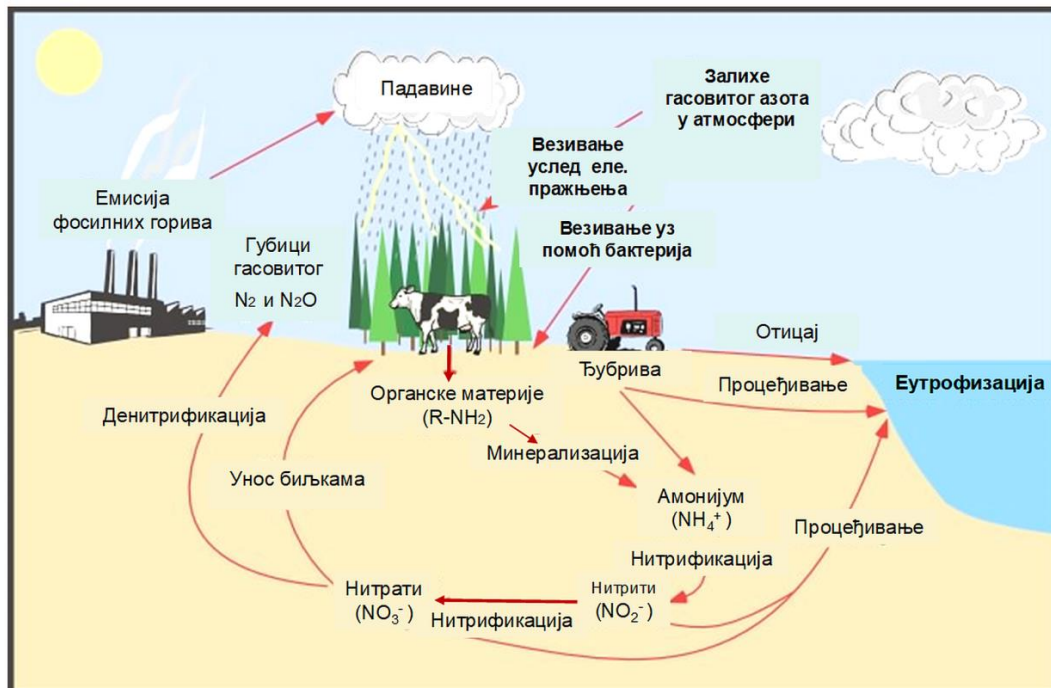
Турбидитет је појам који се користи за замућеност воде. Висок турбидитет одликује воду након великих падавина, када се спирају честице замљишта у водену површину, или пак услед пренамножавања фитопланктона. Турбидитет се мери **турбидиметром**, а изражава се у **нефелометријским јединицама турбидитета** (nephelometric turbidity units – NTU). Нулта вредност, или блиска нули, указује на веома добар квалитет воде, неколико десетина NTU указује на извесне примесе у води, док у време високог водостаја и поплава вредност турбидитета може достићи и неколико стотина NTU.

Савременији уређаји су сонде за турбидитет, које мере расипање светлости узроковано честицама док светлост пролази кроз воду, изражавајући вредност у NTU. Сензори турбидитета могу бити дугорочно положени у води, али захтевају могућност самочишћења да би се спречио обраштај организмима, накупљање мехурића ваздуха, или седиментима који могу да утичу на читање резултата. При одабиру сензора за турбидитет, треба посебно обратити пажњу на то да ли је сензор постављен под углом од 90° или 180° на извор светлости. Стандард ISO 7027 прописује да је мерење под углом од 90° право нефелометријско мерење.

2.1. Значај кружења нутријента у животној средини

Кружење азота: Облици азотних једињења и њихове трансформације

Азот (N) се у воденој средини може наћи како у органском облику, тако и у неорганском. Будући да је веома значајан биогени елемент – макроелемент, он је чест у органским једињењима у живим организмима, где гради протеине. Сходно томе, налази се и у одумрлим остацима организама, у виду крупнијих или ситнијих честица још неразграђене органске материје (детритус). Поред органских једињења, азот се налази и у неорганском облику, и то у чврстом, течном – раствореном и гасовитом стању. Као гасовити азот у воденој средини се јавља као растворени азот (N_2), гасовити амонијак (NH_3), али и јонски облик – амонијум јон (NH_4^+). Амонијак, нитрити и нитрати представљају биодоступне форме. Поред тога, веома значајни јони у воденом раствору су и нитрити (NO_2^-) и нитрати (NO_3^-). Укупан азот представља суму свих форми азота. У природи азот кроз процесе трансформације прелази из органског у неоргански облик и обрнуто, што представља циклус кружења азота у животној средини (слика 19).



Слика 19. Циклус кружења азота у животној средини (Pidwirny, 2006)

Удео гасовитог азота (N_2) у саставу атмосфере је 78%, међутим атоми азота у молекулу су међусобно везани са три неполарне коваленте везе и веома их је тешко раскинути. Електрична пражњења и фотохемијске реакције у атмосфери условљавају раскидање веза у молекулу азота и формирање азотних оксида који су растворљиви у води.

Поред тога, и уз посредство биљака азотофиксатора могућа је трансформација инертног гасовитог азота у биодоступан облик. Азотофиксатори припадају фамилији лептирњача (легуминоза, лат. Fabaceae), које уз помоћ симбиотског односа са одређеним сојевима бактерија настањеним у коренским квржицама тих биљака обављају азотофиксацију. Након раскидања веза у молекулу азота биљке га могу

усвојити и искористити за изградњу сопствене биомасе, а вишак који није искоришћен остаје у земљишту. На тај начин ове биљке обогаћују земљиште азотом. Уградњом азота у тело биљака започиње кретање азота кроз ланац исхране. Хранећи се биљкама, биљоједи користе органска азотна једињења за изградњу сопствене биомасе и метаболичке процесе. Део азота који није уграђен у биомасу биљоједа доспева у животну средину у виду измета. Надаље, сличан процес се догађа са азотом када месоједи конзумирају биљоједе. Коначно, и након угибања живих организама азот доспева у животну средину. Органске форме азота подлежу минерализацији уз активност сапрофитних организама и бактерија које врше трансформацију азотних једињења. Наиме, органска једињења се прво трансформишу до амонијака и тај процес се назива **амонификација**. Надаље, следи процес **нитрификације** који представља двостепену реакцију. Две групе микроорганизама су укључене у овај процес. Прво, *Nitrosomonas* sp. оксидише амонијум јоне до нитрита и воде, а затим *Nitrobacter* sp. оксидише нитритне јоне до нитрата, који биљкама постају доступни за усвајање.

У воденој средини при анаеробним условима посебни сојеви бактерија могу вршити **денитрификацију**, односно превођење – редукцију нитрата до елементарног азота (N_2). Овај процес се одвија посредством факултативно анаеробних организама, као што су гљивице, које могу бујати у аноксичним условима. Ти организми разграђују једињења која садрже кисеоник, на пример NO_3^- , да би кисеоник обезбедили и искористили за своје метаболичке процесе. Овај процес је карактеристичан за барска станишта, где има обиље органске материје која трули и распада се, а услед денитрификације се гасовити азот ослобађа у виду мехурића до површине воде, одакле се поново враћа у атмосферу.

Амонификација је једносмерна реакција при којој микроорганизми врше разлагање отпада и неживе органске материје до аминокиселина, које се потом оксидишу до угљен-диоксида, воде и амонијум јона. Амонијум је тада спреман за усвајање од стране биљака.

Нитрификација је двостепена реакција при којој се јони амонијума оксидишу до нитрита и нитрата, обезбеђујући енергију за организме разлагаче.

Денитрификација је процес при коме се нитрати редукују до гасовитог азота посредством факултативно анаеробних организама.

У воденој средини амонијум се налази у два облика – у јонском облику, као амонијум јон (NH_4^+) или у виду гаса амонијака (NH_3). Оба облика су биодоступне форме азота које водене биљке могу да апсорбују или уграде у протеине, аминокиселине, нуклеинске киселине или друге есенцијалне молекуле. Амонијак је гас који се нормално јавља у површинским водама, али повишене концентрације могу бити веома штетне и довести до масовног помора риба или водених бескичмењака. Такви случајеви се могу јавити у случајевима у којима долази до интензивне разградње одумрле органске материје, ако постоје извори фекалног загађења, или пак уколико непречишћене отпадне воде садрже амонијак. Нитрати (NO_3^-) су такође биодоступни и стварају се када бактерије користе растворени кисеоник при оксидацији амонијум јона. Док се амонијум ретко креће у подземној води, нитрати су веома мобилни и могу доспети у водотоке, језера и ушћа из

подземне воде обогачене животињским или људским изметом или минералним ђубривима. Високе концентрације амонијума или нитрата могу убрзати раст алги и акватичних биљака. Иако је у већини слатководних станишта фосфор најзначајнији ограничавајући нутријент за раст, азот може бити ограничавајући у случајевима у којима је фосфор природно висок. Други ефекат високе концентрације амонијума јавља се када бактерије врше конверзију NH_4^+ у NO_3^- при процесу нитрификације, при чему се троши РК.

Пример утрoшка кисеоника при нитрификацији:

Нитрификација представља оксидативни процес, при коме се четири атома кисеоника утрoше за сваки атом азота који се преводи из NH_4^+ у NO_3^- . Другим речима, око 4,5 mg O_2 се утрoши за 1 mg $\text{NH}_4^+\text{-N}$ (амонијачног азота) који се оксидује у води. На пример, за 2 mg $\text{NH}_4^+\text{-N/l}$, који се оксидује утрoши се 9 mg O_2/l . При температури око 20°C на терену вода бива засићена – сатурисана кисеоником са 8 mg O_2/l до 9 mg O_2/l , нитрификацијом само 2 mg/l амонијума може се искористити сав РК у води (уколико се претпостави да нема реаерације). То оставља мало или нимало РК за дисање акватичних организама. Услед испуштања непречишћених отпадних вода у водене средине може доспети 10 mg до 60 mg $\text{NH}_4^+\text{-N/l}$. Уколико те воде чине велики део количине воде водопријемника, нпр. током малих водостаја, низводно може доћи до озбиљног недостатка РК.

Трећи значајан ефекат амонијака у води јесте директна токсичност по рибе. При високој рН вредности, обично изнад рН 7,5 или 8,0 и повишеној температури, значајан део укупног азота у води јавља се у гасовитом облику као амонијак (NH_3). Овај облик се лако транспортује кроз мембране и делује токсично, пошто ремети ћелијски метаболизам. Токсичност амонијака се директно повећава са порастом температуре и рН вредности.

Извори соли нитрата су најчешће спирање минералних ђубрива у вишки са обрадивих површина, било директно површинским отицајем у водотоке или инфилтрацијом до подземних вода, а одатле до водотока. Поред тога, и неадекватно складиштен стајњак представља извор загађења азотним солима. У воденој средини излучивањем мокраће акватичних животиња ослобађа се амонијак. Ово може посебно бити изражено у рибњацима, где уколико се брзо не реагује, може довести и до помора риба.

Концентрација азотних соли у мору је од 0,2 mg/l до 0,4 mg/l, а амонијачног азота око 0,03 mg/l, док је у близини канализационих излива градова и до 0,2 mg/l.

Према стандардима ЕРА, ниво амонијака који превазилази 0,025 mgN/l сматра се токсичним за рибе. Како истичу Bricker et al. (1999), укупни растворени азот у воденом стубу може бити висок, средњи или низак, у зависности од граничних услова:

- висок ≥ 1 mgN/l,
- средњи $\geq 0.1 < 1$ mgN/l и
- низак ≤ 0.1 mgN/l.

Кружење фосфора

Фосфор је есенцијални елемент за све облике живота, као компонента ДНК, РНК, мембрана и АТП-а (молекула који транспортује енергију унутар живих ћелија). Фосфати настају у процесу минерализације органске материје и веома су важна компонента у плазми, за формирање нуклеотида (пар база на РНК и ДНК), аденозинтрифосфата (АТП), аденозиндифосфата (АДП), појединих кофермената. Такође, они улазе у састав животињског скелета и неопходни су у процесу развоја. Али људским активностима се често ослобађа више фосфора у животну средину кроз индустријске ефлуенте, из постројења за пречишћавање отпадних вода, као отицај са обрадивих површина и пореклом од сточарске производње. Концентрације изнад 0,01 mgP/l могу допринети убрзавању раста биљака. Унети фосфор посебно подстиче раст алги. Пренамножавање алги у воденим површинама назива се „цветање воде”, о чему ће бити више речи у даљем тексту.

Укупни фосфор укључује честице органског материјала или неорганске супстанце, као што су оксиди гвожђа или алуминијума који садрже фосфор. При растварању тих честица у води ослобађају се ортофосфати, што представља хемијски облик који алге могу усвајати. Обично слатководни екосистеми садрже довољно осталих нутријената, тако да је раст алги сразмеран концентрацији фосфора у њој. На тај начин, пренамножавање алги, али и других фотосинтетичких водених организама као што су водене макрофите, тесно је повезано са нивоом ортофосфата у води.

Због чињенице да се фосфор уграђује у седименте и тамо интерно кружи, он је обично веома важан чинилац у језерима. Фосфор тежи да се акумулира везивањем за колоиде и органске материје на дну језера и не спира се док вода истиче из језера. И веома низак и висок ниво рН могу утицати на везивање фосфора. Извесне количине фосфора доспевају до водених површина ношене ветром или спирањем са земљишта.

Кружење фосфора у природи врши се између течне и чврсте фазе и органских облика. За разлику од азота, фосфор не поседује гасовиту форму и не постоји у атмосфери у гасовитом облику, тако да нема обогаћивања водених екосистема из атмосфере. Стене и природни депои фосфата представљају основне изворе природног фосфора. Ослобађање из тих депоа врши се испирањем, ерозијом и експлоатацијом руда. Циклус фосфора на копну укључује мобилизацију неорганског фосфора у фосфате калцијума или гвожђа. Неоргански фосфор усвајају биљке и микроорганизми, уграђујући их у своју биомасу. У води се фосфор може наћи у органском и неорганском облику. Неоргански растворени фосфор у води најлакше усвајају планктонски организми, а преко њих рибе. У телима примарних продуцентата део унетог фосфора се уграђује у биомасу самих организама, а преостали део се након метаболичких процеса путем екскремената, ослобађа у животну средину. По угинућу живих организама минерализација фосфора се врши посредством одговарајућих бактерија.

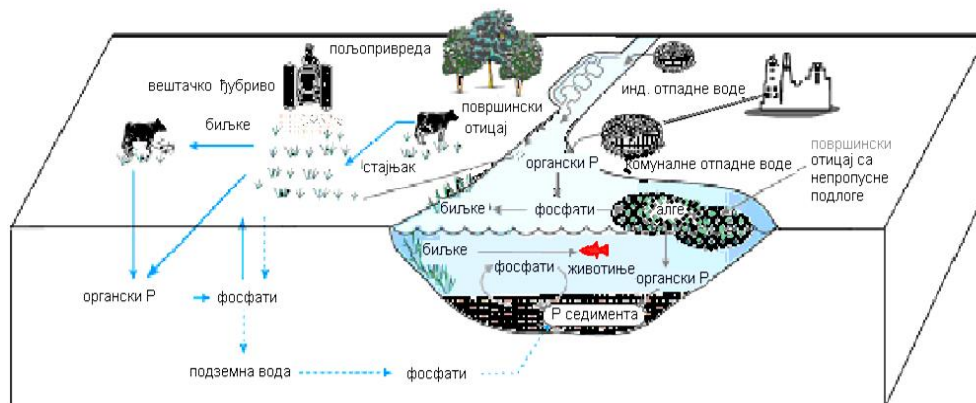
Органски фосфор. Органски честични фосфор укључује живе и неживе честице материје, као што су планктон и детритус. Органски нечестични фосфор обухвата растворени органски фосфор у виду излучевина организама и колоидно везани фосфор.

Неоргански фосфор. Растворљиви неоргански фосфор гради фосфорну киселину (H_3PO_4) и јоне $H_2PO_4^-$, HPO_4^{2-} и PO_4^{3-} , познате као растворљиви реактивни фосфор, који је одмах доступан биљкама. Неке форме фосфата, као што су детерџенти, јесу неорганске, али нису доступне биљкама. Неоргански честични

фосфор обухвата преципитате фосфора, фосфор адсорбован на честице и аморфни фосфор.

Сви облици фосфора у води укључујући органске и неорганске форме чине **укупни фосфор**. Само **растворени реактивни фосфор** фотосинтетички организми могу директно користити, док остале форме морају да буду преведене у облике који су биодоступни. Брзина трансформације зависи од услова животне средине и микробиолошке активности. У водотоцима, због кратког времена задржавања воде, мања је вероватноћа да ће бити времена за трансформацију недоступних форми. Тиме је најпоузданија процена биодоступног фосфора његов растворљиви реактивни облик. У језерима је време задржавања воде дужи, тако да се концентрација укупног фосфора може сматрати адекватном проценом биодоступног фосфора.

У слатководним екосистемима одвијају се многе трансформације фосфора. Један део фосфора се апсорбује у седиментима или подлози и тиме се одстрањује из циркулације. Организми фитопланктон, перифитона и бактерије обично усвајају растворени фосфор и трансформишу га у органски фосфор. Ти организми могу представљати храну другим организмима, који се хране детритусом или се хране биљкама, који излучују део органског фосфора у раствореној форми. Неке претходно бионедоступне форме фосфора посредством микроорганизама прелазе у растворене форме. Настављајући циклус кружења фосфора (слика 20), растворљиви фосфор усвајају биљке и микроорганизми.



Слика 20. Циклус кружења фосфора у животној средини (Miljøstyrelsen, 1996)

Као резултат људских активности јавља се повишена количина фосфора, који доспева до слатководних екосистема реметећи природну равнотежу кружења фосфора.

Концентрација раствореног фосфора у воденој средини је (Bricker et al., 1999):

- висока – виша од 0,1 mg/l,
- средња – између 0,01 и 0,1 mg/l и
- ниска – мања од 0,01 mg/l.

Фосфор се у води налази у облику соли фосфата, којих има их око десет пута мање од нитрата – 0,05 mgP/l до 0,07 mgP/l, због тога он представља ограничавајући фактор за развој еутрофних процеса. Повећане концентрације фосфора изазивају бујање фитопланктона и убрзавање процеса еутрофикације, а нагло повећање количине указује на загађеност површинских вода. У великим морским дубинама, међутим има знатно више (до 1.000 пута), али тамо нису доступни биљкама и другим

фотосинтетичким организмима. Мањак фосфорних соли јавља се као ограничавајући фактор у метаболизму екосистема копнених вода.

Циклус кружења угљеника

Угљеник се у воденој средини може наћи у више облика: као **растворени неоргански угљеник**, **растворени органски угљеник** и **честични органски угљеник**. Истим тим редоследом јавља се и релативна заступљеност поменутих облика. И док се органски и неоргански растворени облици угљеника јављају у стубу воде, дотле је депо честичног угљеника најчешће детритус (одумрли органски остаци организама) или је уграђен у живе организме.

Неоргански растворени угљеник у води састоји се из CO_2 (угљен-доксида), HCO_3^- (бикарбонатних анјона) и CO_3^{2-} (карбонатних анјона). У воденом раствору ови облици могу прелазити из једног у други, али се равнотежа међу њима успоставља у зависности од рН вредности, фотосинтетске активности и респирације водених организама. Најзначајнији извор CO_2 је атмосфера, који растварањем обогаћује водени стуб. Приликом фотосинтезе CO_2 се усваја из воде и уграђује у биомасу фотосинтетичких организама. На тај начин се CO_2 губи воде. Поред тога, сви живи организми дишу, те се током респирације (дисања) живих организама ослобађа CO_2 и на тај начин се водени стуб поново обогаћује овим гасом.

Угљеник уграђен у биомасу фотосинтетичких организама (произвођача) путем ланца исхране преноси се кроз више карице у ланцу исхране. При обављању животних функција, један део угљеника се губи кроз екскрецију. Поред тога, по угибању организама органски везани угљеник прелази у **растворени органски угљеник**. Хетеротрофни микроорганизми, као што су бактерије, искоришћавају органски угљеник пореклом од екскрета и на тај начин ослобађају водену средину од штетних супстанци. Један део органског угљеника остаје везан у минералном облику у виду љуштуре или скелета, таложећи се на дну, где може градити седиментне стене.

Депо **честичног органског угљеника** чине живи организми и детритус. Примарна продукција је извод овог облика угљеника, а троши се исхраном хетеротрофних организама, активностима паразита и коначно одумирањем свих организама. Трансформација **честичног органског угљеника** у неоргански облик врши се при процесу дисања, а у растворени органски облик при екскрецији. Седиментацијом се овај облик губи из пелагијске зоне и депонује у бентосу. Одатле се може циркуларним покретима воде вратити поново у пелагијску зону, или се може трансформисати у неки други облик угљеника услед активности бентосних организама. Поред тога, љуштуре шкољки и друге потпорне творевине водених организама – скелети грађене су од калцијум-карбоната (CaCO_3). У воденим екосистемима животињски организми формирају CaCO_3 на рачун растворених јона калцијума и бикарбоната. На тај начин, угљеник се из раствореног облика преводи у чврсти и ту остаје заробљен (слика 21).



Слика 21. Љуштуре шкољки сачињене од CaCO_3 , што води имобилисању/задржавању угљеника (обала Дунава, Каменички парк, Сремска Каменица; март 2023)

2.2. Макро и микроелементи

У састав живих организама улази мноштво хемијских елемената и сви они се називају **биогени елементи**. Најчешћи биогени елементи који су неопходни за раст и развој организама су: **N, P, S, Mg, Fe, O, C, K и Ca**.

Насупрот њима **Zn, Cu и Mo** се усвајају у веома малим количинама, али су такође неопходни за живот јер улазе у састав ензима и хормона, па се називају **микроелементи**.

Магнезијум се у води јавља у облику растворљивог бикарбоната и у мору га има до 10 mg/l. Његов значај је у томе што улази у састав хлорофила.

Гвожђе се налази у малим количинама у води, свега неколико mg/l. Улази у састав фермената за дисање, хемоглобина, а има улогу и као катализатор у синтези хлорофила. Уколико га има више од 5 mg/l, оно негативно делује на поједине водене организме.

Поред њих, у води се готово увек налазе **Na и Cl** у виду **NaCl**. Ови елементи немају већег значаја за биљке, али код животиња се налазе у крви и екстрацелуларној течности и имају веома важну улогу у регулацији осмотског притиска.

Копнене воде имају, за разлику од морских, много нижу концентрацију соли. Нешто више има раствореног калцијум-бикарбоната – $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ и због тога припадају **хидрокарбонатном (бикарбонатном) типу вода**. Неке копнене воде, које долазе у контакт са већом количином минералних материја, садрже веће концентрације соли, па се називају **минералне воде**.

Количина (концентрација) **гасова** и **соли** у једном воденом екосистему није увек иста у току године и јавља се у виду сезонских варирања показујући одређену **биохемијску слојевитост**. У великим стајаћим воденим басенима, као што су језерски екосистеми, она је изражена у виду **вертикалног градијента**. Овакав распоред соли и гасова зависи од више фактора, а најзначајнији су температура воде, количина органске материје, интензитет светлости, густина насеља хидробионата и др. Током пролећа и јесени, услед вертикалних струјања долази до мешања целокупног воденог стуба, па је распоред гасова и соли равномеран. Престанком процеса мешања воде (лето и зима) продукти настали оксидо-редукционим процесима остају на дну и уколико је продукција висока (лети), таложи се већа количина соли нарочито **азота, фосфора, сумпора и гвожђа**. **Азотних соли** има и у средњим деловима воденог стуба, где је температура уједначена, а потичу од распадања планктонских организама, пошто у овом слоју има довољно РК, па процес минерализације тече до краја. У горњем слоју (**епилимнион**) **N и P** соли има знатно мање јер их фитопланктонски организми стално троше. Вертикална стратификација

је нарочито изражена код азотних и фосфорних соли (нарочито лети), а вредности расту од површине према дну. Ове соли имају значајну улогу за примарну као и укупну биопродукцију воденог екосистема и у недостатку се јављају као ограничавајући фактор ових процеса. Дубока и хладна језера, чија је продукција ниска, немају изражену вертикалну слојевитост гасова и соли.

2.3. Тешки метали

Животна средина се обogaђује тешким металима најчешће путем различитих људских активности. Већина њих, као што су бакар, цинк, олово и хром су тешко растворљиви у већини вода. Ипак, они могу бити везани за честице суспендоване у води и кретати се заједно са водом. Уколико су везени за веома мале честице – колоиде (мање од 1 μm), у том случају се веома споро таложе.

Многе водене биљке и животиње су веома осетљиве на растворене метале, чак и при концентрацијама од ppb (енг. *parts per billion*). Међутим, због њихове нерастворљивости, високе концентрације метала се ретко јављају, осим уколико је рН вредност веома ниска, нпр. код спирања са киселих површина рударских копова, или воде порекло од индустријских отпадних вода које могу садржати високе концентрације метала. Они се обично налазе у водама у концентрацијама опсега од 1 ppb до 100 ppb. Већина метала јавља се из природних извора, тако да постоји позадинско оптерећење које се мора узимати у обзир.

На пример, **жива** се у водама нормално јавља у малим количинама. Међутим, у загађеним хидроекосистемима повећане количине живе се акумулирају у ткивима и органима водених животиња (нпр. у гонадама **риба**), што може да изазове разне генетске промене. У водене екосистеме најчешће доспева коришћењем фунгицида на околном пољопривредном земљишту.

Оптерећења се изражавају као укупна концентрација метала. Да би се добила укупна концентрација метала, јака киселина се додаје узорку воде, који се потом загрева, да би се разградиле све органске и минералне чврсте материје које могу садржати метале. Дозвољена оптерећења се изражавају у mg метала по дану. У нашој земљи је Уредбом о граничној вредности емисије (Сл. гласник РС бр. 67/11) регулисано испуштање тешких метала из различитих извора.

2.4. Микробиолошки параметри

Микроорганизми представљају најстарије становнике наше планете, веома су отпорни на различите услове спољашње средине, те се могу наћи у свим воденим стаништима. Групе микроорганизама које имају највећи значај у воденој средини су: **бактерије, алге, актиноцисте, које спадају у гљиве, и поједине паразитске праживотиње (Protozoa).**

Бактерије су најчешће сапрофитски организми што значи да су им основни извор хране готове органске материје пореклом од одумрлих остатака других организама. На тај начин оне разграђују органске материје вршећи њихову минерализацију. Ипак, поједини сојеви бактерија могу бити патогени за људе или водене животиње.

Другу значајну групу организама чине микроскопски ситни фотосинтетички организми – **алге**. Оне сачињавају фитопланктон и имају значајну улогу у

производњи биомасе у воденим срединама, односно представљају примарне продуценте – прву карику у ланцу исхране.

Поред поменутих група, нешто крупнији организми, по типу хетеротрофи чине зоопланктон. Термин зоопланктон обухвата више група, као што су: Protozoa, Rotatoria, Cladocera и Copepoda. За њих је карактеристично да се хране било бактеријама, фитопланктоном или детритусом, доприносећи такође минерализацији органске материје. Постоје и патогене протозое, које су изазивачи болести човека или водених животиња.

Из практичних разлога, пре свега очувања здравља људи, у пракси се најчешће раде микробиолошке контроле воде са аспекта употребљивости воде за **санитарно-хигијенске потребе**, односно воде која се користи за одржавање личне хигијене људи и опште хигијене, нашег радног и животног простора.

Квалитет воде је деградиран присуством људских патогена који најчешће воде порекло од септичних јама или процуривањем цевовода канализације или њиховим преливањем. Људи су изложени патогенима на два начина: пливајући или пијући воду људи могу директно да унесу патогене; и конзумирањем водених организама без претходне припреме (рибе, шкољке и др.) који акумулирају паразите интерно или екстерно.

У воденој средини бактерије се ретко могу наћи појединачно, а најчешће се срећу у малим накупинама, или су причвршћене за честичне материје и у оба случаја чине грудвице. Свака таква грудвица може имати мноштво бактерија које су за њу повезане. Имајући то у виду, током пребројавања бактерија, оне се не изражавају као број појединачних бактерија које су пребројане, већ кроз број накупина или честица на којима су бактерије.

Методe за мерење концентрације патогена директно су скупе и захтевају време. У већини случајева користе се индикаторски организми уместо анализирања самих патогена. Индикаторски организми су бактерије које се такође јављају у хуманом или анималном измету, али саме нису патогене. Оне укључују колиформне бактерије, које примарно нису токсичне, а природно се јављају у пробавном систему људи и животиња. Најчешће је то ешерихија коли (*Escherichia coli*), специфична колиформна врста, која припада ентерококама и карактеристична је за људски цревни систем. Насупрот патогенима, колиформе је лако сакупити и пребројати и оне често указују на то да ли је фекални материјал доспео до водног тела. Неповољна страна коришћења колиформа је та што њихово коришћење као тест организама није специфично, односно не постоји разграничавање између хуманих колиформа и колиформа пореклом од топлокрвних животиња (нпр. стоке, паса, мачака), или чак дивљих животиња, које директно контаминирају воду својим изметом. Док се не развију прецизније методе за разграничавање тих форми, број укупних колиформа ће бити у употреби.

У већини случајева оптерећење колиформним и фекалним бактеријама се изражава као број ћелија у 100 ml воде, са различитим вредностима прага. На пример, према Уредби о граничној вредности емисије (Сл. гласник РС бр. 67/11), комуналних отпадних вода које се испуштају у површинске воде које се користе за купање и рекреацију, водоснабдевање и наводњавање, ограничења су следећа:

- колиформне бактерије – 10.000 у 100 ml воде,
- колиформне бактерије фекалног порекла – 2.000 у 100 ml воде и
- стрептококе фекалног порекла – 400 у 100 ml воде.

Укупни колиформи

Са аспекта безбедности за људе и идентификације потенцијалног извора контаминације фекалијама, посебан значај има одређивање **укупних колиформних бактерија**. Овај термин се најчешће односи на велику групу грам-негативних штапићастих бактерија. Поменута група бактерија укључује термотолерантне колиформе и бактерије фекалног порекла, али и бактерије које могу бити изоловане из спољашње средине. Према томе, присуство колиформних бактерија може, али не мора обавезно индиковати фекално загађење. У ретким случајевима може се догодити да је број укупних колиформа висок, али од тога је број термотолерантних колиформа низак, или да их чак и нема. Разлог томе може бити спирање земљишта или уношење органског материјала у воде, или услови у води могу бити такви да погодују развоју колиформних бактерија. При идентификацији у лабораторијским условима укупни колиформи се постављају на медијум који садржи лактозу и при температури од 35°C до 37°C, док се термотолеранти колиформи инкубирају при 44°C до 44,5°C. У оба случаја идентификација се врши на основу продукције киселине и гаса при процесу ферментације лактозе. Уколико се покаже да у испитиваном узорку воде из животне средине има термотолерантних колиформа, велика је вероватноћа да се ради о фекалној контаминацији. У 95% случајева изоловане термотолерантне колиформне бактерије представљају сојеве *Escherichia coli*, карактеристичне за дигестивни тракт човека и топлокрвних животиња (Bartman & Balance, 1996).

2.5. Органске материје

Поред неорганских соли у води се налазе и органске материје. На првом месту то је **хумус** који се састоји од тешко растворљивих хуминских киселина. Затим се у мањим количинама јављају шећери и аминокиселине у виду излучевина акватичних организама или су пореклом из отпадних вода. **Нафта** је све чешће присутна у нашим водотоцима, а у њеном разграђивању учествују микроорганизми (**нитасте, сумпорне и гвожђевите бактерије**, затим **гљиве** и **Protozoa**). Такође се јављају и **феноли**, као деривати нафте, који имају способност кумулирања у појединим ткивима и органима хидробионата (најчешће у мишићима риба) са карактеристиком непријатног мириса и укуса. Веће количине нафте и фенола изазивају оштећења на шкргама риба. У хидроекосистемима могу се наћи и **детерџенти**, чија појава узрокује низ негативних последица: смањење површинског напона воде, разлагање вителусне кесе риба и смањење апсорпционе површине за усвајање РК из ваздуха, а њихова разградња је спора. Као последица тачкастог загађења у воде доспевају **пестициди**, веома стабилне материје које се кумулирају у многим воденим животињама, највише у масном ткиву (нпр. риба). Органофосфорне пестициде разграђују неки микроорганизми.

Само мали број акватичних врста може непосредно да користи органске материје. **Модрозелене алге** директно усвајају растворене аминокиселине, затим неке **глисте** и **зглавкари**. Органска материја је најчешће храна микроорганизмима (**бактеријама**) који је разлажу до неорганских материја.

Приликом разлагања органске материје троши се велика количина РК, долази до промене рН, а увећава се и концентрација соли. Овако промењени услови погодују само једном мањем броју хидробионата чија се индивидуална бројност нагло повећава и они активно учествују у процесу самопречишћавања вода. Такви

организми су веома добри биоиндикатори у процени органског оптерећења водених екосистема.

Органске супстанце у траговима – пестициди

Људи уносе велики спектар органских молекула у животну средину. За многе од њих је нађено да су токсичне. У многим случајевима, пестициди у водама изазивају забринутост. Они могу водити порекло од пољопривреде, шумарства, урбаних површина, контроле корова, инсеката, гљивичних обољења или других штеточина.

Постоји на стотине тих органских једињења која се могу наћи у траговима у животној средини. Анализе су обично скупе и захтевне, те се при одабиру најважнијих молекула који ће се анализирати морају узети у обзир и цена анализа и утрошено време. Треба проценити који молекули имају највише изгледа да се појаве у сливу и на њих тестирати узорке воде. На пример, уколико је кукуруз доминантна култура у сливу, има смисла анализирати водотоке у сливу на пестициде који се користе при узгоју кукуруза.

Генерално, постоји велика несигурност о краткорачним и дугорочним ефектима тих хемикалија у животној средини, што представља потешкоћу при постављању стандарда за граничне концентрације и оптерећења. У већини случајева не постоји позадинско оптерећење тим једињењима, јер оне не постоје у природи. У нашој земљи ово поље регулише Уредба о граничним вредностима приоритетних и приоритетних хазардних супстанци које загађују површинске воде и роковима за њихово достизање (Службени гласник РС бр. 35/11).

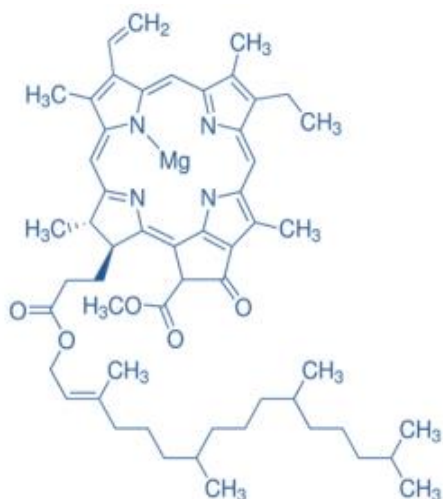
2.6. Хлорофили и други пигменти

Фотосинтетички организми представљају значајну почетну карику у ланцу исхране у воденим екосистемама. Биомаса тих организама се ствара захваљујући процесу фотосинтезе. Кључни чиниоци овог процеса јесу фотосинтетички пигменти, од којих најзначајнију улогу имају **хлорофили**. Уз њихово посредовање врши се конверзија Сунчеве енергије и продукују се органски молекули везивањем неживих компоненти, на првом месту воде и угљен-диоксида, али и других минералних материја. Иначе, цео процес фотосинтезе у оквиру ћелија одвија се у органелема **хлоропластима**. Основни зелени пигмент је **хлорофил а** (слика 22), док је нешто мање заступљен **хлорофил б**. Хлорофил а и б се срећу од свих виших биљака и зелених алги, док се у зависности од групе алги могу наћи још и **хлорофил ц, д и е**. За цијанобактерије је карактеристично, да поред **хлорофила а** поседују и друге помоћне пигменте из групе **фикобилина**: плавичасти пигмент – **фикоцијанин** и црвенкасти пигмент – **фикоеритрин**.

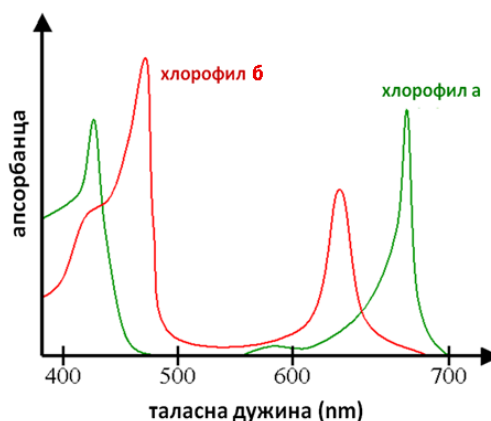
Мерењем концентрације хлорофила могуће је проценити биомасу фитопланктона. Ова мерења се спроводе уколико је циљ праћење повишених концентрација нутријента у воденој средини или развоја еутрофних процеса. Специфичност фитопланктона је да његова концентрација опада са дубином, те уколико то истраживање захтева, могуће је спровести и мерење концентрације хлорофила и на различитим дубинама.

Одређивање концентрације **хлорофила а** и других пигмената, везано је за спектрални одзив – одређене таласне дужине, за које одређени пигменти имају своје

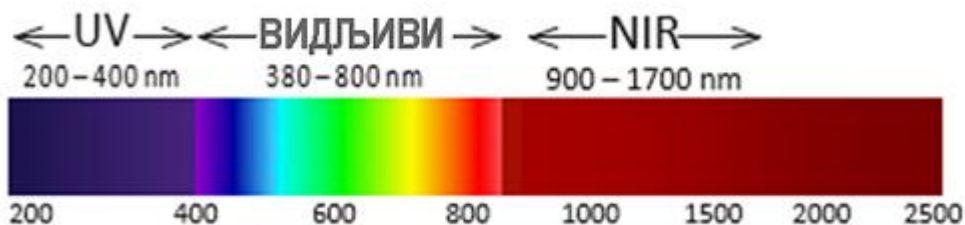
пикове (слика 23). Тако хлорофил **а** има своје пикове апсорпције на 430 nm и 660 nm, а хлорофил **б** на 453 nm и 642 nm. Интензитет рефлектансе на одређеној таласној дужини је пропорционалан концентрацији датог пигмента. Стога се, ради одређивања концентрације пигмената, користе уређаји који мере спектрални одзив – спектрофотометри или флуориметри, у одређеним деловима спектра, било да је то ултраљубичасти (UV), видљиви или блиско инфрацрвени (слика 24).



Слика 22. Хемијска формула молекула хлорофила а



Слика 23. Карактеристични графикони апсорпције молекула хлорофила а и б



Слика 24. Видљиви и невидљиви делови спектра: 200 nm–400 nm ултраљубичасти (UV); 380 nm–800 nm видљиви и 900 nm–1.700 nm блиско инфрацрвени (NIR)

Мониторинг хлорофила а и других пигмената

Концентрација хлорофила или неког другог пигмента може се одредити на два начина: 1) *in situ* – директно одређивањем концентрације на терену и 2) *ex situ*, разарањем ћелија и екстраховањем појединачних молекула пигмената у органском растварачу.

Инструменти на терену могу мерити присуство хлорофила мерењем ослобађања светлосне енергије на одређеној таласној дужини када се узорак стимулише светлошћу друге светлосне дужине, а тај феномен назива се **флуоресценција**. Интензивнија флуоресценција обично указује на веће присуство

хлорофила у узорку. Флуоресценција хлорофила јавља се када се он изложи плавом светлу. *In situ* (на месту узорковања воде на терену) опрема за тестирање хлорофила састоји се од извора, која емитује плаво светло, тј. диоде (LED), и детектора који има филтер испред њега да би блокирао интерференцију из других извора, првенствено турбидитета воде. Опрема за тестирање *in situ* за хлорфил а није прецизна као лабораторијска опрема. Већина теренских инструмената, који користе флуоресценцију да би анализирали хлорофил мере све што флуоресцира по оптичким карактеристикама. Постоје многи други пигменти у оквиру ћелија алги које могу да апсорбују и апсорбоваће плаву светлост на начин на који то чини и хлорофил. Ипак, у зависности од врсте, већи део флуоресцирајућег пигмента у ћелијама алги (око 90%) чини хлорофил а. Најједноставнији начин одређивања је коришћењем прекалибрисаног сензора за одређивање концентрације хлорофила, који ради по принципу флуориметра. Одређивање се врши тако што се сонда урони у воду, а на дисплеју се очита концентрација хлорофила а (или неког другог пигмента, нпр. фикоцијанина) у $\mu\text{g/L}$.

При одређивању концентрације пигмената модрозелених алги такође се примењује метод флуоресценције. Таласна дужина којом се врши екситација фикоцијанина је на око 595 nm, а потом он емитује светлост таласне дужине на око 670 nm, чији интензитет надаље детектује одговарајући сензор. При детекцији фикоеритрина, пигмента цијанобактерија карактеристичног за морске средине, побуђивање се врши емитовањем светлости од око 528 nm, док након побуђивања он емитује светлост на око 573 nm (Berkman, Canova, 2007).

Уколико се планира одређивање концентрације хлорофила *ex situ*, узорковање воде врши се са истог места и истим поступком као и при узорковању воде ради одређивања других параметара. Крупније нечистоће и зоопланктон одвајају се филтрирањем кроз одговарајућу мрежицу, нпр. промера отвора од 300 μm . Након узорковања потребно је у што краћем року профильтрирати воду узорка кроз фиберглас филтер папир (GF/C Whatman или сличан/подударан), или се неколико сати узорак може чувати на хладном месту у мраку у полиетиленским боцама. Након филтрирања, филтер папир се пресавије на пола, тако да остаци филтрата буду оријентисани према унутра. Филтер папир се стави пажљиво у обележену полиетиленску кесицу, а затим се чува на хладном и мрачном месту (нпр. у ручном фрижидеру) до одношења у лабораторију. У лабораторији се филтер папир са филтратом хлорофила раствара у неком растварачу (нпр. етанол, ацетон и др.), центрифугира се, а супернатант се одлива и у њему се очитава на спектрофотометру на одређеној таласној дужини апсорбанца и затим прерачунава уз помоћ формула концентрација хлорофила а.

Концентрација хлорофила представља користан индикатор стања квалитета површинског воденог тела, те и за овај параметар постоји категоризација (табела 2), за велике реке са доминацијом финог наноса – реке ТИПА 1 и сва језера и барско-мочварне екосистеме за I–II класу квалитета вода захтева се максимално 25 $\mu\text{g/l}$. За остала водна тела нису тако строги захтеви, пошто се не захтева да квалитет буде I класе квалитета, те је ова категорија изостављена. У сваком случају, концентрације хлорофила а преко 50 $\mu\text{g/l}$ указују на неповољан квалитет воде и појаву еутрофних процеса (слика 25).

Табела 2. Граничне вредности за концентрацију хлорофила а за различите класе квалитета воде према правилнику (Сл. гл. РС, 74/11)

Параметар	Јединица	Класа квалитета еколошког статуса			
		I–II	II–III	III–IV	IV–V
биомаса фитопланктона, хлорофил а	µg/l	25*	50**	100**	250**

* Реке ТИП 1 и сва језера и барско-мочварни екосистеми

** Акумулације формиране на водним телима ТИПА 1–6 и вештачка водна тела



Слика 25. Лудашко језеро са изразито високим концентрацијама цијанобактерија (Лудаш – север, јун 2015)

Методe за детекцију хлорофила:

Флуорометрија се препоручује код нижих концентрација хлорофила у узорцима воде слатководних средина у којима је концентрација ниска, али виша од 1 µg/l, или где диференцирање других пигмената није од значаја.

Спектрофотометрија се препоручује за слатке воде у којима је концентрација хлорофила умерена до високе, (виша од 1 mg/l), или где није потребно диференцирање других пигмената.

Течна хроматографија под притиском (енг. *High performance liquid chromatography – HPLC*) је најпрецизнија метода за одређивање концентрације хлорофила. Прецизност је већа од 1 ng/l и препоручује се за морске средине, где високе концентрације хлорофила b могу утицати на резултате уколико се примењују друге методе.

2.7. Промене или модификације станишта

Промене на стаништима или модификације дуж водних тела могу бити изазвани изградњом брана, измуљивањем, каналисањем, прокопавањем дренажних канала, изградњом аутопутева и њиховим одржавањем, итд. При многима од тих промена уклањају се заштитни појасеви састављени од дрвенасте и жбунасте вегетације дуж водотока. Ове активности неизбежно воде до повећања отицаја и турбидитета захваљујући еродираним земљишту са обала водотока, а долази до погоршања и осталих параметара квалитета воде (нпр. повећање концентрације суспендованих честица, БПК₅, електропроводљивости, а опадања РК и др.). Индикатор да су неки од отицаја ових промена кориговани било би смањење турбидитета и суспендованих честица, укључујући седименте и муљ, захваљујући примени добре управљачке праксе (енг. *Best Management Practice – BMP*).

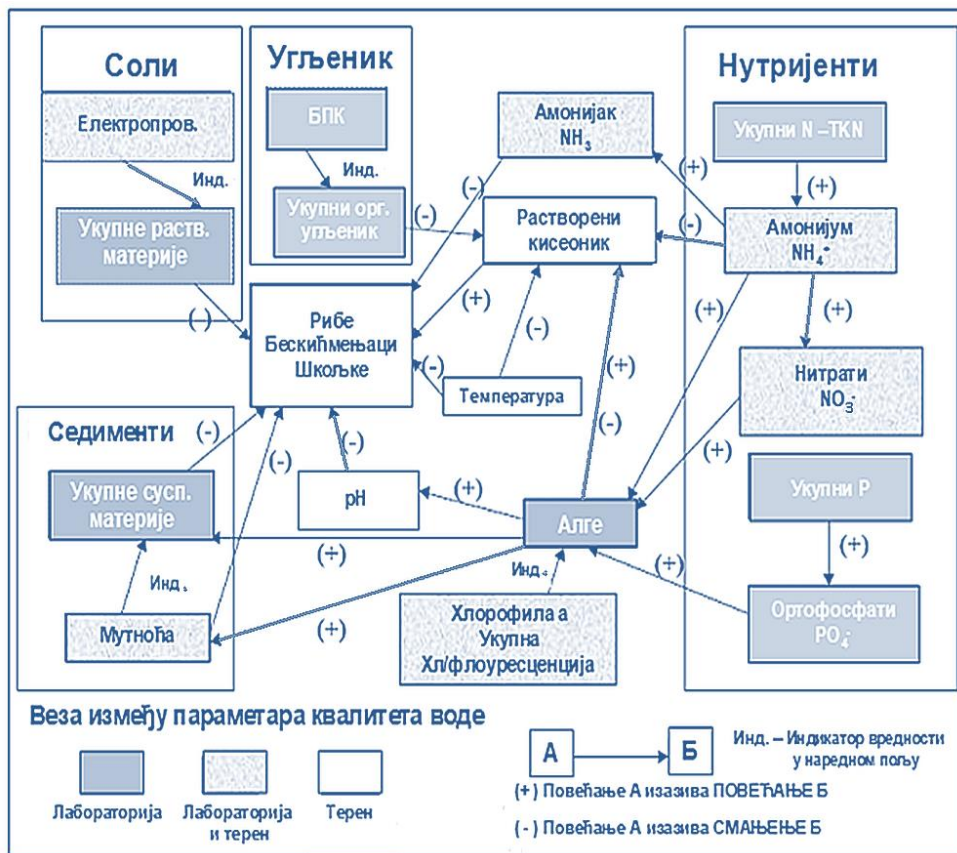
И док се модификације канала не могу довести у везу саме по себи са оптерећењем, многе државе праве везу између станишта и водених организама на основу многих фактора (нпр. промена у транспорту седимената, протока, светлости, температуре, супстрата дна и др.), који утичу на виталност водотока. Специфични биолошки стандарди засновани на биолошким показатељима коришћени су као оруђа за мерење. Неки од њих су индекс биолошког интегритета, који испитује и оцењује различите аспекте рибље заједнице, + и индекс заједнице бескичмењака, који испитује макроинвертебрате (водене бескичмењаке).

Корективне активности добре управљачке праксе подразумевају обнављање заштитних зона, станишта водотока, реконструкција водотока, сађење дрвећа у циљу стабилизације и утврђивања обала ради ублажавања њихове ерозије. Већ је било речи о томе да се у ЕУ идентификују неугрожени водотоци како би се користили као референтни при мерењу њихове биолошке композиције, укључујући рибе и водене бескичмењаке. Биолошке заједнице таквих референтних водотока служе као крајњи циљ када се врши поправљање квалитета модификованих станишта. Природна геоморфологија (попречни пресек водотока, дубина, супстрат дна, меандрирање и друге променљиве) и пејзаж такође могу усмеравати напоре за рестаурацијом.

2.8. Интеракције међу параметрима

У воденој средини одвија се мноштво интеракција између живе и неживе компоненте. Хемизам воде, који обухвата растворене гасове, јоне и молекуле, мења се услед активности живих организама. Постоји мноштво променљивих величина – параметара квалитета воде који се могу пратити у води. Стање квалитета воде оцењује се мерењем појединих параметара њеног квалитета. Параметри се могу мењати на дневном и чак сатном нивоу (такви су нпр. РК и рН вредност), а други се могу мењати током неколико дана, седмица, или сезонски. Неки параметри чине директне учеснике у процесима, а други су само индикатори. Пример директног параметра је концентрација РК, док је електропроводљивост индикатор концентрације растворених соли у води, пошто је интензитет проведене струје пропорционалан концентрацији у воденом раствору. Поред тога, и концентрација хлорфила а индикаторски је параметар за присуство фитопланктонских алги. Водена средина је сложен систем и са бројним интеракцијама, а међузависности које су успостављене међу појединим параметрима могу бити позитивне и негативне, а чак

и променљиве у зависности од околности. На слици 26 приказане су најважније релације међу параметрима квалитета воде.



Слика 26. Веза између параметара квалитета воде (Jarell, 1999)

Централно место међу параметрима квалитета воде који су од значаја за опстанак већине живих организама у води представља РК. Као што је већ било речи, на његову концентрацију има утицаја температура. Пошто се на основу физичке зависности концентрација РК повећава са смањењем температуре, а опада са њеним порастом, тако да је ова релација означена са „-“. Поред тога, РК се у води обнавља (на слици 26. ова релација је обележена са „+“) услед одвијања процеса фотосинтезе примарних продуцената, те он зависи и од бројности фитопланктонских алги и густине макрофита. Услед дисања свих организама у води, кисеоник се троши. Пошто представља одлучујући фактор опстанка многих водених организама, услед дисања, ова релација је означена са „+“. Имајући то у виду, специфичан двојни однос алги и кисеоника, означен је и са „+“ и са „-“, што се објашњава процесима фотосинтезе и процесом дисања. Поред тога, РК се троши и услед распадања и разлагања органских материја њиховом оксидацијом – те отуд „-“ за релацију између укупног органског угљеника и РК. Надаље, трансформације азотних једињења су праћење оксидативним процесима, при чему се од органског азота преко амонијака и нитрата, добијају нитрати. Због поменутог, ова релација је означена са „-“.

Фосфорна једињења позитивно утичу на развој алги, те је то означено са „+“. Укупне растворене соли и седименти уколико су повишени негативно (-) делују на рибе, шкољке и бескичмењаке. рН вредност водене средине зависи од доминантних процеса, те уколико фотосинтеза доминира, повишава се ова вредност, што негативно (-) утиче на рибе, шкољке и другу фауну дна. Пренамножавање

фитопланктона позитивно утиче на повећање мутноће и концентрације суспендованих честица.

Параметри су груписани у категорије нутријената (N и P у овом случају), седимената, угљеника (органичка материја) и соли, ради лакшег праћења. Стрелице указују на релације. У случају где су A и B параметри квалитета воде ознака A→B указује да промена параметра A утиче на B. Минус (-) поред стрелице означава да повећање A резултира у смањењу B. Плус (+) поред стрелице указује да повећање A доводи до смањења B. На пример, више вредности за укупни P доводе до повећања ортофосфата, јер они могу бити ослобођени из честица које садрже P. Са „Инд.“ поред стрелице означено је да је A индикатор, пре него директно мерење B. На пример, електрична проводљивост (EP) је индикатор укупних растворених соли. Одређује се EP, јер је то лакше мерити него директно растворене соли. Количина соли може имати директан утицај на здравље организама, али EP уопштено то не изазива; једина предност је што је то брз, јефтин индикатор концентрације соли у води. Поред тога, слика 26 информиса и о томе који параметри се обично мере на терену, који се мере у лабораторији, а који се могу мерити на оба места. Параметри, као што су температура, рН и растворени кисеоник, могу се брзо променити након узорковања и могу дати потпуно различите вредности у лабораторији у односу на оне са терена. Затамњивање поља указује да ли је параметар мерен на терену, у лабораторији или на оба начина.

Ради добијања целовитије слике о стању квалитета воде потребно је извршити мерења што већег броја параметара. Међутим, имајући у виду карактер водног тела и његове доминантне процесе, могуће је и на основу мерења само неколико параметара окарактерисати квалитет воде.

2.9. *Опрема и методе за мониторинг квалитета воде*

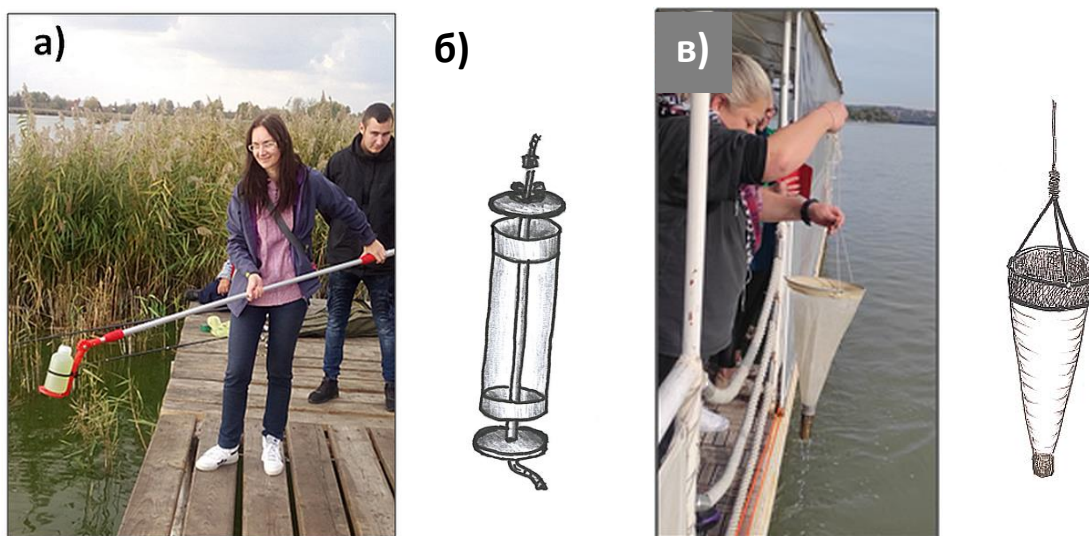
При мониторингу квалитета воде појединачне параметре је могуће пратити и мерити на различите начине. Први начин обухвата мерење параметара на терену (*in situ*), при чему се на лицу места, коришћењем различитих средстава, одређује концентрација појединих параметара. На тај начин најчешће се мере физички параметри, као што су температура, рН вредност, електропроводљивост, турбидитет, али и поједини гасови, нпр. концентрација раствореног кисеоника. Као опрема, у новије време се користе различити сензори специјално дизајнирани за мерење појединих параметара. Уколико су мерни уређаји претходно калибрисани овакав вид прикупљања информација представља веома пожељан начин.

Поред тога, неке параметре није могуће измерити на терену, већ се захтева допремање узорака у лабораторију. Ради узорковања воде, користе се различита средства у зависности од тога шта је предмет истраживања и која је сврха мониторинга. Ради одређивања хемизма површинског слоја воде, користи се **штап на који је причвршћена боца**, која се урања 0 cm–50 cm дубине (слика 27а).

Уколико истраживање захтева да се одреди састав воде у зависности од дубине, користи се **Рутнерова боца** (слика 27б), где постоји могућност да се узорак воде захвати са тачно одређене дубине. Наиме, боцу чини стаклени цилиндар пречника 8 cm–10 cm, који се посебним механизмом може отворити како би у њега ушла вода када се боца урони до жељене дубине, а пошто се напуни исти механизам се користи за затварање.

Уколико је циљ истраживања одређивање квалитативног и квантитативног одређивања планктона користи се планктонска мрежица (слика 27в). Она је

начињена од металног обруча за који је причвршћена мрежица. Мрежица се израђује од млинске свиле, а финоћа се одређује густином нити по cm^2 и може се кретати од 7 нити/ cm^2 –77 нити/ cm^2 . У рекама и језерима најчешће се користи мрежица од 22 нити/ cm^2 –25 нити/ cm^2 . Материјал је тако кројен да има конусан облик, а завршава се металном чашицом. Узорковање се врши тако што се планктонска мрежица провлачи кроз воду неколико пута, а у металној чаши на дну се накупља финално профилирани узорак воде. При испитивању заступљености микробиолошких показатеља, узорак воде се захвата директно у стерилну боцу.



Слика 27. Опрема за узорковање: (а) штап са боцом, (б) Рутнерова боца и (в) планктонска мрежица (а – Лудашко језеро, март 2020; в – Дунав код Футога, октобар 2022)

У узорцима допремљеним у лабораторију најчешће се, применом хемијских или фотохемијских метода врши одређивање концентрације низа параметара, као што су ХПК, нутријенти (једињења азота и фосфора), метали, опасне материје нпр. цијаниди и сулфиди, али и материје синтетичког порекла, нпр, пестициди и др. Одређивање БПК на савремен начин такође се врши сензорски, након инкубирања узорка 5 дана у мраку, на температури од 20°C .

Одређивање **микробиолошких параметара** може се вршити само посматрањем под микроскопом, при чему се могу препознати представници фитопланктона, зоопланктона и протозоа, а након бојења и групе бактерија. Ради прецизног одређивања бројности бактерија, врши се засејавање познате количине узорка воде на одговарајућу хранљиву подлогу. Након прописаног времена инкубације (24, 48 часова или више дана), долази до диференцијалног раста микроорганизама, пошто поједине групе микроорганизама преферирају одређену хранљиву подлогу. На описане начине одређује се присуство микроорганизама, а из односа разблажења и броја колонија које су се формирале на подлози добија се њихова концентрација у узорку воде.

Финално, поједини параметри квалитета површинских водних тела могу се оценити и путем даљинске детекције, што је детаљно објашњено у поглављу које следи.

2.10. Даљинска детекција при мониторингу квалитета вода и приобаља

Последњих неколико деценија даљинска детекција је нашла своју све ширу примену при проучавању просторних облика и феномена везаних за животну средину и њено стање. Даљинска детекција (*remote sensing*) је термин који означава технике које се користе при прикупљању података без физичког контакта са објектом посматрања. Обично је у питању детекција електромагнетних сигнала, тј. светлосних спектра различитих таласних дужина (пасивни метод), или емировањем неких сигнала, при чему се мери одбијени сигнал (активно мерење). Ове методе се примењују тако што се сензори причврсте за летелице (дрон, авион, или сателит). Предност наведених метода је што се у релативно кратком року може прикупити велики број података, који су геореференцирани (за сваки податак постоји тачна локација у простору). Поред тога, пошто нема физичког контакта, није могуће утицати на испитивану појаву. Предност се огледа и у томе што се мониторинг може извршити на великој површини терена, а такође и на опасним и неприступачним местима.

Даљинска детекција квалитета воде се обично примењује на веће водене површине, где се, поред температуре, воде могу одредити и још неки параметри који се могу детектовати на основу промене интензитета таласних дужина појединих опсега видљивог, али и невидљивог дела спектра. Применом даљинске детекције на водене површине могуће је одредити температуру, турбидитет, концентрацију суспендованих честица и хлорофила.

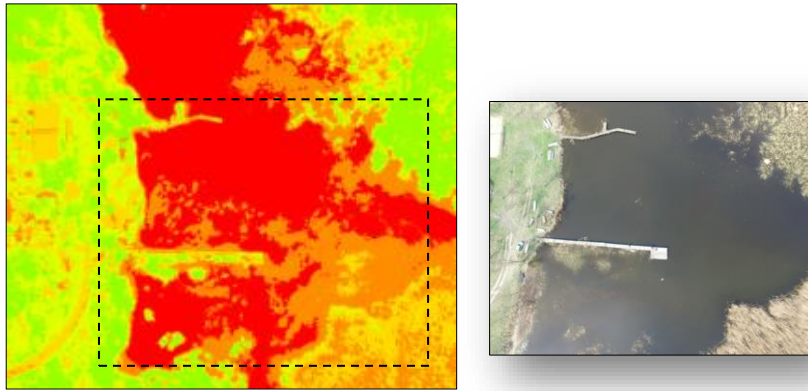
Један од најчешћих индикатора који се везује за детекцију интензитета фотосинтетичких процеса, како на копну тако и у фотичком делу водених површина, јесте NDVI индекс (NDVI – енг. *Normalized Difference Vegetation Index*). Овај индекс указује на трофичност станишта и изражава се бездимензионим бројем, који означава разлику између рефлектансе видљивог црвеног и блиско инфрацрвеног спектра карактеристичног за вегетациони покривач на копну, али се може користити и за водене површине. Он се рачуна по следећој формули:

$$NDVI = (NIR - R) / (NIR + R)$$

NIR – рефлексија блиско инфрацрвеног спектра

R – рефлексија инфрацрвеног спектра

На основу снимања мултиспектралном камером могуће је добити снимке који су обојени другачијим бојама од оних које се виде голим оком. Овакви прикази (енг. *false-color image*) користе се да би се истакле неке појаве, на пример израчуанала вредност NDVI индекса. На слици 28 приказан је снимак дела влажног подручја – јужни део Лудашког језера. Зеленом бојом истакнут је део под вегетацијом – тршћаци, где се одвија најинтензивнија фотосинтетичка активност, док су наранџастом бојом обојене водене површине где су заступљене субмерзне биљке. Црвена боја означава површине без фотосинтетичких организама.



Слика 28. Приказ дела влажног подручја: а) NDVI индекс и б) реална слика (Лудаш – југ, јул 2017)

2.11. Планирање и спровођење мониторинга квалитета воде

Квалитет водених средина може се пратити и утврђивати на различите начине, али најчешће се примењују физичке, хемијске или биолошке методе (слика 29). Уопштено на основу физичких и хемијских метода може се добити информација о тренутном стању неког воденог станишта, а применом биолошких метода, тј. идентификацијом појединих таксона и анализом њихове заступљености добија се увид у квалитет са аспекта дуже временске инстанце (дани, недеље, месеци...). Предности примене физичко-хемијских метода је што су оне прецизне и могу дати увид у присуство и тачне концентрације великог броја параметара. Међутим, излазак на терен и лабораторијске анализе изискују одређена материјална средства. Са друге стране, биолошке методе су знатно јефтиније, али захтевају више теренског и лабораторијског рада и ангажовање стручњака из различитих биолошких дисциплина. Да би се постигле уштеде, корисно је применити биолошке методе ради рекогносцирања терена и утврђивања у ком обиму и којом учесталости треба спровести хемијске анализе. Ипак, недостатак биолошких метода је у томе што се не може са прецизношћу одговорити на питање, који је то фактор у животној средини узрочник, на пример, да ли се ради о загађењу, или некој другој промени на станишту.

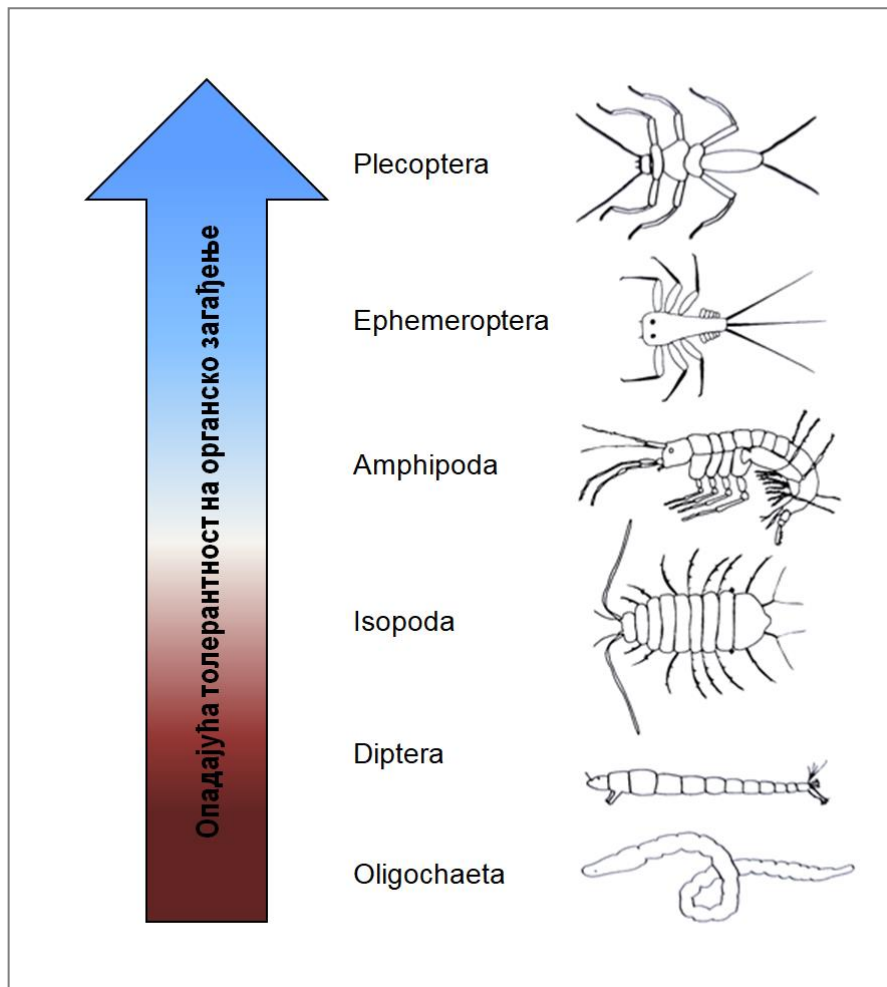


Слика 29. Трајање ефеката у животној средини праћених на различите начине (Bartram & Balance, 1996; модификовано према Zwart, 1995)

Биолошки мониторинг, као и свака врста мониторинга, подразумева континуирано праћење промена у заједницама, на сезонском, месечном или чак двонедељном нивоу, да би се адекватно могло оценити стање у датом тренутку. Предност животних заједница је у томе што се помоћу њих може предвидети на који начин се мења квалитет животне средине.

Водени организми реагују на све факторе животне средине који истовремено делују у једном станишту, те могу да укажу и на промене изазване притисцима који можда нису обухваћени директним мерењем хемијских параметара или проценом физичких модификација. Исто тако, животне заједнице могу указивати на ефекте интеракција између појединачних параметара квалитета воде. Поред поменутог, да би се правилно протумачили резултати биолошког мониторинга, потребно је узети у обзир и саму специфичност врсте и појединости за њену природну динамику, као што је развојни стадијум или период репродукције. Ради тога, неопходно је ангажовање искусног биолога, који би на адекватан начин извршио интерпретацију резултата.

На пример, поједине врсте бескичмењака су толерантне на органско загађење, док су друге мање толерантне, или чак изузетно осетљиве (слика 30). Стога је на основу заступљености и бројности појединих врста или група организама могуће оценити квалитет воде датог водног тела.



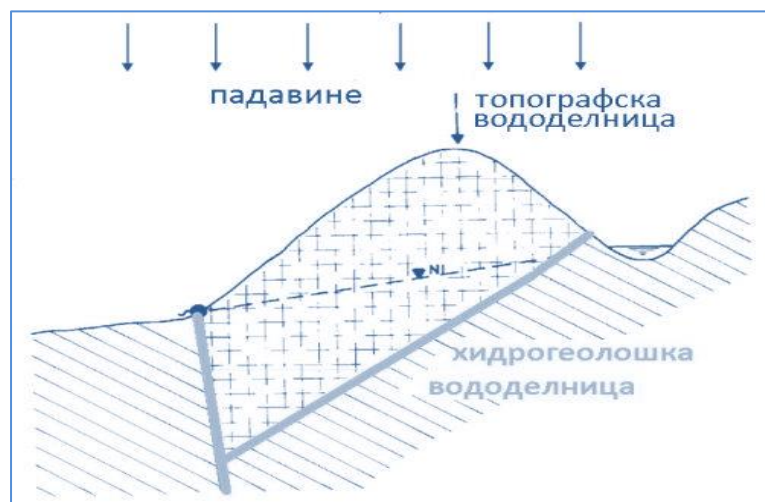
Слика 30. Опадајућа толерантност водених организама на органско загађење (модификовано према Bartram & Balance, 1996)

ХИДРОЛОШКИ ПОЈМОВИ, ОСОБИНЕ ВОДОТОКА И МЕРЕЊА

Речни слив представља површина са које се сав површински отицај слива мрежом водотока – потока, река, канала, према ушћу у други већи водоток или стајаћу воду, језеро или море. **Вододелница** или **развође** је граница која раздваја два сливна подручја. Може да се дефинише као замишљена линија од које се све воде, које падну на земљу, сливају у два различита слива. Она се обично протеже дуж највиших кота терена и такав тип вододелнице се назива **топографска вододелница**. У случају да је геолошки састав подлоге хетероген и да постоји разлика у порозности геолошке подлоге може доћи до појаве да се површине са којих се вода слива не поклапају са топографски највишим котама терена, већ то могу бити и ниже коте. У случају да је врх неке стенске масе порозан и водопропустан, вода се инфилтрира вертикално наниже, али када дође до водонепропусног слоја, почиње гравитационо да се креће ка нижим котама терена, које могу бити и са супротне стране од оне коју одређује топографска вододелница (слика 31).

Топографска вододелница је замишљена линија која спаја тачке са највећим надморским висинама између два дренажна система. Обично се на топографској карти извлачи као оса гребена.

Хидрогеолошка вододелница је замишљена линија од које се воде, које падну на тло, стварно раздвајају и теку два различита дренажна система. Њен положај зависи од рељефа и геолошке грађе терена.



Слика 31. Топографска и хидрогеолошка вододелница

Велике сливове најчешће сачињава већи број мањих сливова – **подсливова**. Подслив се дефинише као површина са које се површински отицај слива мрежом водотока према одређеној тачки већег водотока. На свом путу кроз слив вода површинског отицаја носи са собом различите материјале – **наносе**, који могу бити трајни или повремени. Наноси се могу јавити у виду песка, шљунка и неорганских материја, али и биогених материја (нпр. суво лишће, дрвни материјал и др.). Путем

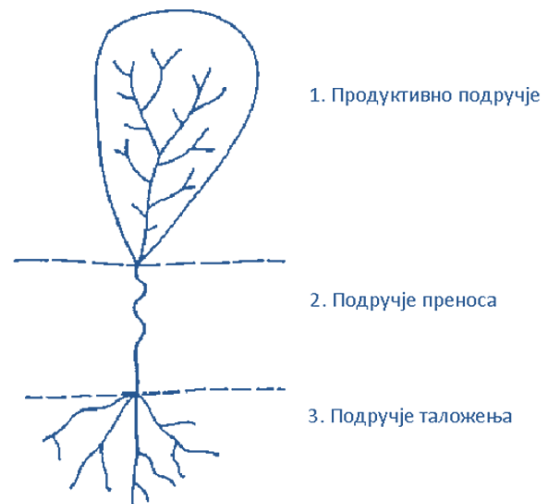
наноса преносе се низводно хранљиве материје, семена, микроорганизми и други састојци који су битни за одржавање низводних биоценоза.

На развој сливног подручја пресудни значај имају клима и геологија подручја, док вегетација и биљни покривач представљају секундарне чиниоце. Ради лакшег разумевања процеса у сливу, али и изучавања са становишта екологије и хидрологије слив се често дели на три дела, при чему се он посматра од извора према ушћу.

Први део слива чини најизводније подручје. Њега карактерише велики нагиб терена и корита, затим мале димензије водотока, нижа температура воде, која је богатија кисеоником од наредна два дела. То су претежно бујични водотоци. Овај део слива се назива **продуктивним подручјем** пошто се у њему стварају почетне и највеће количине наноса. Овај део настањују организми прилагођени животу у брзим, хладним и чистим водама.

Други део слива се низводно надовезује на први и представља подручје **преноса** или **трансфера**. Мањи падови слива, а тиме и корита водотока, условљавају мању брзину тока воде, више температуре воде и хранљивих материја, а мању количину раствореног кисеоника. Промене абиотичких параметара у овом делу су много правилније, тако да их је лакше превидети. На крају овог дела јављају се услови за развој плављених подручја код средњих и већих река. Због свега наведеног станишта су много разноврснија и бројнија, као и број врста различитих организама који их насељава. Поред тога, јављају се врсте које имају ширу еколошку валенцу и могу да опстану и у условима када је присутно загађење воде.

У трећем делу слива долази до **таложења** или **заустављања** наноса. Смањени падови терена корита водотока, али и целокупног дела слива, мале брзине тока као и водостај који је условљен водостајем у реци, језеру или мору у које се водоток улива карактеришу ово подручје речне **лепезе** или **делте** (слика 32).



Слика 32. Идеализовани приказ поделе слива
(модификовано према Schumm, 1977)

Водни режим обухвата комплекс снабдевања речних система водом. Он укључује **водостај**, **водостање** и **протицај**. За систематски мониторинг хидролошких параметара (а исто важи и за праћење промена квалитета воде), који се врши током низа година и деценија, важно је да се мерење увек врши на истом месту истом динамиком. Места на којима се такав мониторинг обавља називају се **водомерне станице**. За сваку водомерну станицу назначена је година оснивања,

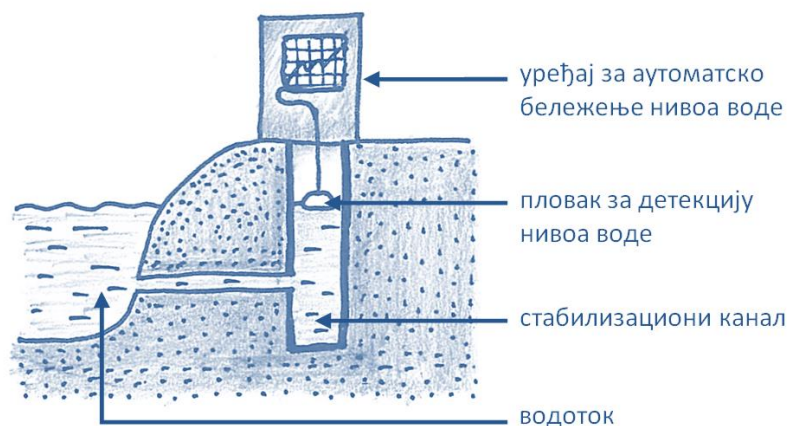
удаљеност станице од ушћа (km) и површина слива (km²). Веома важан податак је и **кота нула водомера**, која представља референтни ниво. У нашој земљи референтни ниво се односи на ниво Јадранског мора, те се изражава као m надморске висине у односу на Јадранско море, тј. **m н Ј. м.**

Водостај је висина нивоа воде у односу на неку условно задату раван у датом тренутку на утврђеном месту. Водостај се прати на дневном нивоу на водомерној станици, а читавања се врше увек у исто време у 7 h и 19 h по зимском и у 8 h и 20 h по летњем времену. За мерење водостаја користе се водомерне летве, лимниграф или дигитални уређаји (нпр. ехосондери). Водомерна летва је сачињена од подеока који су хоризонтално наизменично обојени црном и белом бојом, при чему је сваки подеок дебљине 2 cm (слика 33). На тај начин се приликом читавања постиже прецизност од 1 cm. Поред тога, на летви се истичу и већа бела поља висине 10 cm и на њима исписани бројеви означавају дециметре.



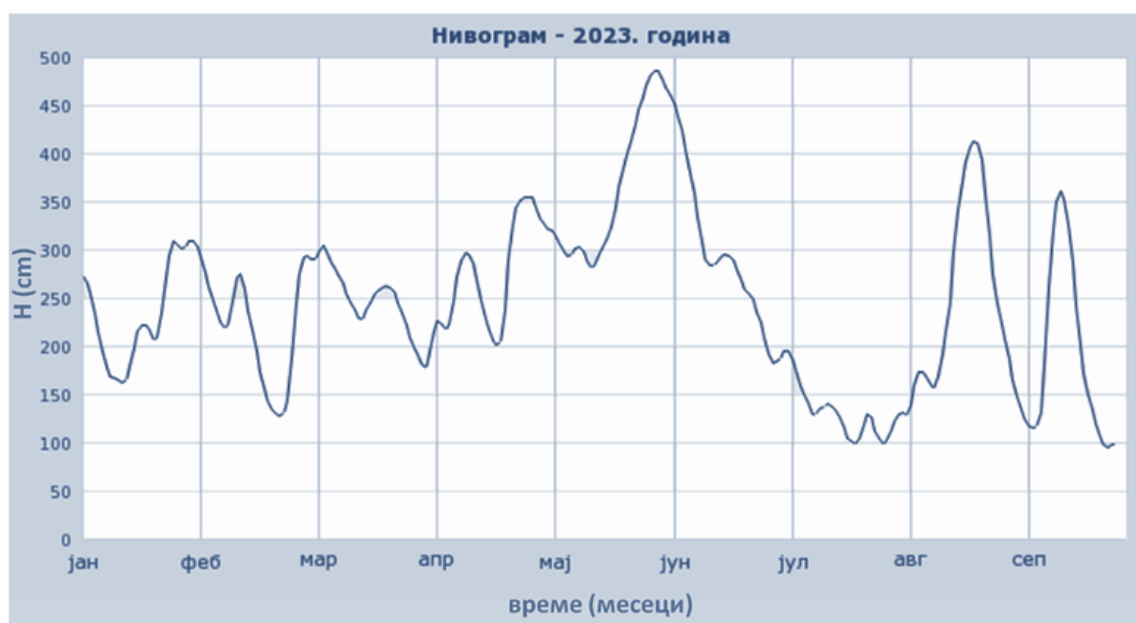
Слика 33. Водомерне летве на реци Брзави, гранични профил према Румунији
(Фото: Атила Бездан; октобар 2017)

Лимниграф се користи за континуално праћење, при чему се на папиру исписује промена водостаја који се детектује уз помоћ пловка. Дигитално праћење нивоа воде најчешће се региструје применом ултразвучне детекције, а резултати се региструју на дисплеју, или се бежичном везом шаљу до центра где се прикупљају подаци. При континуалном праћењу водостаја у извештајима се приказују средње дневне вредности водостаја (слика 34).



Слика 34. Лимниграф – уређај за континуално праћење нивоа воде

Код великих река, каква је река Дунав, варирање водостаја током године може бити и неколико метара. На пример, за Дунав код Новог Сада просечни водостај у пролеће, у периоду високих вода, износи око 400 cm, а при вредности од 450 cm на снази је редовна одбрана од поплава. Када водостај достигне 700 cm, то представља границу ванредне одбране од поплава. Током лета у маловодном периоду водостај може пасти испод 100 cm и тада водени организми трпе стрес. У том периоду, због мале количине воде и повишене температуре ваздуха, долази и до загревања воде, а обе наведене појаве здружено воде и погоршању општег квалитета воде. Графички приказ водостаја за одређени период назива се **нивограм** (слика 35). **Годишњи извештаји о водостајима** садрже дневне вредности, али и минималне, средње и максималне вредности по месецима и за период од годину дана, а додатно су назначени датуми појаве екстрема (табела 3).



Слика 35. Нивограм за хидролошку мерну станицу на Дунаву код Новог Сада, закључно са даном 20. септембар 2023. (www.hidmet.gov.rs)

Водостање представља колебање водостаја у једном временском периоду (једногодишњи, десетогодишњи итд.). Ова варирања су везана за сезоне. У пролеће, након отапања снега и пролећних падавина, јављају се високи водостаји, док током летњих месеци и почетком јесени водостај опада и у овом периоду може достићи минимум. Осим тога, у зависности од услова који владају у сливу, или климатских промена, може доћи и до колебања просечних годишњих вредности водостаја у једном дужем временском периоду, на пример, током 10 или више година. Живи организми који су везани за водена станишта адаптирани су на сезонске промене востаја. Тако на пример, изливање речне воде изван корита реке (посебно у пролеће) има великог значаја за продукцију читаве хидробиоценозе. У том периоду у плићацима долази до мреста риба, нарочито **фитофилних врста**. Јесење повећање водостаја изазива велика померања суспендованог материјала и замућење речне воде, што у горњим токовима може довести до негативних последица на животну заједницу.

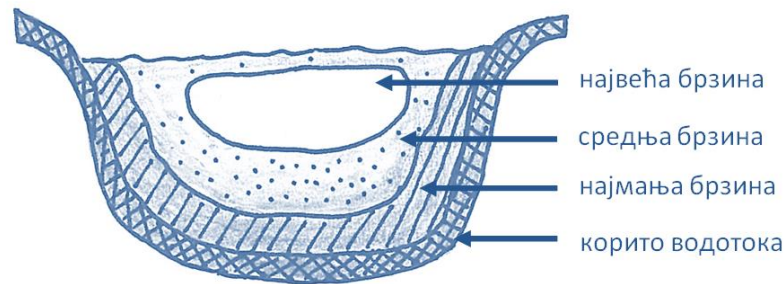
Табела 3. Извештај о водостајима за хидролошку мерну станицу на Дунаву код Новог Сада за 2022. годину (РХМЗ, 2023)

Станица :	Нови Сад	Кота "0" (m н.Ј.м.) :	71.73
Река :	Дунав	Удаљеност од ушћа (km) :	1255.0
Шифра :	42035	Површина слива (km ²) :	254085

ВОДОСТАЈИ ЗА 2022. ГОДИНУ (cm)

ДАН	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII			
1	161	102	217	108	185	207	89	18	54	130	88	163			
2	186	98	202	115	205	186	87	25	58	133	84	150			
3	228	92	186	128	210	167	98	29	68	144	74	136			
4	269	94	172	148	201	151	125	39	67	160	65	131			
5	298	101	159	164	189	141	144	47	66	180	59	124			
6	314	112	148	178	180	138	143	48	69	192	55	113			
7	317	123	137	191	174	138	132	43	66	206	55	101			
8	316	128	127	196	172	139	117	34	58	233	56	95			
9	315	129	121	191	171	139	107	26	48	254	60	93			
10	314	130	114	184	169	152	106	19	39	256	70	96			
11	307	136	109	183	171	179	105	16	31	242	75	102			
12	296	148	103	194	177	214	104	13	26	215	73	107			
13	282	161	96	213	185	241	108	10	23	185	67	122			
14	268	169	91	235	190	260	113	7	22	160	60	146			
15	252	174	84	246	191	269	104	2	20	141	56	167			
16	237	173	73	246	190	260	91	-2	25	125	52	176			
17	218	172	64	239	191	238	76	-4	36	113	47	178			
18	195	166	61	233	194	209	65	-6	43	104	41	174			
19	175	164	60	226	194	182	55	-11	53	93	37	175			
20	159	168	65	222	191	160	44	-16	71	86	37	182			
21	145	176	73	217	189	142	32	-13	91	85	37	186			
22	134	197	80	208	193	126	21	-9	105	82	45	187			
23	124	222	86	195	194	113	11	-2	123	76	70	184			
24	116	238	86	182	189	99	5	1	154	70	97	177			
25	110	243	82	174	185	91	3	12	179	61	125	170			
26	102	239	80	167	184	88	4	51	193	54	145	167			
27	96	234	76	162	185	90	4	87	190	48	160	175			
28	92	227	76	156	193	90	4	99	176	46	171	214			
29	93		81	154	207	89	3	92	156	54	174	254			
30	99		87	165	222	88	2	80	140	71	172	272			
31	103		95		222		8	64		84		277			
min дана	89	90	59	106	168	87	1	-17	20	46	35	92			
час	29	3	19	1	10	26	30	21	15	28	19	9			
0:00	14:00	6:00	7:00	9:00	19:00	4:00	1:00	7:00	6:00	16:00	13:00				
сред.	204	161	106	187	190	160	68	26	82	132	80	161			
max дана	318	244	223	247	225	270	147	100	195	259	175	277			
час	7	25	1	15	31	15	6	28	26	9	29	31			
8:00	5:00	0:00	19:00	2:00	10:00	1:00	18:00	19:00	19:00	15:00	11:00				
Годишњи мин. :				-17				Средње годишњи :				130			
Датум :				21.08.				Годишњи макс. :				318			
								Датум :				07.01.			

Брзина речног тока и протицај су веома значајни хидролошки елементи који указују на карактер водотока. **Брзина тока** представља пређени пут воде у јединици времена и најчешће се изражава као m/s. Уколико се мери брзина тока на једном профилу водотока примећује се да се највећа брзина развија у средишту тока – **матица водотока**. Удаљавајући се од матице, што се више приближава обалама или дну река, брзина воде опада због трења са подлогом. Поред тога, брзина опада и при површини због трења са ваздухом. То је разлог што вода на самој површини, иако на самој средини водотока, развија нешто мању брзину од воде у дубљим слојевима, где се налази матица реке (слика 36).



Слика 36. Промена брзине у попречном профилу водотока, где се брзина смањује идући од матице према површини и кориту водотока

Уколико се посматра река од извора до ушћа, горњи ток река карактеришу велики нагиби терена, те је и њена брзина велика и може достићи неколико m/s. Насупрот томе, доњи ток реке обично чини низијски рељеф, тако да брзина тока опада и може бити само неколико cm/s. Брзина се мери помоћу хидрометријског крила, а у зависности од величине водотока може се мерити директно, из чамца или са моста (слика 37).

Протицај представља количину воде која протекне у воденом кориту на једном профилу (кроз попречни пресек или кроз површину управну на водоток) за одређено време и може се изражавати кроз l/s или m³/s. Протицај се израчунава на основу површине профила и средње брзине тока. Средња брзина се одређује на следећи начин: (1) први корак представља развлачење мерне траке управно на речни ток, а затим (2) се уз њу по вертикалама, које су на истим удаљеностима, мере брзине на различитим дубинама и (3) на основу свих измерених брзина врши се осредњавање, односно израчунава се средња брзина тока. Током мерења брзина мере се и димензије профила, на основу којих се одређује површина профила. Иако је брзина тока у горњем делу река велика, протицаји су значајно мањи у односу на равничарске реке. У доњем току реке споро теку, али се обично одликују значајно већим димензијама, те су и протицаји много већи.

Значајан показатељ у водотоцима представља и **пронос наноса**. Постоје два облика наноса: ситнији **лебдећи** или **суспендовани нанос**, и крупнији – **вучни нанос**. **Ситнији нанос** чине честице муља и глине, а крупнији се састоји од шљунка и песка, који се котрљају и крећу потиснути снагом воде. У хидролошким извештајима дају се вредности за пронос лебдећег наноса, а јединица је килограм у секунди (kg/s).



Слика 37. Мерење брзине тока уз помоћ хидрометријског крила: на мањем водотоку (а и б), из чамца (в) и са моста (г) (а–в, канал КЦЗ, Врбас; г – канал Бечеј–Богојево, мост код Србобрана)

4. ОСНОВИ ЕКОЛОГИЈЕ

4.1. Појмови и дефиниције

Према предмету проучавања најчешћа подела екологије је на **биљну екологију** и **екологију животиња**, док **хидроекологија** проучава процесе и односе живих организама у воденој средини. Поред тога, уколико се разматра питање општости и питање нивоа организације, постоје **идиоекологија** (или аутекологија) и **синекологија** (синтетичка екологија). Идиоекологија проучава однос јединке и животне средине, а синекологија изучава комплексније односе, који се јављају између различитих степени еколошке интеграције живе материје и неживе средине (нпр. на нивоу животних заједница, екосистема).

Организми се не могу посматрати издвојено од њихове **животне средине** у којој остварују своје животне функције, будући да је опстанак организама тесно повезан за њихову животну средину. При томе, ова веза је реципрочна, пошто и организми активно мењају средину. Будући да су живи организми отворени системи, током њиховог живота стално се одвија размена материја и протицање енергије са животном средином. Са друге стране фактори средине врше и притисак на жива бића, тиме што утичу на њихов раст, развиће, понашање, размножавање, а финално и на густину популације. Путем селекције и борбе за опстанак опстају и остављају потомке само најприлагођенији.

У поређењу са ваздушном средином хемијски састав воде је много променљивији. Поредеши морску воду и копнене воде, на копну се среће много већа варијабилност. Хемизам воде има велики утицај на водене организме.

Окружење чине сви утицаји који делују на организам на одређеном станишту, било да се ради о **биотичким (живим)** или **абиотичким (неживим) факторима**. **Екосистем** представља јединствену целину коју сачињава животна заједница организама (биоценоза) и простор који она насељава (биотоп). То је динамичан систем који карактерише међусобна повезаност биотопа и биоценозе, односно дејство комплекса биотичких и абиотичких фактора који успостављају међусобне интеракције. У екосистему се одвија стална размена материје и проток енергије на релацији организам–животна средина. Ови процеси представљају услов настанка, одржања и развоја екосистема. Може се рећи да екосистем представља и завршну синтезу историјског развоја јединства живе и неживе компоненте у времену и простору.

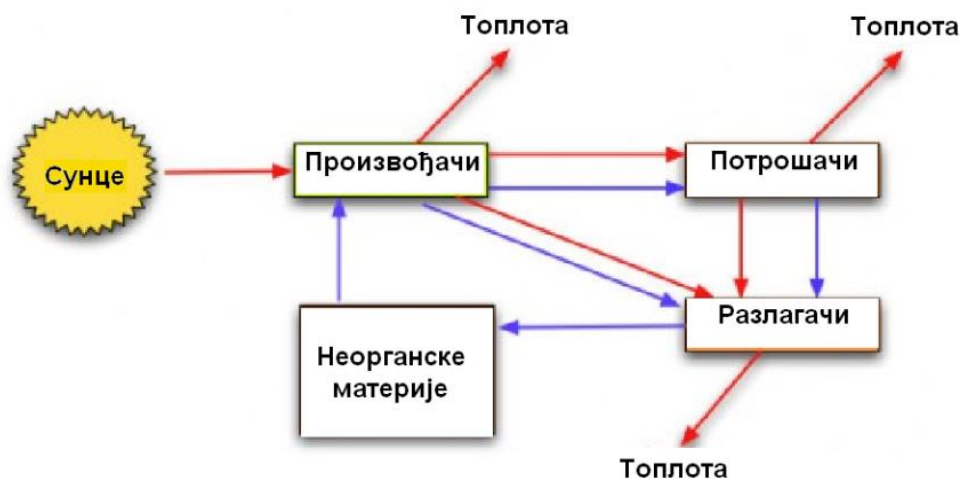
Станиште је географско подручје које заузима екосистем, док сви организми који деле исто станиште у исто време, односно сума свих биотичких фактора, чини **заједницу организама**. Под **врстом** се подразумева група организама који ступају у репродуктивне односе ради добијања здравог и плодног потомства и репродуктивно су изоловани од других група организама. Све индивидуе једне врсте на истом станишту у исто време чине **популацију**. Улога поједине врсте у екосистему чини **еколошку нишу**. При томе, овај термин се односи како на улогу, тако и на простор који врста заузима у екосистему, али и интеракције које успоставља са другим организмима. Обично две врсте не заузимају потпуно исту еколошку нишу (принцип компетитивне искључивости).

У сваком екосистему јављају се три категорије односа између биоценозе и биотопа: акција, реакција и коакција. **Акција** се дефинише као дејство комплекса фактора биотопа на биоценозу. При томе, мисли се на климатске факторе као нпр.

зонални распоред екосистема (хоризонтални и вертикални), географска ширина и надморска висина, граница са минималном вредношћу које имају ограничавајући карактер за биоценозу. **Реакција** јесте одговор биоценозе на дејство биотопа и његово мењање. На пример чланови биоценозе непрестано износе минералне материје из станишта, а за узврат се врши обогаћивање органским материјама. Поред тога редуценти врше минерализацију органске метерије чиме се неорганске метерије враћају поново у биотоп. **Коакцију** чине узајамни односи између популација (компетиција, предаторство, симбиоза и други). Према томе, сам развој и одржање биоценоза утичу на карактер екосистема.

4.2. Кружење материје и проток енергије у екосистему

Биосфера представља јединствен систем, кога сачињавају сви живи организми на нашој планети. У њој се одвија стална динамичка размена материје и енергије у склопу биогеохемијских циклуса. Основни процеси који се одвијају у природи јесу **кружење материје и протикање енергије** (слика 38).



Слика 38. Ток енергије у екосистему

Ови процеси представљају својеврстан метаболизам екосистема. Сунчева енергија (светлосна) улази у екосистем и уз помоћ фотосинтетичких организама уграђује се у органску материју, односно молекуле аденозин трифосфат (АТП) и аденозин дифосфат (АДП) уз присуство минералних материја.



Тиме се сунчева енергија преводи у потенцијалну енергију. Енергија се користи за изградњу примарне органске материје редукијом угљен-диоксида. На тај начин фотосинтетички организми расту и развијају се. Поред тога, осим везивања енергије при изградњи нове биомасе из неорганског окружења уграђују се и јони који представљају градивне материје органских молекула. Најзаступљенији елементи у органским молекулима су угљеник, кисеоник, водоник, азот, фосфор и др. Фотосинтетички организми који примарно везују Сунчеву енергију представљају **примарне продуценте**, или произвођаче и у воденој средини их сачињавају

фитопланктон и водене макрофите (алге и више биљке). Следећи ниво представљају **потрошачи првог реда**, односно биљоједи, који троше везану енергију из настале органске материје за одржање својих животних процеса. Наредни ниво чине организми који се хране биљоједима, тј. **потрошачи другог реда**. На тај начин формира се **ланац исхране**, где сваку карику у ланцу чини по један ниво организама. Поред тога, може се говорити и о **пирамиди исхране**, која се односи на бројност организама који чине сваки ниво.

Организми сваког нивоа, уколико не послуже као храна организмима вишег нивоа, на крају свог животног циклуса угибају и тада су њихова тела подложна разградњи и труљењу. Ове процесе поспешују **сапрофитни** организми, који се хране остацима других и називају се **разлагачима**. Бактерије и гљиве луче ензиме који крупне органске молекуле разлажу на мале органске и неорганске молекуле. Бактерије те мале органске молекуле упијају кроз поре на ћелијском зиду. За њих одумрли остаци или отпадне материје других организама представљају извор енергије и градивних материја. На тај начин врши се минерализација органске материје. Разлагачи могу бити кичмењаци, бескичмењаци, али најбројнији разлагачи јесу бактерије и гљиве. На тај начин минералне материје бивају поново расположиве примарним произвођачима за изградњу органских материја. Посебну групу представљају **паразити**, који живе на рачун готових органских материја добијених из живих организама (вируси, поједине врсте бактерија, гљива, биљака, инсеката и др.). У зависности од тога на којој лествици се организми налазе у ланцу исхране, говори се о њиховом **трофичком нивоу**. Сви организми одређеног трофичког нивоа су на истом енергетском нивоу, односно исто су удаљени од произвођача. **Пирамида бројева** се дефинише као бројчани однос организама на појединим трофичким нивоима у истом екосистему. Највећи по бројности јесу произвођачи, мање бројни су биљоједи, а сваки следећи ниво броји све мање организама, чинећи пирамиду. Уопштено, што се организми налазе на нижој трофичкој лествици, то су бројнији. На сличан начин могу се објаснити и **пирамида биомасе** и **пирамида енергије** (слика 39). Енергија се обично изражава у $\text{KJ/m}^2 \cdot \text{година}$.



Слика 39. Пирамида исхране са приказом тока енергије и бројности популација

У слатководним срединама један од ланаца исхране чине: фитопланктон, зоопланктон, рачићи, водени бескичмењаци (мекушци, инсекти), од кичмењака водоземци и рибе, птице које се хране воденим организмима и на крају птице грабљивице или други месоједи. Последњи у низу ланца исхране јесу разлагачи, који разграђују остатке одумрлих организама.

Током ланца исхране не само да се енергија преноси из ниже карике ланца исхране у вишу, већ се и елементи крећу на исти начин – тако што се код сваке карике органске материје разграђују у телу конзументата током варења, да би разграђени елементи поново ушли у састав биомасе конзументата. Осим тога, током метаболичких активности сваког организма део енергије се губи у виду топлоте, а губи се и део материје путем излучевина и екскремената. На тај начин се у биосфери одвијају процеси кружења угљеника, кисеоника, азота, фосфора и осталих биогених елемената.

Ниво засићености екосистема односи се на максималну бројност популација коју екосистем може да подржи. **Отпор окружења** представља збир свих утицаја који ограничавају раст популације, нпр. болести, предаторство, конкуренција.

4.3. Елементи организације биосфере

Сваки појединачни организам је прилагођен на услове спољашње средине и реагује на промене који се у њој јављају. Јединке које припадају истој врсти, деле исти животни простор и ступају у репродуктивне односе, чине популацију. Популације различитих врста које настају из истог простора и међусобно ступају у различите интеракције чине **биоценозу** или **животну заједницу**. Јединство живе материје – биоценозе (биотичка компонента), и неживе материје – абиотичка компонента, чини **екосистем**. Екосистем не чини само прост збир врста и абиотичких фактора, већ специфичан сплет процеса и међусобних интеракција на релацији биотичка–биотичка компонента и абиотичка–биотичка компонента. Још веће целине представљају **биом**. Један биом је састављен од сличних екосистема, као што је то случај код биома копнених вода, који чине сви екосистеми везани за воду, а распрострањени су у оквиру копна. Највиши степен јединства живе и неживе природе чини **биосфера**, која обухвата све биоме.

4.4. Биотички фактори

Биотички фактори се манифестују кроз односе који владају између јединки исте врсте (у оквиру популације) или између различитих врста и према томе могу бити интраспецијски или интерспецијски. Различити видови деловања биотичких фактора најчешће се испољавају у погледу сложених односа исхране, тражењу заклона, репродукције итд. Према томе, односи између хипотетичких организама А и Б (или групе организама) могу бити позитивни или негативни, једностранни или обострани, обавезни (облигаторни) или необавезујући (факултативни) на следећим нивоима (слика 40):

1. **Неутрализам** – нема директног дејства између А и Б; у питању је однос простог присуства, пошто организми А и Б не делују један на другога.

2. **Конпетитија** – директна конкуренција између А и Б за храну, простор, заклон или ради задовољавања неке друге потребе. Оба организма делују активно један на другог.

3. **Мутуализам** – овај однос је обострано позитиван и за А и за Б, а оба организма имају користи од таквог односа. Овај однос је обавезан и назива се још и **симбиозом**.

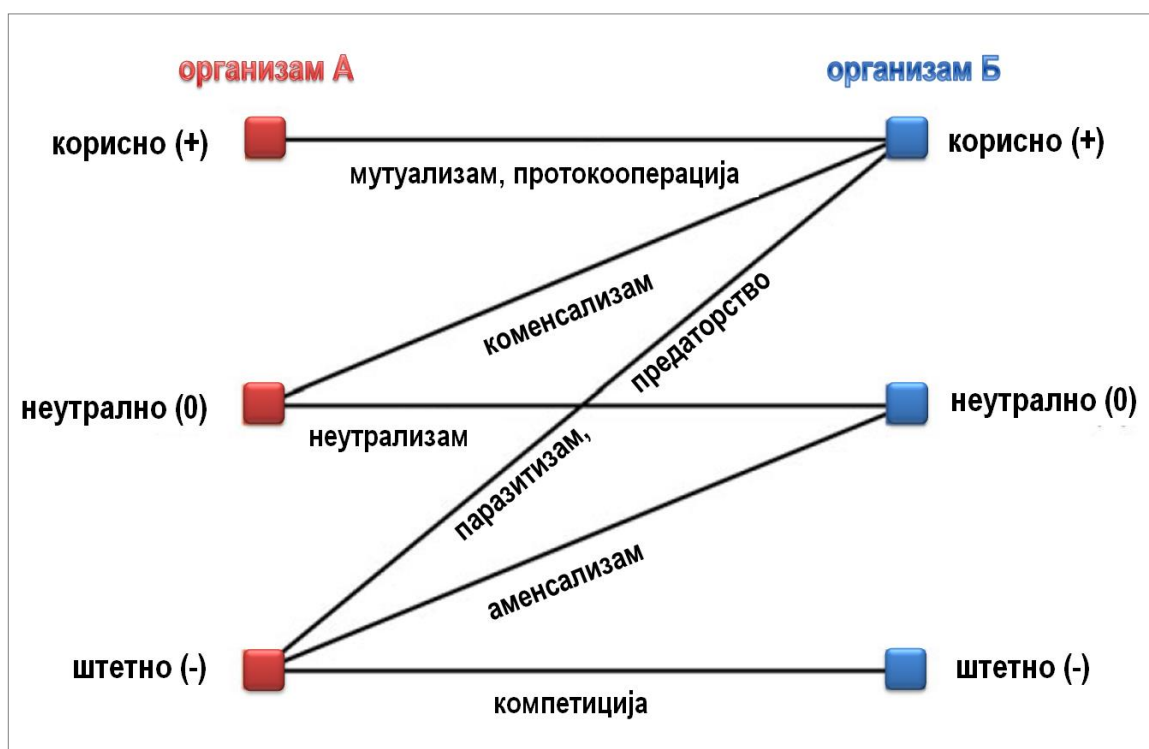
4. **Протокооперација** – организми А и Б имају позитиван однос, он је користан за оба организма, али није обавезан (факултативни однос).

5. **Коменсализам** – овај однос је једностран и позитиван само за организм А, а неутралан за организм Б.

6. **Аменсализам** – однос је једностран и негативан за организм А, а неутралан за организм Б.

7. **Паразитизам** – позитиван и облигаторни однос за организм А (за паразита), а негативан за организм Б (за домаћина).

8. **Предаторство** – позитиван и облигаторан за организм А (за грабљивицу), а негативан за организм Б (за плен).



Слика 40. Приказ биотичких односа међу организмима двеју врста, који могу бити корисни, неутрални или штетни, те граде релације: **мутуализам, протокооперација** – корисно за обе врсте; **коменсализам** – корисно за једну врсту и неутрално за другу; **неутрализам** – неутрално за обе врсте; **аменсализам** – негативно за једну врсту, а неутрално за другу; **предаторство, паразитизам** – корисно за једну врсту, а негативно за другу; **конпетитија** – негативно за обе врсте (модификовано према Le Roux et al., 2020)

Примери:

У једном хидроекосистему је веома изражено комплексно деловање популација појединих врста или читаве биоценозе у садејству са абиотичким факторима. Овај комплекс делује на нивоу целокупног екосистема и манифестује се кроз:

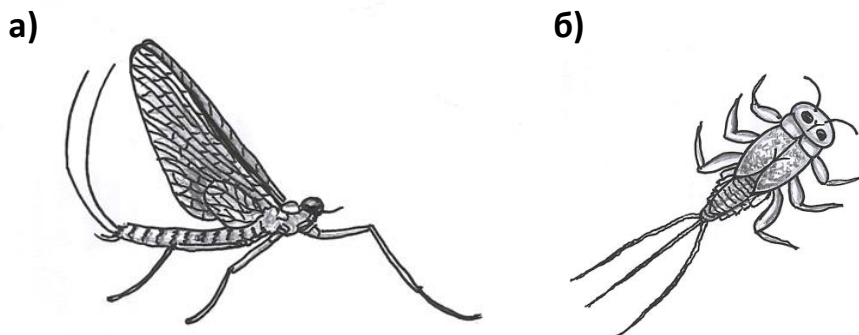
1. **асимиляторске функције произвођача** (продуцента) чији су главни носиоци фитопланктонска заједница и макрофитска вегетација;
2. **дисимилација** (дисање, респирација) свих хидробионата;
3. **биохемијске промене** на нивоу читавог екосистема које настају као последица физиолошке функције хидробионата;
4. **оседравање – стварање кречњачких наслага** и баријера које мењају услове станишта (пре свега у крашким рекама);
5. **биоценолошки односи** унутар појединих станишта (као најважнији су изванредно сложени односи исхране).

Врсте су под сталним утицајем животне средине услед тога су приморане да се адаптирају. Свака врста има границе до којих може да толерише интензитет промена еколошких фактора. Распон (амплитуда) варирања једног еколошког фактора у оквиру кога је могућ опстанак врсте назива се **еколошка валенца**. Еколошка валенца за поједине врсте према одређеном параметру може бити различита. Уколико је она уска, говоримо о стеновалентној врсти у односу на дати фактор, а ако је она широка ради се о еуривалентној врсти. Поред тога, у оквиру распона који врста може да толерише, најповољнија вредност представља оптимум, а неповољне вредности, при којима врста трпи значајан притисак, односно при којима је она на граници преживљавања – представљају песимум.

Биоценоза као еколошки фактор комплексно делује пре свега у виду разних компетицијских релација (интра и интерспецијски односи). Међутим, како водени биотоп карактерише деловање великог броја разних ограничавајућих фактора (пре свега физичко-хемијских – светлост, концентрација РК и др.). Овакав тип компетицијских односа није толико оштар као у другим (нпр. копненим) биотопима. Животне заједнице водене средине, због деловања мноштва ограничавајућих абиотичких фактора, карактерише мали диверзитет са истовремено великом абундантношћу појединих (адаптираних) врста. Основу водене биоценозе (као и копнене) чине биљке – вегетација коју насељавају животињски организми. Биљке им служе као храна и заклон, а такође и као супстрат многим епифитским биљним организмима – **силикатним и модрозеленим алгама**.

Вегетацијске и биоценолошке сукцесије водотока настају услед велике варијабилности еколошких фактора у једном таквом хидроекосистему. Према већини европских аутора први организми (пионири) који насељавају водено станиште су **лишајеви**, а затим следе *Sуanobacteria*, па **маховине**. У нашим условима редослед је нешто другачији, па се нпр. на стеновитој (минералној) подлози прве јављају **модрозелене алге**, а затим следе **више алге**, нпр. *Cladophora* sp. и *Vaucheria* sp., а за њима **маховине** хидрофитског и хигрофитског типа. Уколико долази до процеса оседравања, јављају се више калцифилне биљке, које доприносе процесу хумификације, стварајући услове за развој грмова и стабала **врбе** и **јове**. Зооценолошка компонента је мање подложна овим променама и сукцесија није

толико изражена. Њу чине пре свега инсекти као што су: крзнокрилци (*Trichoptera* sp.), двокрилци (*Diptera* sp.), пролетњаци (*Plecoptera* sp.), водени цветови (*Ephemeroptera* sp., слика 41) и тврдокрилци (*Coleoptera* sp.).



Слика 41. Адултна јединка воденог цвета (*Ephemeroptera* sp.) (а) и ларвени облик (б)

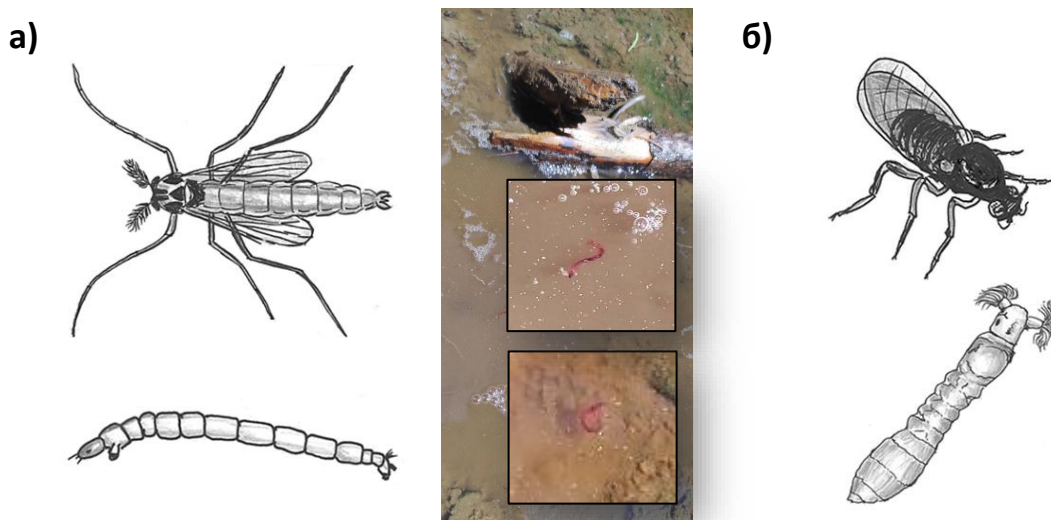
Утицај екстраакватичних биоценоза огледа се у деловању животне заједнице оближњег копна (обале). Њена структура и дејство зависе од више фактора, пре свега надморске висине и облика речне долине, који утичу на тип вегетације. Она регулише водни и светлосни режим, служи као извор хране и састава соли у води. За неке животињске организме, чије се ларве развијају у води, а одрасли стадијуми на копну, необично је важан састав вегетације приобалне зоне. Највишу надморску висину (изворишни регион и горњи ток реке) покрива шумска биоценоза, у којој доминирају **јела** и **смрека** (црногоричне, тамне шуме). Ниже су распрострањене мешане шуме **јеле** и **букве**, а најниже су различити типови белогоричних шума.

Овакав распоред утиче на распоред и количину светлости која продире до воде. Светлосни режим директно регулише састав акватичне фитоценозе, делујући посредно и на зооценолошку компоненту, односно читаву биоценозу хидроекосистема.

Шумска вегетација представља значајан извор хране за читаву акватичну животну заједницу. Делови биљака које расту у приобалном појасу, нпр. лишће, гранчице и др., доспевају у воду, труле и представљају оптималну средину и подлогу за развој многих **зглавцара**, **пужева** итд. Процес разлагања овог биљног материјала даље тече до потпуне минерализације захваљујући **микроорганизмима**. У случају да не дође до потпуне разградње органске материје, она се таложи на дну, где и даље наставља да се разграђује, а у случајевима када понестане РК долази до развоја анаеробних процеса. У том случају се ослобађају водоник-сулфид и амонијак, који неповољно делују на већину водених организама. Део постморталних остатака биљног и животињског порекла, у виду ситних честица гради детритус и служи као склониште и храна ларвама многих инсеката, као што су *Chironomida* sp., *Simulidae* sp. (слика 42), *Trichoptera* sp. и др.

Кружење материје у воденом екосистему реализује се у главној функцији биоценозе, а то је процес стварања органске материје. Ова циркулација се обавља захваљујући свим основним чиниоцима сваке животне заједнице: продуцентима, конзументима и редуцентима.

Продуценти – аутотрофи производе из неорганских компонената основне органске материје, не само за себе него и за остале чланове биоценозе. Најважније групе из ове карике су **алге на дну**, **фитопланктон**, **макрофитска вегетација**, **хемосинтетске** и **нитрификујуће бактерије (азотофиксатори)**.



Слика 42. Адулт и ларва биљног комарца из фамилије Chironomidae и ларве у природном станишту – барици у шуми (Копаоник, август 2023.) (а) и адултни и ларвени облик црне мушице из фамилије Simulidae (б)

Конзументи – хетеротрофи су пре свега животињски организми који троше производе примарне (и секундарне) продукције. У овој групи преовлађују **биљоједи** који су тесно везани за вегетацију у погледу хране и склоништа. **Месоједи** је сразмерно мање и ова група укључује **рибе, змије, птице, сисаре** (који се хране воденим организмима) и грабљиве ларве **инсеката**. Детритофаги живе при дну или у самој подлози. Као посебна група конзументата јављају се филтратори (врсте *Rotatoria* sp. и нижи ракови из редова Cladocera и Copepoda), затим паразити (пијавице – *Hirudinea* sp.), сапрофити (**гљиве**) и вируси који паразитирају на бактеријама – бактериофаги.

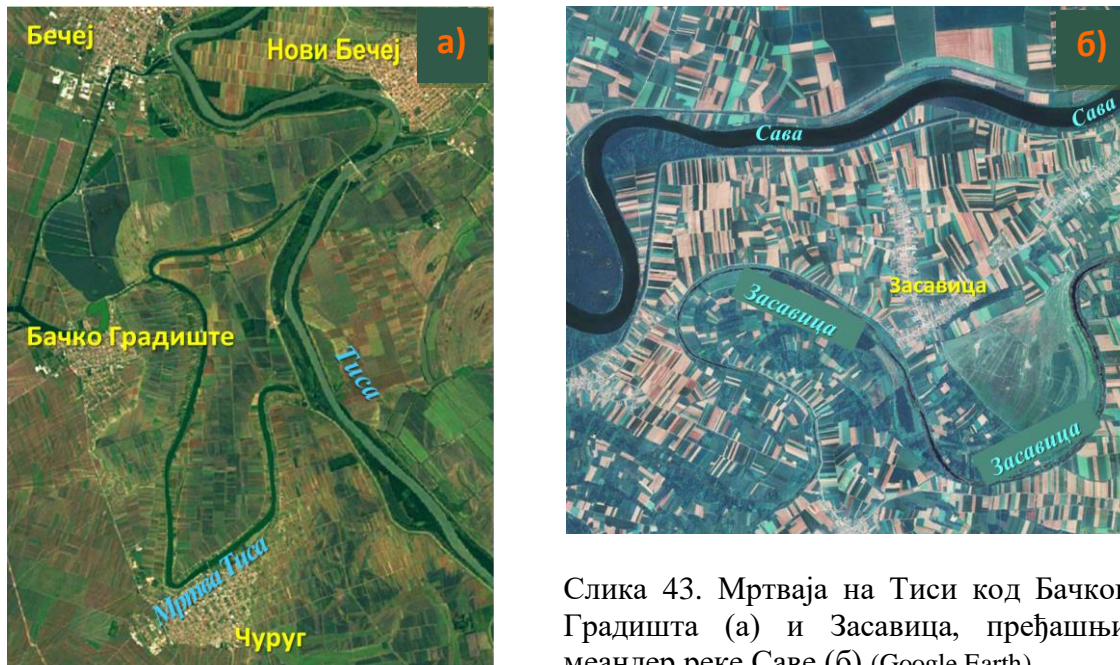
Редуценти разграђују органску материју, у виду беланчевина, угљених хидрата и масти, до неорганске форме процесом минерализације. Њихова бројност опада сразмерно напредовању процеса самопречишћавања.

Односи исхране представљају најважнији биотички фактор у процесу кружења материје и протока енергије у хидроекосистему. Већина водених организама су стенофаги, а само мали број је еурифага, што значи да су врсте углавном пробирљиве у погледу исхране (у случају да постоји разноврсна понуда).

Антропогени фактор као биотички фактор веома утиче на промене хидролошких и хидрографских карактеристика једног воденог екосистема.

5. ВРСТЕ ВОДНИХ ТЕЛА И ЊИХОВО ЗОНИРАЊЕ

Са аспекта геолошке старости све **копнене воде** настале су након формирања копна. Због ниског садржаја соли у односу на мора и океане, називају се често и „слатким водама”. Али неки површински водени басени (нарочито стајаће воде) имају повећану количину соли (нпр. Мртво море), па је због тога правилнији назив – за све водене системе који нису мора и океани – **копнене воде**. У оквиру копнених вода јављају се **површинске** и **подземне воде**, а свака појединачна целина назива се **водним телом**. Површинске воде настају и одржавају се од атмосферских падавина или отапањем ледника. За њих је карактеристично да су међусобно изоловане и да се мењају током године. У зависности од количине воде којом се прихрањују, мења се и њихов изглед, тј. протицај и ниво воде водотока. Уколико се посматрају промене које се одвијају током деценија и векова може доћи до промене изгледа корита. Тектонске промене условљавају промене рељефа, те формирањем удубљења која се пуне водом настају нови водотоци или језера. Поред тога, реке својим ерозивним радом мењају рељеф, просецају своја корита и формирају меандре. Насупрот томе, у неким случајевима долази до *исправљања* корита река и пресецања меандара. Заостали меандри засипањем еолским наносима формирају **мртваје**, које се трансформишу у **стараче**, да би на крају ишчезле (пресушиле). Такав је случај са нашим рекама Тисом и Савом (слика 43). Током дужег веременског периода (деценија, столећа, миленијума...) долази и до промене изгледа стајаћих водних тела. Акумулацијом наноса различитог порекла долази до оплићавања језера, њихове сукцесије и преласка у баре, да би оне на крају потпуно ишчезле. О томе ће бити више речи у поглављу 5.4. о стајаћим водама.



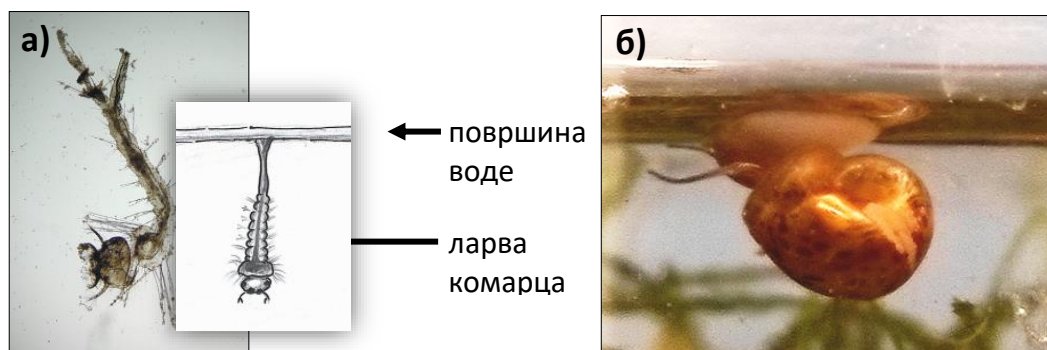
Слика 43. Мртваја на Тиси код Бачког Градишта (а) и Засавица, пређашњи меандер реке Саве (б) (Google Earth)

Водене средине се на основу тога да ли вода тече или релативно мирује деле на **лотичке** и **лентичке**. И док **лотичке** средине карактерише сталан проток воде, за **лентичке** је карактеристично веома споро кретање или чак и његово одсуство.

У текуће воде убрајају се реке и канали, док стајаће воде чине језера, баре, али и мања водна тела, као што су мртваје, локве и др. Ова подела је условна јер велике равничарске реке имају веома спор ток поготово при ушћу, док се код неких речних језера јавља значајније струјање воде. Текуће воде се међусобно разликују према протицају и количини воде, облику корита, али и квалитету воде. И док се планински потоци и реке одликују релативно мањим количинама воде, али већом брзином тока, равничарске реке поседују обично веће количине воде, а мање брзине. Разлике се јављају и у квалитету воде. Планинске водотоке обично карактерише бистра вода, богата кисеоником, али нижих температура. Насупрот њима равничарске реке су спорог тока, мутне и топлије.

У оквиру површинских вода већих димензија јављају се различита станишта, а поред брзине воде важни критеријуми су још близина површине воде или дна водног тела, где се мењају осветљеност, температура, концентрације раствореног кисеоника и нутријента и друге карактеристике. С обзиром на поменуто, у оквиру једног водног тела могуће је разликовати следеће еколошке зоне, станишта водених организама или водене биоценозе:

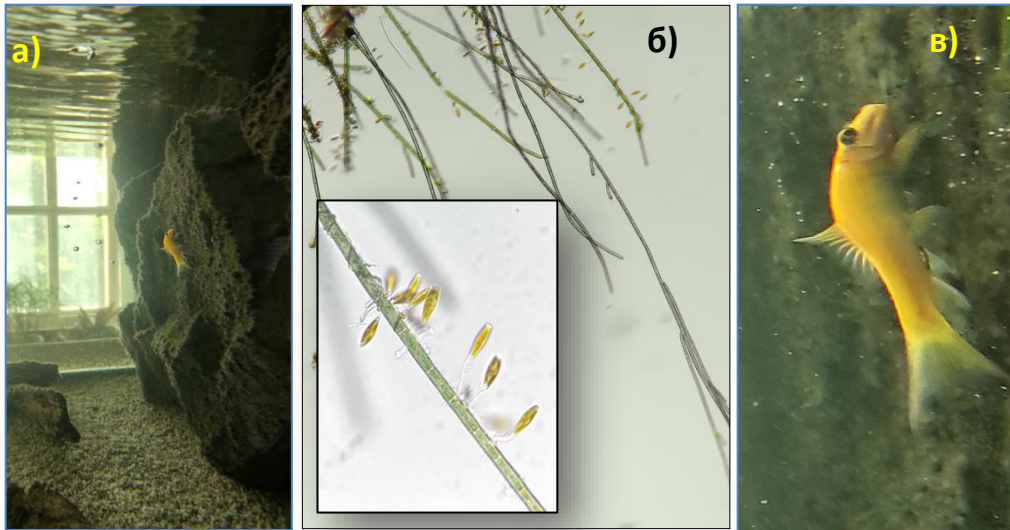
1. **Неустон** (грч. *neustos* – плутајући, пливајући) – гранични слој између воде и ваздуха у коме површински напон воде игра значајну улогу. Ситни организми, који преферирају ову зону, површином тела се, услед деловања површинског напона, **прикаче** за површину воде било са доње или са горње стране (слика 44).



Слика 44. Пример организама неустона, који се прикаче за површину воде са доње стране (доњи мениск): ларва комарца (а) и слатководни пуж (б)

2. **Планктон** (грч. *planktos* – лебдећи) – сачињавају организми који су ситни и најчешће немају могућност активног кретања, већ су суспендовани у води, те их носе водене струје, таласи и други видови кретања воде. Овај слој обухвата горње осветљене слојеве водног тела.
3. **Нектон** (грч. *nekton* – пливајући) – овај термин означава организме који се активно крећу пливајући у водном телу.
4. **Перифитон** (грч. *peri* – око, около + *phyton* – биљка) – у нашем језику се користи и реч **обраштај** и упућује на ситне организме (бактерије, алге, протозое и др.), који обрастају делове биљака потопљене у води. Обраштај се може јавити и на површинама антропогеног порекла, какве су разне изграђене структуре, нпр. стубови, али и површине чамаца и других пловила. Ако је

водно тело плитко, обраштај се јавља и на дну, посебно на каменој подлози, где се формирају превлаке (слика 45).



Слика 45. Перифитон или обраштај спонтано настао у факултетском аквапоник систему (а). У њему доминира алга *Chladophora* sp. (б) којом се храни риба чистач – кинески алгар (*Grynocheilus aymoneri*) (в), а на истој алги су причвршћене и сесилне дијатомеје (г)

5. **Бентос** (грч. *benthos* – дно, дубина) – организми који живе на дну чине животну заједницу бентоса. Ту се убрајају организми који се крећу по дну или у подлози налазе своје склониште.

Најчешће су организми адаптирани тако да живе у једној животној заједници, али постоје и они који неке почетне фазе развоја проводе у једној животној заједници, а финалне фазе у другој. Као пример могу послужити поједини инсекти, који највећи део свог живота проведу као ларве у бентосу, а само се пред крај живота трансформишу у адулте и убрзо након парења и полагања јаја угибају. Наведене животне заједнице површинских водних тела дате су као општи случај, али постоје и изузеци. Тако на пример, планктонска заједница је карактеристична за споротекуће или стајаће воде, али не постоји у брзотекућим планинским потоцима, пошто је брзина воде сувише велика, па лаке организме планктона односи водена струја.

Несумњиво је да је антропогени утицај на водна тела веома изразит, те ако се то посматра као критеријум за поделу водних тела, у копненом делу Европе разликују се:

- природна водна тела (реке, језера),
- јако измењена водна тела (каналисане реке, акумулације) и
- вештачка водна тела (канални, ископи глине, песка шљунка и др.)

5.1. Текуће воде

Наше реке су настале у периоду последње постгласације и формирале су се на различите начине. Једне су постале искључиво на рачун атмосферског талога, друге отапањем ледника и снежника, а треће комплексним деловањем ових фактора. Наука која проучава текуће воде, њихов настанак, особине и промене речног режима, као и живи свет назива се **хидрологија** или **потамологија** (грч. *potamos* – река). Поред природних водотока – **река**, у текуће воде се убрајају и **канал**и прокопани да би задовољили различите потребе људи, нпр. ради мелиорације земљишта, обезбеђивања пловних путева и др.

Физичко-хемијске особине водотока

Речне воде по својим особинама припадају хидрокарбонатном типу и садрже слободне јоне Ca, Mg, Na, Cl, сулфата (SO_4), хидрокарбоната (HCO_3) и др. Воде река су слабо минерализоване и међусобно су сличне због сталног мешања и протицања. Оне су неутралне или слабо алкалне, а рН се креће од 7 до 8,5. Алкалитет варира дуж тока и највећи је у изворишном делу, да би се према ушћу постепено смањивао због сталног таложења кречњака ($CaCO_3$). Том приликом се ослобађа угљена киселина (H_2CO_3). Ова правилност низводног смањења алкалитета (и рН) ремети се дуж тока услед примања притока.

Речна вода увек садржи довољне количине O_2 услед непрекидног кретања и мешања воде. Његова концентрација је директно сразмерна са површином реке, а обрнуто сразмерна са температуром воде. Количина раствореног O_2 има и дневни и сезонски ритам. Највише га је у подневним часовима када је фотосинтеза најинтензивнија, а током ноћи му опада концентрација. Режим CO_2 је обрнут и највише га има у раним јутарњим часовима, док је у току дана често у дефициту.

На температуру речне воде утиче неколико фактора, а најважнији су географска ширина, количина воде и дубина. Услед сезонских промена долази до температурног колебања воде реке и оно у умереном појасу износи $0^{\circ}C$ – $30^{\circ}C$. Дневна колебања су много мања, свега $1^{\circ}C$ – $1,5^{\circ}C$. Температурна дневна и сезонска колебања су најмања на извору и повећавају се низводно према ушћу. За речне системе је карактеристична хоризонтална термичка стратификација (повећање температуре од извора према ушћу у летњем периоду, а зими је обрнуто), док термичка стратификација у вертикалном смеру није изражена.

Светлосни режим је такође један од веома значајних абиотичких фактора у речним екосистемима. Светлосни зраци могу да продру од неколико центиметара (у мутним водама доњих токова) до неколико метара (у бистрим планинским рекама).

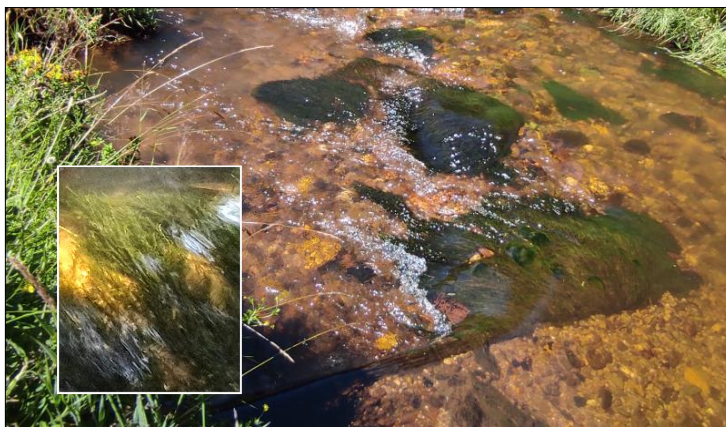
Животне заједнице горњег тока река

Планински и брдско-планински региони су подручја где долази до формирања водотока. Након отапања снега или обилних киша вода се слива низ падине, а на најнижим котима терена формирају се мали водотоци – потоци. Уколико у подлози постоје удубљења са водонепропусним дном формираће се и ефемерне барице и језерца (слика 46).



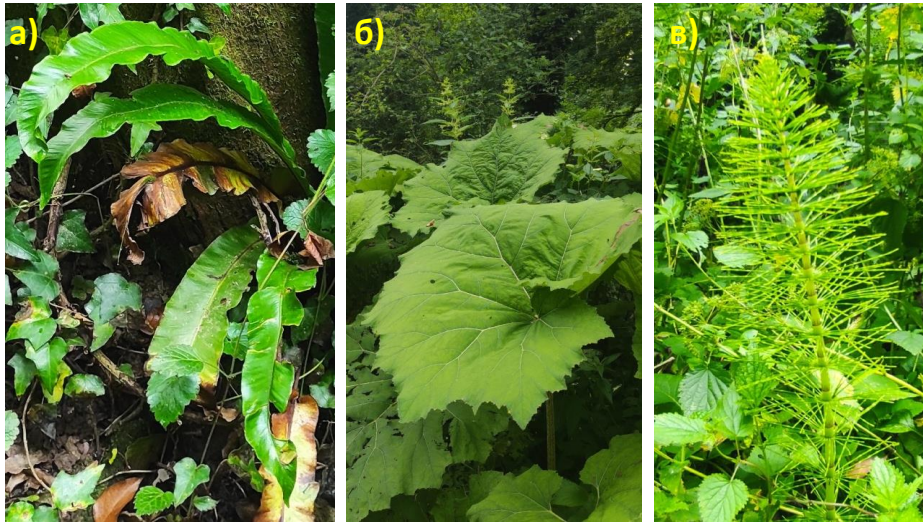
Слика 46. Мања водна тела у шуми: ефемерна барица (а) и поток (б)
(Андревље, Фрушка гора, јун 2023)

Организми који насељавају горње токове река имају низ прилагођености на специфичне услове који владају у овом региону. Ниска температура и велика брзина условљавају слаб развој макрофитске вегетације коју карактеришу мали диверзитет у погледу броја врста и велика индивидуална бројност оних биљних организама који су се прилагодили условима. Доминирају **силикатне** и **модрозелене алге**, које насељавају камениту подлогу и пукотине стена. Од вишећелијских алги јавља се *Cladophora* sp. (слика 47), а затим и **маховине**, које формирају богато развијене бусенове.



Слика 47. Алге причвршћене за камену подлогу
Самоковске реке (Копаоник, август 2023)

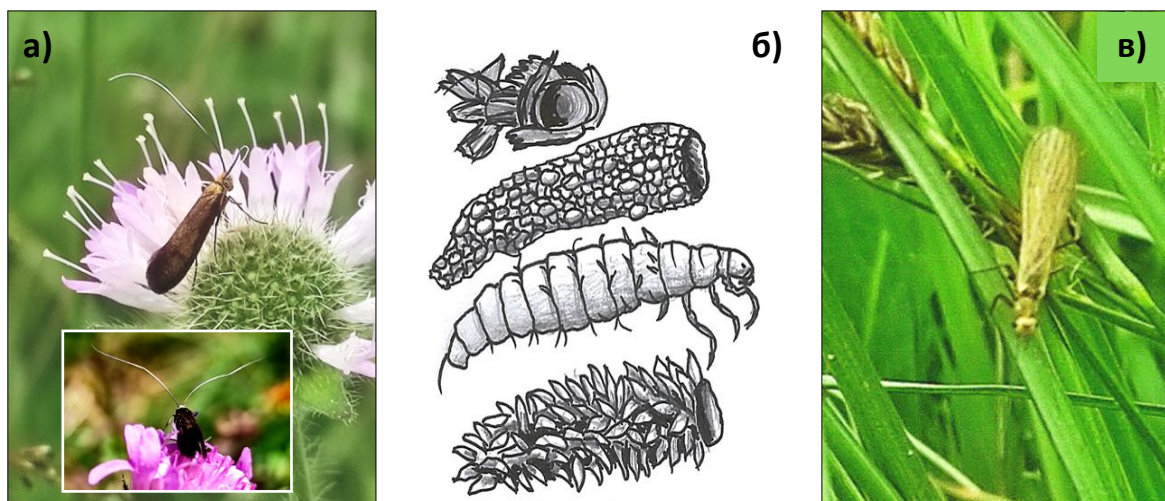
Непосредно уз водене површине јављају се раставић (*Equisetum* sp.), папрат јеленак (*Asplenium scolopendrium*) и репух (*Petasites* sp.), који често доминира обалама потока и речица, при чему његови велики листови (и до 70 cm) праве засену води (слика 48).



Слика 48. Типичне биљне врсте које се могу наћи уз брдско-планинске потоке: (а) папрат јеленак (*Asplenium scolopendrium*), (б) репух (*Petasites* sp.) и (в) раставић (*Equisetum* sp.) (Тестера, Фрушка гора; јун 2023)

За животињске организме постоји опасност да отплове низводно, па већина врста насељава само дно или слој воде непосредно изнад њега. Оне имају тело прилагођено на повећано струјање воде – **хидродинамичан облик тела**, снажне мишиће, органе за причвршћивање, повећану биомасу итд. Тако *Planaria* и ларве воденог цвета (*Ephemeroptera*) (слика 41) карактерише **дорзо-вентрална спљоштеност тела**. Иста прилагођеност може се приметити и код пужа *Ancylus*, који такође има спљоштену ниску љуштуру и широко стопало. Постоје и друге прилагођености, као што су **пијавке** од ларви двокрилаца и **кукице** код ларви тврдокрилаца и водених гриња. Ипак, најнеобичнију адаптацију срећемо код ларви крзнокрилаца (*Trichoptera* sp.), које за свој меки абдомен лепе материјал са подлоге и тиме формирају кућице. Уколико је дно сачињено од каменчића, кућица ће бити са каменим инкрустацијама, а уколико је подлога дна од биљног материјала, кућице граде од њега (слика 49).

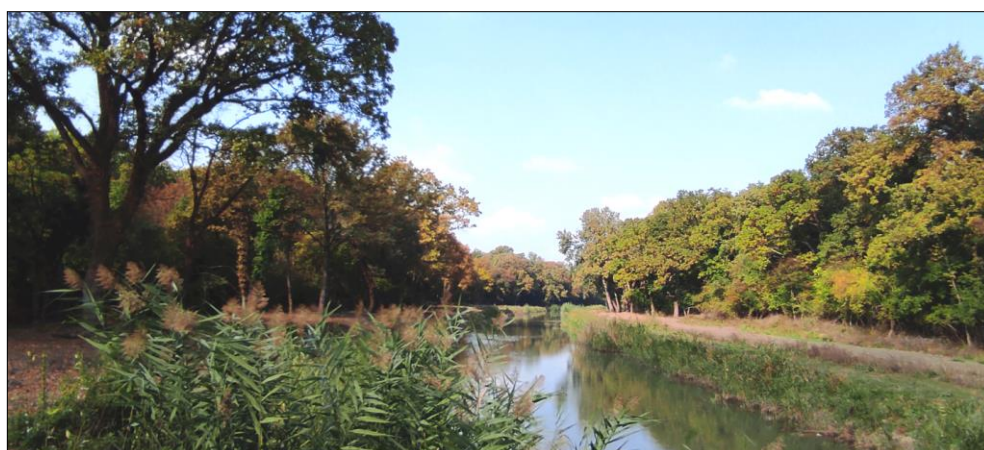
Неке животиње се супротстављају току воде тако што се крију испод камења, као што то чини рачић *Rivulogammarus* sp. Животиње већих димензија, као на пример **рибе** (из фамилије Salmonidae, нпр. *Phoxinus* sp.), активно се крећу у воденој струји и стога имају **снажно развијену** мускулатуру, а попречни пресек тела им је приближно кружан, пошто морају да се супротстављају струјању воде у различитим правцима. У мирнијим деловима горњег тока развијена је фауна која подсећа на стајаће воде, тако да се ту могу наћи на пример представници ваљкастих црва (*Nematoda* sp.).



Слика 49. Инсекти чијим ларвама се хране рибе хладнијих вода умерене зоне: *Trichoptera* sp.: адулти (а) и ларвени облици са кућицама од биљног материјала и каменчића (б); *Plecoptera* sp. (в) (а, в: Копаоник, август 2023)

Животне заједнице средњег и доњег тока река

За доњи и средњи ток река је карактеристична мања брзина воде, што омогућује да се на дну депонују финији седименти, па оно може бити прекривено песком или муљем. Поред тога, у већини случајева надморска висина је нижа, те је и температура воде виша. Деонице водотока у оваквим условима одликује и мања прозирност (слика 50). Обале могу бити обрасле врбом (*Salix* sp.), која има вишеструку улогу. Наиме, она прави сенку и смањује загревање воде у приобалним деловима, што посебно погодује воденим животињама током лета. Поред тога, врбе својим корењем стабилизују обале и спречавају ерозивне процесе. Коначно, фини коренчићи, који допиру до саме воде у плићацима, представљају добро место за полагање јаја (мрест риба) и скривање мањих животиња (слика 51).



Слика 50. Речица Плазовић (Киђош) (Горње Подунавље, октобар 2022)



Слика 51. Врба својим корењем стабилизује обалу, а коренчићи пружају погодно станиште за мрест риба (Бећар-шtrand, Нови Сад; октобар 2023)

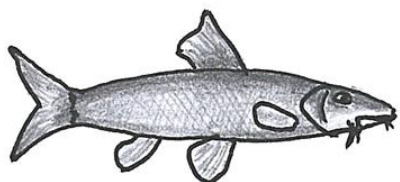
Макрофитска вегетација је развијена, нарочито у плавној зони. Јавља се у виду **емерзне (семиакватичне) вегетације** (трска, рогоз, сита), **флотантне вегетације** (бели и жути локвањ) и **субмерзне вегетације** (дрезга, ресина итд.). Светлост у овом делу речног тока допире до дубине од 2,5 m. У дубље слојеве светлост не продире, те због тога одсуствују зелене биљке. Густина заступљених биљака се такође смањује од обале према средини речног корита.

Уколико је брзина воде мања од 1 m/s, развијен је планктон (потамопланктон) и чине га **фитопланктон** – модрозелене, зелене и силикатне алге, као и **зоопланктон** (нижи ракови). Зоопланктон поседује посебне адаптације на лебдећи начин живота, као што су капи уља, гасни мехурићи или телесни израштаји – у виду антена на главеном делу тела, или длачица или наставка фурке, на задњем делу тела. Максимални развој планктонске продукције достиже се у лето и јесен. Висока зоопланктонска продукција је омогућена партеногенетским начином размножавања (развиће неоплођених јаја и том приликом настају само женке). Поред тога, значајни су и инсекти који живе у води, као што је случај са великим весларом (слика 52a), или им је животни циклус везан за воду, као у случају са вилиним коњицима и воденим девицама (слика 52б), чије ларве живе у води.

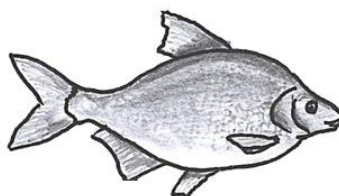


Слика 52. Инсекти везани за водена станишта: (а) веслар (*Hydrophilus*) и (б) водена девица (*Enallagma cyathigerum*, ред Odonata – вилинских коњица) (а – Засавица, колекција М. Станковића; б – Словачка, јун 2022)

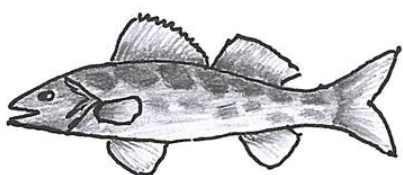
Потамонектон чине највећим делом рибе – региони **мрене** и **деверике**, али су заступљене и многе друге врсте риба (слика 53).



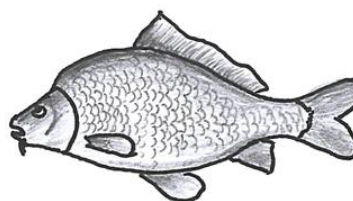
мрена (*Barbus barbus*)



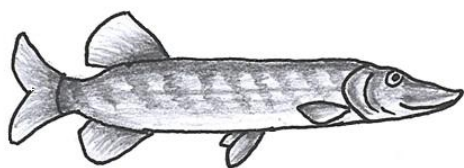
деверика (*Abramis brama*)



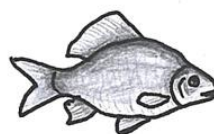
смуђ (*Sander lucioperca*)



шаран (*Cyprinus carpio*)



штука (*Esox lucius*)



караш (*Carassius carassius*)



црвенперка
(*Scardinius erythrophthalmus*)
локалитет: Сусечки Дунавац



бабушка
(*Carassius auratus gibelio*)
локалитет: Палићко језеро

Слика 53. Рибе низијских вода

Насеље дна сачињавају малочекињасти црви (*Oligochaeta*), чији су представници: *Limnodrilus* sp., *Tubifex* sp., *Nais* sp. и *Dero* sp. Поред њих, на дну још живе **рачићи** (нпр. фам. Gammaridae), **ларве инсеката** (нпр. фам. Chironomidae) и **мекушци** (Mollusca), међу којима су многе врсте пужева и шкољки (слика 54).



Слика 54. Потврда о разноврсном живом свету бентоса Дунава: (а) љуштуре шкољки и пужева на обали, (б) алохтона врста шкољке *Corbicula fluminea* и (в) аутохтона *Anodonta* sp. извађена из воде (а – Дунав, Ср. Каменица, март 2023; б и в – Дунав, Нови Сад, јул и септембар 2023)

Посебно је развијена перифитонска заједница коју представља обраштај формиран на макрофитској вегетацији. Ту су бројне врсте епифитских алги (**модрозелене** и **силикатне**), неки представници праживотиња, нпр. трепљари (*Ciliata*), неки малочекињасти црви (*Oligochaeta*) и други организми. Ова заједница се образује на пловним и стајаћим објектима. Примера ради, делови бродова, чамаца и других пловила редовно морају да се чисте, како им обраштај не би повећавао хрпаовост и успоравао пловидбу. Такође, и на непокретним објектима се може развити обраштај, нпр. на стубовима моста.

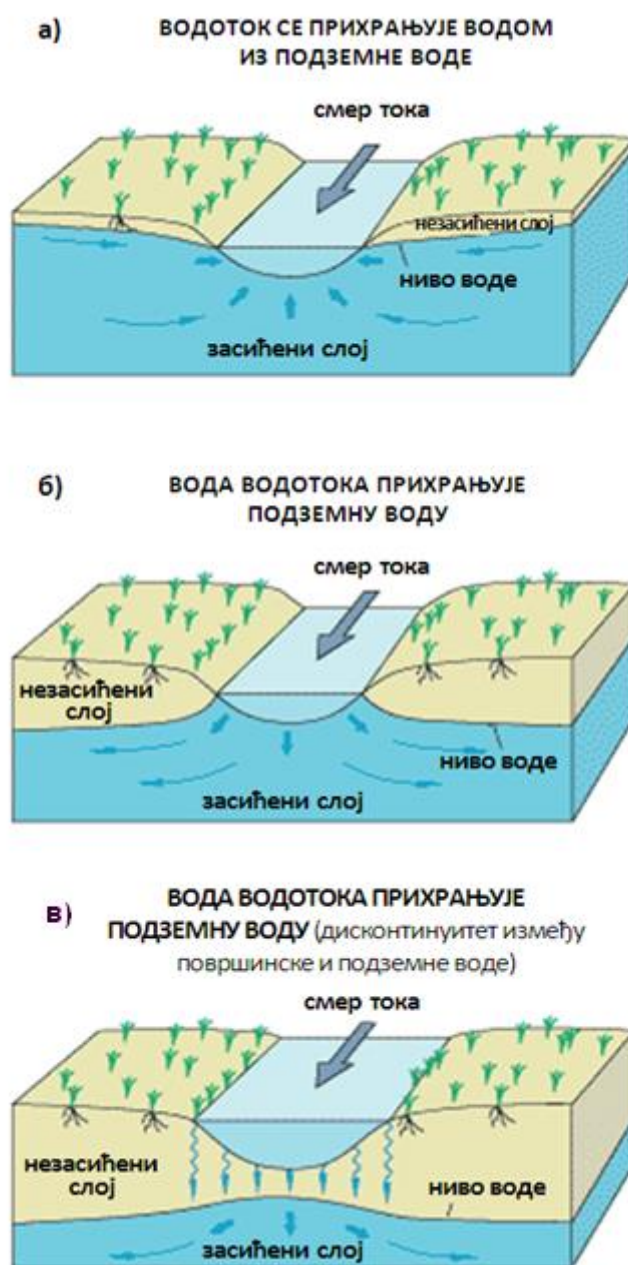
5.2. Хипореичка зона

Простор испод главног корита реке кроз који тече вода паралелно са оним у главном кориту водотока назива се **хипореичка зона**. Ова зона има еколошки значај и представља посебну животну средину која се протеже између чврстих честица алувијалних наноса испод дна реке (слика 55). Размена воде и материја се одвија између површинске воде, алувијалних аквифера и подземне воде у делу које се назива хипореичком зоном. Ову зону чине водом засићени седименти испод главног корита реке, који се протежу и латерално испод обала реке. Размена је олакшана због постојања динамичког хидрауличког градијента, који се јавља између водотока и суседних аквифера и може се протезати до неколико стотина метара дуж великих водотока. У овој зони долази до мешања подземне воде и воде из водотока, чиме она представља спону између водотока и слива.



Слика 55.
Хипореичка зона
(модификовано
према Winter et al.,
1998)

Вода у хипореичкој зони води порекло делом из површинске воде, а делом из подземне воде, што утиче и на њен састав. У зависности од услова који утичу на ниво подземне воде, количину воде у водотоку, али и других утицаја (нпр. појава загађења), мења се и састав воде у хипореичкој зони. У случајевима када подземна вода допире до хипореичке зоне њена вода битно утиче и на квалитет воде у хипореичкој зони (слика 56 а, б). Када је ниво подземне воде низак и не допире до хипореичке зоне, онда на њен састав у целости утиче водоток (слика 56в).



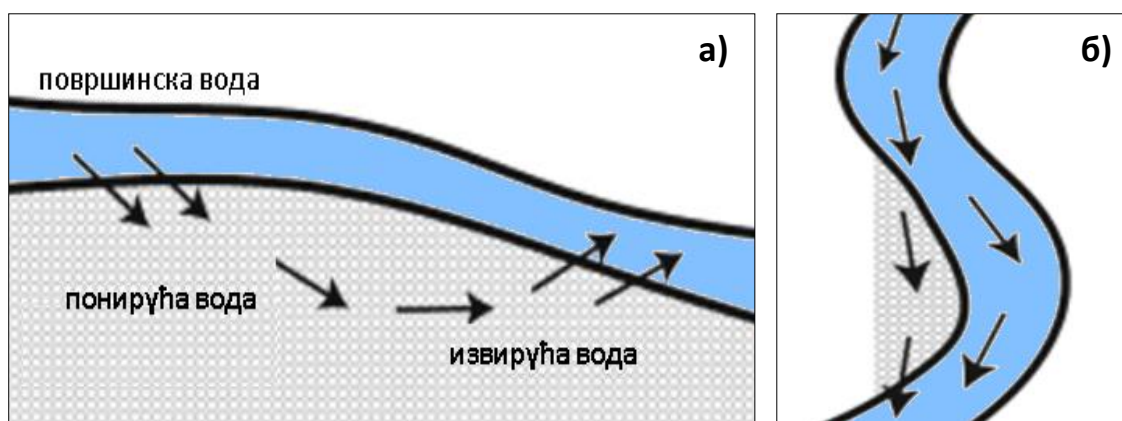
Слика 56. Интеракције између водотока и подземне воде (модификовано према Winter et al., 1998)

Брзина потповршинског течења воде у хипореичкој зони зависи од порозности и састава материјала од кога је сачињено дно водотока. Ова зона није у потпуности засићена водом, већ постоје и деонице где се стално или повремено налази ваздух. Она је променљива у простору и времену. У зависности од хидролошких услова и временских прилика мења се и њена величина, али и однос воде и ваздуха. Она се обогаћује водом из водотока, али се на неким местима, путем бројних потповршинских токова, и враћа у њега. Количина воде која улази и напушта ову зону зависи од водостаја и нивоа подземне воде.

Протицање воде кроз хипореичку зону утиче на одвијање биохемијских процеса, а тиме и на квалитет воде и изглед таквог воденог станишта. Квалитет воде која улази у хипореичку зону значајно се разликује од оне која је напушта. На уласку у ову зону вода је богата кисеоником и хранљивим материјама, а и има мање бројне популације микроорганизама. Насупрот њој, вода на изласку садржи нижу концентрацију кисеоника, док су нутријенти због микробиолошке активности разграђени до одређеног нивоа (Ffolliott et al. 2003). Поред тога, популације алги и других микроорганизама су бројније.

Хипореичка зона планинских потока представља централно место где се одвија кружење нутријената у приобалном подручју. Вода у међупросторима хипореичке зоне богатија је азотом и другим хранљивим материјама и има већи утицај на биолошку продуктивност у поређењу са водом у кориту потока.

Посебно су активна подручја хипореичке зоне на местима где се јављају брзаци и слапови. Овде се јавља и типичан образац тока воде кроз хипореичку зону, при чему долази до понирања воде на местима где почињу брзаци, на местима где се јавља већи нагиб дна водотока, али и у случајевима где водоток меандрира. Вода се из хипореичке зоне враћа у водоток по завршетку брзака или кривине меандра (слика 57).



Слика 57. Општи образац тока подземне воде кроз хипореичку зону, где се вода у појединим деоницама из хипореичке зоне креће хоризонтално, вертикално (а) и латерално (б) у односу на дно и обале реке (Boulton, 2000)

Један издвојени део животне заједнице означава се као **стигоритрон** и он насељава **хипореички биотоп**. Плића зона заузима простор хипореичког интерстицијала и ту се срећу организми који припадају α – стигоритрону. Дубљу зону насељава β – стигоритрон. Величина насељеног простора зависи од порозности подлоге, односно димензија зрна песка и другог материјала који сачињава овај слој. Овде се срећу Rotatoria, Oligochaeta, Crustacea, ларве Insecta и рибе.

Као и у другим деловима водотока, и овде се јављају ланци исхране, тако да се животна заједница састоји од произвођача (продуцентата – **фитопланктон** и **макрофитска вегетација**), потрошача (конзументата – **зоопланктон**, **нектон**) и разлагача (редуцентата – **бактерије**, **гљиве**, Protozoa, Oligochaeta). У хипореичкој зони нема светлости, а органска материја, која представља извор хране, улази са водом из водотока, креће се заједно са водом и разлаже се уз помоћ разлагача. На излазу из ове зоне органске материје су у великој мери измењене. Готовим органским материјама, најчешће пореклом од одумрлог биљног материјала хране се бактерије, протозое, врло мали инсекти који живе у порама седимената или као филм на површини шљунка. При томе, један део се уграђује у саме организме, док остатак подлеже извесном степену минерализације и у виду екскремената и метаболита организама напушта хипореичку зону. На тај начин у хипореичкој зони се врши разградња органске материје и врши пречишћавање воде. На пример, у потоцима који су богати нутријентима хипореичка зона филтрира вишак азота из воде водотока (слика 58).



Слика 58. Процеси у хипореичкој зони

Поред тога, у њој се могу задржавати и тешки метали. Тиме се може рећи да хипореичка зона врши улогу биофилтера који пречишћава воду из водотока. Разлике које се јављају у води водотока у односу на воду хипореичке зоне се огледају у следећем:

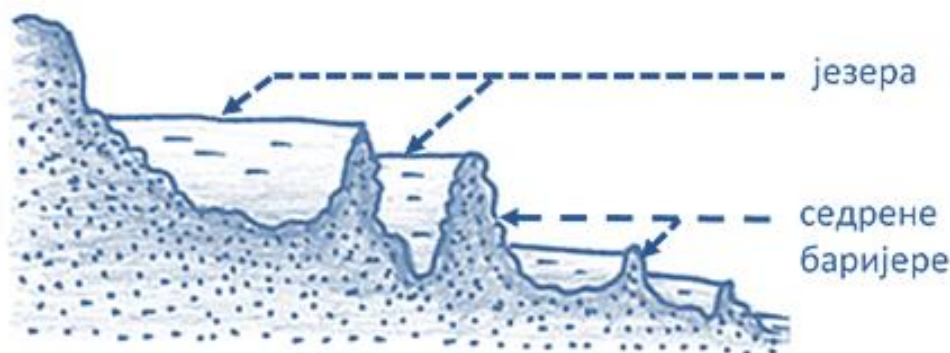
- **Понирућа вода водотока:** висока концентрација кисеоника, ниска концентрација угљен-диоксида, мало нутријената, обиље органских материја, површинска фауна и мала биомаса микроорганизама.
- **Извирућа вода из хипореичке зоне:** ниска концентрација кисеоника, висока концентрација угљен-диоксида, разложене/минерализоване органске материје, потповршинска фауна и велика биомаса микроорганизама.

Често се дешава да овај биотоп насељава више бескичмењака него у водотоку. Приликом екстремних промена у водотоцима, какве су поплаве и суше, организми налазе склониште у хипореичкој зони.

Закључно, хипореичка зона чини везу између воде водотока и подземне воде, али и шире, утичући и на друге процесе који се јављају у сливу.

5.3. Крашки водотоци и облици рељефа

Посебан вид текућих вода представљају крашке реке са својим специфичним животним заједницама. Услед велике еколошке варијабилности у погледу колебања абиотичких фактора, како хидролошких услова, али и светлосног и температурног режима, у овим водотоцима јављају се различити типови станишта. Најзначајнији типови станишта су крашка врела, крашки брзаци, полупећине и пећине¹. Посебан вид флувио-акумулативног крашког рељефа чине **седрене баријере**, које се формирају таложењем кречњака (CaCO_3) током веома дугог временског периода (време се мери и хиљадама година). Подлогу на којој се кречњак таложи чине одумрли остаци алги, хигрофитне и хидрофитне маховине, ларве инсеката, мекушаца и других организама. Таложење се врши на местима прелива воде ка нижим котима терена. Постепено, наталожени биогени материјал бива инкрустиран кречњаком. Тиме се стварају водонепропусне баријере, а језеро се продубљује (слика 59).



Слика 59. Седрене баријере и језерски систем настао захваљујући њима, инкрустацијом кречњака на одумрлим остацима организама

Оседравање је процес настајања органогених кречњачких наслага. То је комплексан процес условљен мноштвом физичко-хемијских и биолошких чинилаца, а карактеристичан је специфично за **крашке реке**. На местима где долази до распршивања воде и њене аерације атмосферским ваздухом акумулира се седрени материјал. Да би дошло до оседравања потребно је да воде буде алкалне реакције и да температура воде буде нижа од 15°C . Такви услови се јављају током лета у већини наших крашких река. Изузетак представљају изворишни региони, где је температура нешто нижа. Подлогу стварању седре чине биљке – најчешће су то хигрофитске и хидрофитске маховине и алге, које се инкрустрирају калцијумом (тај процес се одвија захваљујући физичко-хемијским реакцијама). Присуство светлости је битно за одвијање фотосинтезе биљних организама. Поред тога, значајан предуслов је и брзина воде – оптимална брзина је $1\text{ m/s} - 2\text{ m/s}$. Нагомилавањем седрених седимената мењају се еколошки услови станишта и долази до насељавања различитих животињских врста и појаве сукцесија. Сходно томе, поред биљних организама у даљем нарастању седре учествују и кућице и хитински омотачи ситних животиња (ларве Chironomidae, Trichoptera и Gastropoda). На основу тога, могу се разликовати типови хирономидних, трихоптерних и гастроподних седри.

¹ О подземним облицима рељефа ће бити више речи у поглављу Подземне воде.

5.4. Стајаће воде

Стајаће воде су копнене воде код којих не постоји континуирани ток воде у једном правцу, већ су водени покрети сведени на таласе и струјања. Оне се разликују по начину постанка, величини (површини), дубини, физичко-хемијским и другим карактеристикама и најчешће се деле на: **језера** (велике стајаће воде), **баре**, **ритове** (плавне зоне), **мочваре**, **канале** и **рибњаке** (мале стајаће воде).

Језера су природна удубљења на копну испуњена водом која се природно не креће. Постоје четири типа језера:

1. **Тектонска (котлинска) језера** настала су деловањем ендегених сила (тангентним и радијалним покретима) литосфере. Том приликом се формира тектонска потолина у коју се накупља вода и настаје језеро. Тако су настали Охридско, Преспанско, Дојранско, Бајкалско језеро и др. У тектонска језера спадају и **вулканска језера**, многа језера у САД, на Андима, у Немачкој и Француској итд., као и **реликтна језера** која представљају остатке мора (Каспијско и Аралско језеро).
2. **Ерозивна језера** су настала деловањем егзогених сила. Тако су постала ледничка (гласијална) језера као последица стварања **циркова** и **валова**. У постгласијалном периоду се у цирковима задржала вода, па су формирана **циркусна језера** („горске очи”), као што је Црно језеро на Дурмитору. У издубљеним деловима на површини литосфере настала су **валовска језера** (Бохињско, Бледско, Палићко језеро). **Речна ерозивна језера** су настала одсецањем речних меандара који су формираны мењањем речног тока. Њихова ширина је по правилу једнака ширини реке, а најпознатији су Обедска бара, Мртва Тиса (Чуруг, Бачко Градиште) и др. **Крашка ерозивна језера** се формирају када вода испуни вртаче, увале или крашка поља. Скадарско језеро је нпр. потопљено крашко поље. **Пећинска језера** су најчешће мањих димензија (неколико метара) и настала су радом река понорница.
3. **Акумулативна језера** су постала акумулацијом (накупљањем) речног и ледничког материјала. Типичан пример таквог језера је Плавско језеро. **Речна акумулативна језера** су настала таложењем речних наноса или стварањем седрених баријера као што је случај са Плитвичким језерима. **Органогена (зоогена) језера** су формирана активношћу корала.
4. **Вештачка (антропогена) језера** су настала преграђивањем речних долина насипима у циљу коришћења хидроенергетског потенцијала (Ђердап, Власина), или за потребе индустрије (Борско језеро) и рибарства (бројне антропогене акумулације у Русији на великим рекама), као и спорта и рекреације.

Величина језера може бити веома различита. Највеће језеро је Каспијско са површином од 436.000 km², док нпр. Палић има површину од само 5,6 km².

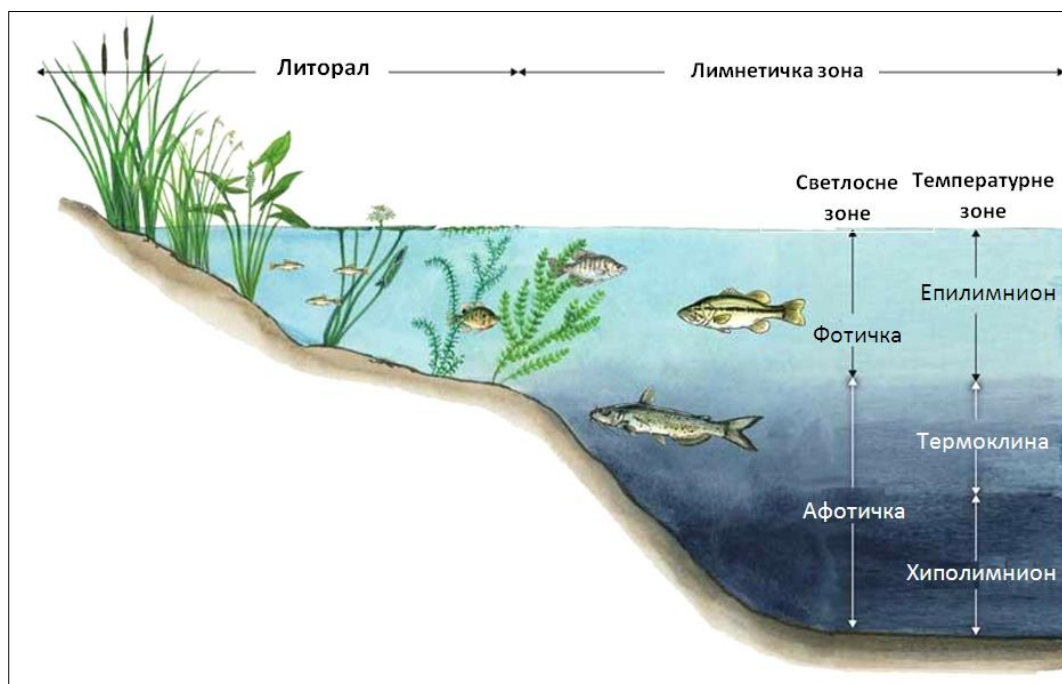
Дубина језера је такође различита. Палићко језеро је дубоко око 2 m, Скадарско 6 m, Охридско 286 m, а Бајкалско око 2.000 m. Веома је значајан однос величине језера и његове дубине. Овај однос водене масе и дубине језера одређује биопродукцију језера. Што су језера дубља, мања је биопродукција, а насупротив томе, она је највећа у плитким језерима.

Водни биланс и зоналност језера

Количина воде језера, односно **водни биланс језера** представља разлику дотока – снабдевања и губитка воде. Снабдевање језера водом се може обезбедити на више начина: рекама које утичу у њега (Аралско, Каспијско или Преспанско језеро), падавинама и подземним водама (Охридско језеро). Губитак језерске воде такође може бити на више начина: отицањем (као што из Охрида отиче Црни Дрим), филтрацијом у подземне воде (испољава се на крашким теренима, као што је случај са Преспанским језером) и испаравањем (евапорацијом), што се дешава у аридним условима, при којима долази до знатног годишњег колебања нивоа (количине) воде у језеру.

Релјеф језерског басена се огледа у постојању неколико зона које се јављају код сваког језера без обзира на његов постанак (слика 60), а то су: **литорал, сублиторал, профундал (бентал) и абисал**:

1. **Литорал** (приобална зона) је појас различите ширине и просечне дубине до 20 m. Подлога може бити веома различита (камен, шљунак, песак, муљ) и стално је присутно деловање таласа. У овој зони светлост продире до дна, а карактеристично је знатно температурно колебање.
2. **Сублиторал** је зона која се надовезује на литорал и стрмо се спушта према дну језера. Простире се до дубине од 50 m, а супстрат је сачињен од финих честица. У овој зони је оскудица светла, а температурна колебања су минимална. Водени покрети су сведени на струјања.
3. **Профундал** (дубинска зона) карактерише веома мека подлога, одсуство светла и ниска температура.
4. **Абисал** постоји само код великих и дубоких језера и простире се на дубини > 300 m. На слици 7 приказана је хоризонтална и вертикална зоналност језера у односу на светлосни и температурни режим



Слика 60. Вертикална и хоризонтална зоналност језера
(модификовано према: <https://kascomarine.com/blog/pond-lake-zone-identification/>)

Водени стуб слободне воде, који обухвата водену масу од површине до дна, назива се **лимнетичка зона** и састоји се од два слоја:

1. **трофогени / фотички** – површински и осветљени део у којем се одвија асимилација, а термички се поклапа са епилимнионом;
2. **трофолитички / афотички** – дубљи и неосветљени слој воде у којем нема примарне продукције, термички се поклапа са хиполимнионом и много је већи од трофогеног слоја.

Физичке особине језерске воде

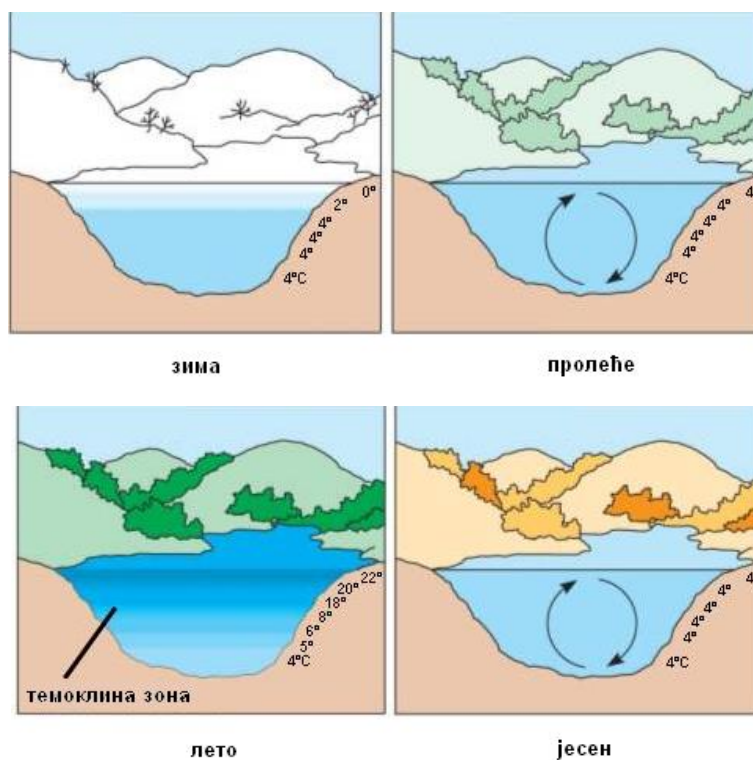
Температура је један од најважнијих фактора и зависи од географске ширине, надморске висине, температуре ваздуха, ветра, дубине воде и извора напајања језера. За живи свет у језеру веома су значајна сезонска температурна варирања која условљавају термичку стратификацију. Током летњег периода горњи слој **епилимнион** (дубине до 50 m) се загреје и карактеришу га сезонска варирања у погледу температуре. Доњи слој **хиполимнион** је знатно хладнији (температура се креће око +4°C), а температурна колебања су незнатна. У великим језерима између ова два слоја налази се још један слој, **металимнион** или **термоклин** слој, који карактерише веома неједначена температура. Овај слој спречава мешање горњих топлијих са доњим хладнијим слојевима воде. Циркулаторним кретањима топлота се преноси у дубље слојеве, па зими настаје обрнута термичка стратификација (слика 61). Вода има највећу густину на 4°C. **Зими** најнижа температура воде (0°C) у језеру лежи непосредно испод површине, а дубље прогресивно расте, те тиме долази до термалне стратификације. У **пролеће** се отапа снег, а површинска вода се загрева до 4°C и понире елиминишући разлике у температури. Ветар утиче на мешање воде при чему се кисеоника до самог дна, док хранљиве материје доспевају до површине. **Лети** долази до поновног успостављања термалне стратификације, при чему је топла вода на површини одвојена од хладне воде дубљих слојева једним танким слојем воде у коме долази до брзих температурних промена. Овај слој назива се **термоклин** слој. **Јесење** промене температуре карактерише поновно мешање воде пошто се површинска вода хлади и понире у доње слојеве. Овај процес мешања се одвија све док површина језера не почне да се леђи и док се не успостави зимски температурни режим.

Значај термичког режима огледа се у просторном распореду и динамици језерске биоценозе. Термички режим је код појединих типова језера различит, па се могу издвојити: топла тропска језера, суптропска, умерено топла, субполарна и поларна језера.

Оптичке особине језерске воде су **провидност** и **боја**. Провидност језера може бити веома различита. Дубока и хладна језера су провидна до дубине од 30 m. Плитка језера, са високом планктонском продукцијом, имају далеко мању провидност. Тако је Дојран провидан до свега 0,7 m, а Палић до 0,2 m. Боја већине језера је плава, пошто овај део спектра најдубље продире. Поред тога, боја зависи и од рефлексије од околне средине, као и од подлоге код плићих језера. Зелену боју језерска вода добија од више или мање развијеног фитопланктона. Хидрооптичке карактеристике језерске воде често су најбољи индикатор физичког, биохемијског и хидробиолошког стања сваког језера.

Покрети језерске воде настају услед деловања ветрова, под чијим утицајем настају таласи и компензационе струје. Језерски таласи се, за разлику од морских,

брже развијају и краће трају. Веома су стрми и могу да достигну висину од 2 m (Охрид) до 7 m (Каспијско језеро). За језера која имају малу ширину, а велику дужину, карактеристична су специфична кретања воде као последица разлике у ваздушном притиску. Ова посебна врста водених покрета назива се **сеш**.



Слика 61. Сезонска вертикална промена температуре у језерима (модификовано према Campbell et al., 2010)

Хемијски састав језерске воде

Састав воде језера у хемијском смислу зависи у највећој мери од начина снабдевања водом. На основу тога постоје две врсте језера. Код **проточних језера** језеро се пуни водом услед уливања притока, а вода из њега отиче отокама. **Уворна језера** су особена по томе што немају отоке, већ се вода губи евапорацијом. Код проточног типа језера одржава се стална равнотежа у односу на количину соли у језеру, док се код уворних количина соли стално повећава. Постоји подела на основу концентрације соли у језерској води (табела 4).

Табела 4. Подела језера на основу концентрације соли

Тип језера	Концентрација соли (mg/l)
Слатководна	<100
Сланаста	100-300
Слана	300-470*
Минерална	>470**

*јављају се у аридним пределима; **карактерише их одсуство живота

Слатководна језера имају различите концентрације соли и растворених јона. Највише има бикарбоната (HCO_3) и Ca^{2+} , што им даје карактеристику карбонатног типа. Тако је концентрација укупних соли у Охриду 128 mg/l, а у Дојрану 274 mg/l. Вредност рН воде такође варира зависно од интензитета хемијских и биолошких процеса језерске воде. Изражена је и хемијска стратификација, тако што је у трофогеном слоју изражен мањак фосфата (P_2O_5) и нитрата (NO_3), који се стално троше у процесу асимилације (фотосинтезе), док се ове соли таложе у дубљем (трофолитичком) слоју, а турбулентним и циркулаторним кретањима се у пролеће и јесен преносе у горње слојеве.

Гасни режим језерске воде је повезан са термичким режимом као и оксидо-редукционим процесима (асимилација, дисимилација, труљење). Током лета је јасно изражена стратификација РК и CO_2 . Трофогену зону карактерише засићење кисеоником у току дана, док његова количина опада са повећањем дубине због потрошње. Ноћу концентрација РК нагло опада и може се смањити готово до нуле. Стратификација CO_2 је обрнута и у површинским слојевима га нема увек довољно, док је при дну увек присутан у довољним количинама услед процеса труљења.

Биолошка продукција језера

Према интензитету биолошких процеса, тј. према мањој или већој органској (биолошкој) продукцији, језера се деле на три основна типа: **олиготрофна**, **еутрофна** и **дистрофна**.

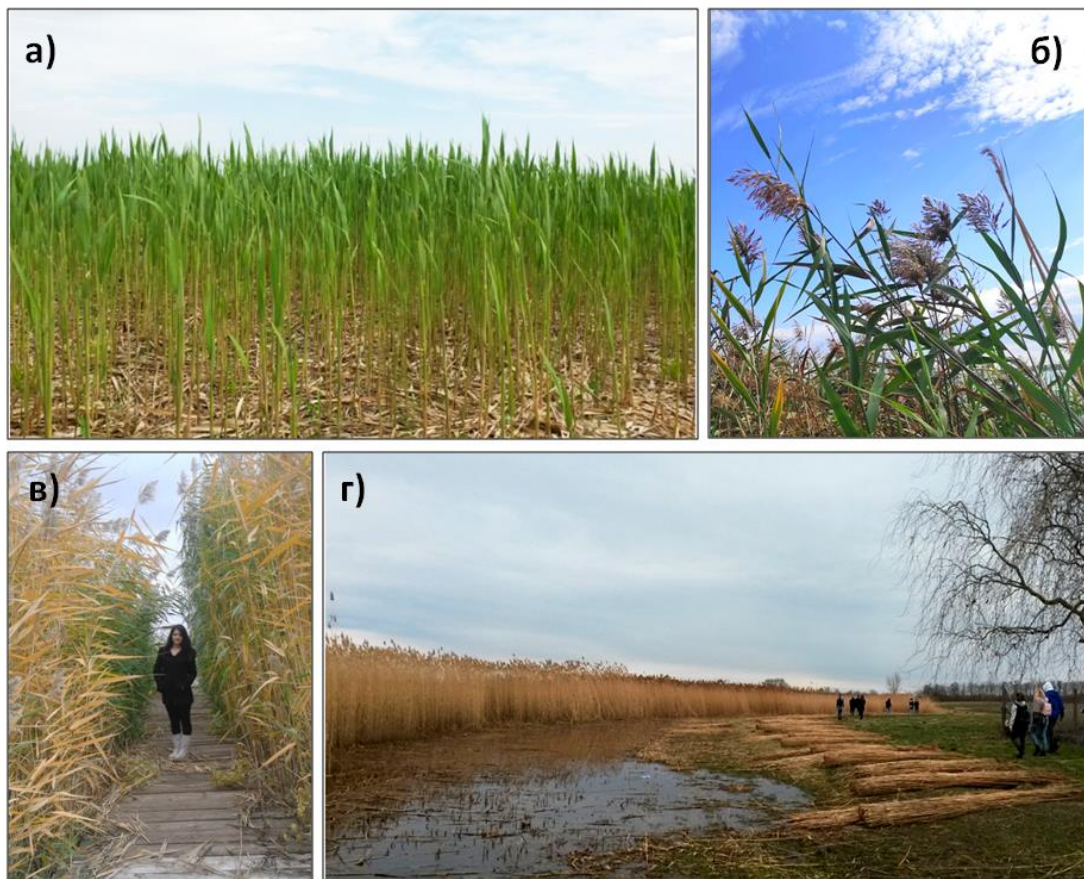
Олиготрофна језера карактеришу оскудица органских материја, ниска температура и високи садржај РК, поготово у дубоким, хладним слојевима хиполимниона. Дно таквих језера није прекривено муљем јер се све органске материје (постмортални остаци) минерализују услед присуства довољне количине РК. У тај тип језера спада нпр. Охридско.

Еутрофна језера су хидроекосистеми са високом органском продукцијом. То су плитки басени са високом летњом температуром воде. Дно карактерише висок слој муља са интензивним оксидо-редукционим процесима и мало РК. Мале су провидности услед бујног развоја фитопланктона. Таква су нпр. језера Палићко, Скадарско и Дојранско.

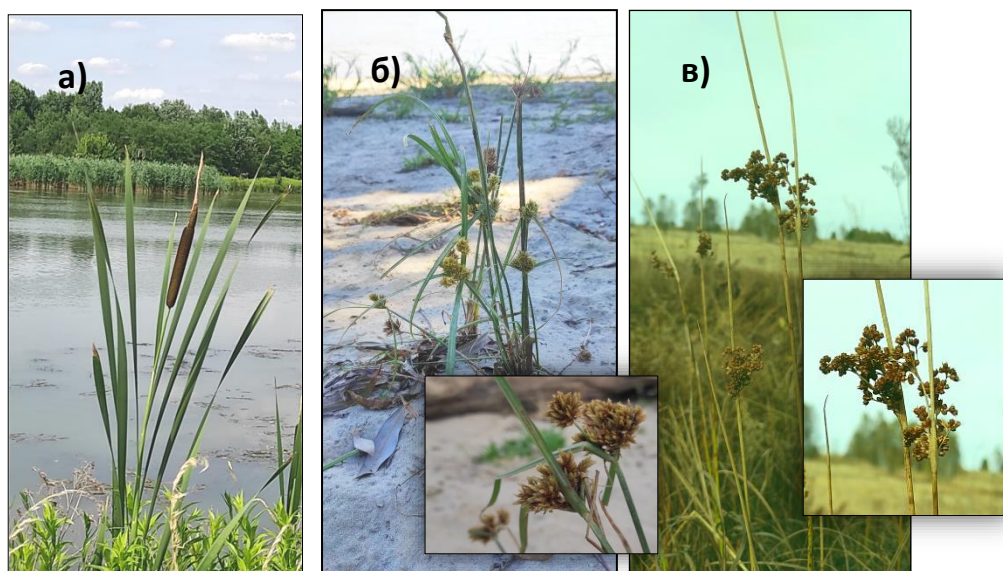
Дистрофна језера су сиромашна органским материјама услед ниске рН вредности, која не одговара већини водених организама. Концентрација РК је смањена, а често у дубљим слојевима овај гас потпуно одсуствује. Овај тип језера је најчешћи у пределима Северне Европе.

Животне заједнице језера

Распоред животних заједница језерског екосистема је повезан са распоредом зона рељефа једног језера и чине га: **литорал**, **сублиторал**, **профундал** и **лимнетичка зона**. Насеље **литорала** је самостална животна заједница пошто садржи све три компоненте једне биоценозе – произвођаче (продуценте), потрошаче (конзументе) и разлагаче (редуценте). Основни продуценти су макрофитска вегетација (цветнице, васкуларне биљке), које су секундарно адаптиране на овакав тип станишта. Први појас уз обалу чини тзв. емерзна вегетација – **трска** (*Phragmites australis*) (слика 62), **рогоз** (*Typha* sp.), **шиљ** (*Cyperus* sp.), **сита** (*Juncus* sp.) (слика 63) и **шаш** (*Carex* sp.), као и више врста кончастих алги (нпр. *Cladophora* sp.).

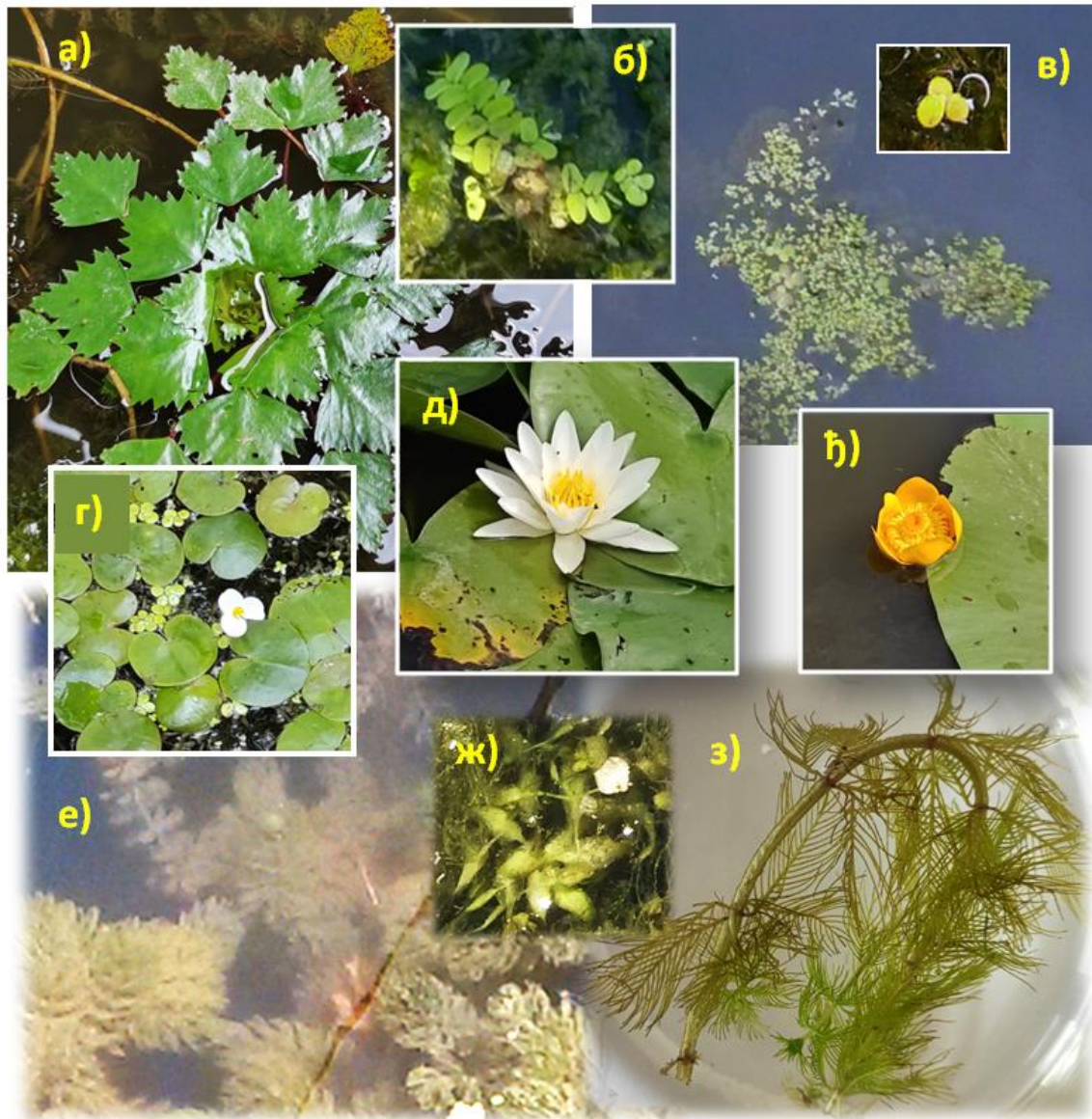


Слика 62. Трска (*P. australis*) на Лудашком језеру у току различитих годишњих доба: пролеће, ницање младе трске (а), лето (б), јесен (в) и зима, покошен део тршњака (г) (2018–2019)



Слика 63. Карактеристичне биљке влажних станишта: (а) рогоз, шевар (*Typha* sp.), (б) шиљ, циперус (*Cyperus* sp.) и (в) сита (*Juncus* sp.) (а – рукавац на Дунаву, Словачка, 2022; б – обала Дунава, Нови Сад, 2023; в – Власинско језеро, 2023)

У зооценолошкој компоненти доминирају разне врсте **пужева** и **птице мочварице**. Ова зона се пружа до 2 m дубине. На тај појас се надовезује тзв. флотантна вегетација – пливајуће биљке (**бели и жути локвањ** – *Nymphaea alba* и *Nuphar luteum*, **водени трскот** и др.) и пружа се до дубине од 3 m и више. Трећи појас чини субмерзна вегетација са врстама **увијуша** (*Vallisneria* sp.), **троугласта сочивица** (*Lemna trisulca*), **водени љутић** (*Ranunculus* sp.), **кроцањ** (*Myriophyllum* sp.), **дрезга** (*Ceratophyllum* sp.) итд. (слика 64). Та зона се простире до 7 m дубине, а зооценозу чине Rotatoria, **рачићи**, **ларве инсеката** итд., док у фауни дна доминирају Oligochaeta.



Слика 64. Типична вегетација стајаћих и споротекућих низијских вода: **флотантна** – (а) водени орашак (*Trapa natans*), (б) непачка, водена папрат (*Salvinia natans*), (в) сочивица (*Lemna* sp.), (г) локванчић, жабогриз (*Hydrocharis morsus-ranae*), (д) бели локвањ (*Nymphaea alba*), (ђ) жути локвањ (*Nuphar lutea*) и **субмерзна вегетација** – (е) дрезга (*Ceratophyllum demersum*), (ж) троугласта сочивица (*Lemna trisulca*) и (з) кроцањ (*Myriophyllum spicatum*) (КП рит, Стари Бегеј, Царска бара, 2018–2023)

Литоралну зону са пешчаном подлогом насељава посебна заједница услед појачаног дејства таласа. Овде је вегетација слабије развијена, а од животињских организама срећу се специфичне врсте *Oligochaeta*, затим ларве *Cironomidae* и других **инсеката**, **пужеви** итд. Између зрнаца песка живи карактеристична микрофауна састављена од *Rotatoria* и **рачића**.

У литоралу, где је често дејство таласа, дно је каменито, а макрофитска вегетација одсуствује. Срећу се сесилни и полусесилни организми, као што су микроскопске **алге**, **пијавице**, **рачићи** *Asellus* sp. и *Gammarus* sp., **шкољка** *Dreissena* sp., **пуж** *Theodoxus* sp. и ларве *Trichoptera* sp., које не граде кућице.

Насеље **сублиторала** чине ретки продуценти услед минималних количина светлости, а дно је муљевито (ређе песковито) са остацима детритуса биљног и животињског порекла и љуштура шкољака који су доспели из литорала. Насељавају га **сунђери**, *Planaria* sp., *Oligochaeta*, *Hirudinea* sp., **мокрице** и други организми.

Насеље **профундала (дубинска зона)** је адаптирано на специфичне услове, који се пре свега огледају у високом хидростатичком притиску, одсуству светлости и ниској температури са незнатним колебањима. Дно ове зоне је прекривено ситним муљем, а водени покрети су веома спори или их нема. Произвођачи потпуно одсуствују, па организми који насељавају дубинску зону зависе од планктонске и литоралне заједнице. Овде живе неке врсте *Oligochaeta*, затим **рачићи**, **мокрице**, **прегљеви**. У Охридском и Бајкалском језеру регистровано је мноштво ендемских врста **глиста** и **пужева**.

Лимнетичка зона представља део слободне воде језерског екосистема коју насељавају заједнице планктона, нектона и неустона.

Планктонску заједницу (лимнопланктон за разлику од потамопланктона или реопланктона текућих вода) чине фито, зоо и бактериопланктон, чинећи – са еколошког становишта, основне карике у процесу кружења материје и протока енергије на нивоу екосистема (произвођачи, потрошачи и разлагачи). Она је према томе потпуно самостална и не зависи од других заједница у воденим екосистемима.

Планктон

Организми који чине планктон лебде у води, који је састављен од фито и зоопланктона. Фитопланктон сачињавају најчешће представници силикатних модрозелених или зелених алги. Зоопланктонски организми су крупнији, нпр. ту су заступљени нижи ракови *Cladocera* и *Copepoda*, као и *Rotatoria* sp.

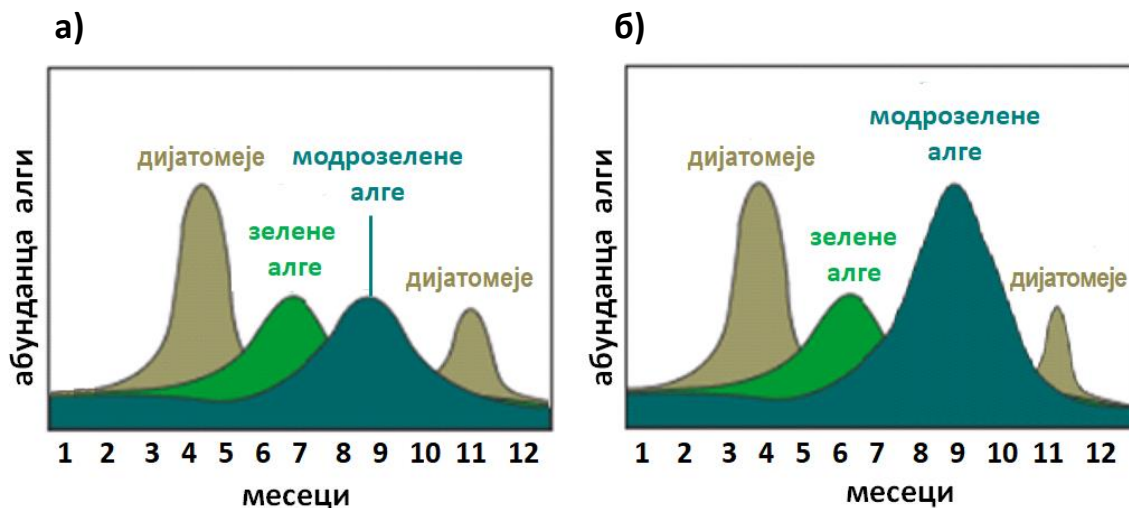
Квалитативни и квантитативни састав планктонске заједнице језерског екосистема се мења током године и ове промене се називају сезонска динамика. Њу условљавају сезонске промене температуре, концентрација растворених гасова, нутријената и других чинилаца.

Током године, услед промене температуре мења се густина воде, а планктонски организми се на те промене адаптирају променом облика и димензија свог тела, како би могли да лебде у површинским слојевима воде. Такве промене се називају **цикоморфоза** и срећу се код неких врста *Cladocera*, као што је *Bosmina longirostris*. Током летњих месеци густина воде је мања и пожељно је да организми имају већу површину тела, те формирају дуже израштаје, спине и антене, док у хладнијем делу године густина воде расте, те се јављају облици код којих су ови израштаји много краћи (слика 65). Покретање израштаја омогућује нижим раковима и изестан радијус кретања. Неки организми поседују и капљице уља, које им такође помажу при одржавању у воденом стубу.



Слика 65. Сезонска промена дужине израштаја код нижих ракова, тј. цикломорфоза (модификовано према Brooks, 1956; <http://cfb.unh.edu>)

У пролеће, када је у води повећана количина фосфата, нитрата и силиката, масовно се јављају **силикатне алге**. Оне троше ове соли, мењају хемијске карактеристике воде и стварају услове за развој **зелених алги** које доминирају током летње сезоне. У јесен се повећава количина органске материје у води и у условима смањене концентрације нитрата и фосфата бујају **модрозелене алге** (слика 66 и табела 5).



Слика 66. Сезонске промене бројности група алги при различитим трофичким условима који владају у језеру: (а) олиготрофно језеро и (б) еутрофно језеро (модификовано према Dennis, Vascon, 2017)

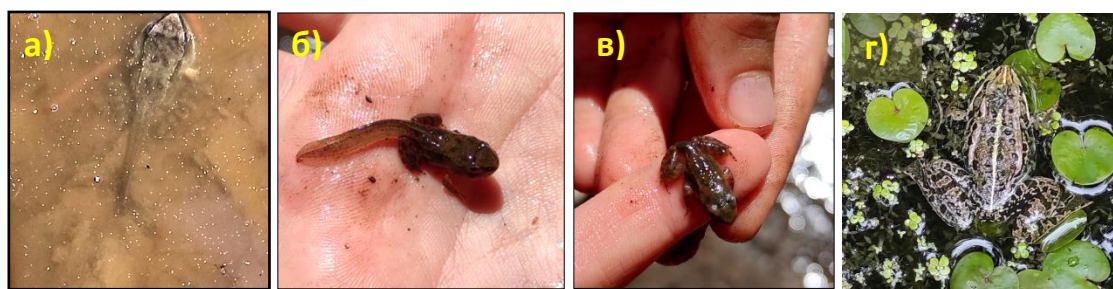
Фитопланктон поред временског карактерише и просторни распоред у вертикалном и хоризонталном смеру, а условљен је термичком и хемијском стратификацијом, светлосним режимом и воденим струјањима. Тако светлосни и температурни режим у појединим слојевима воденог стуба утичу на вертикалну стратификацију појединих компонената планктонске заједнице. У горњим (топлијим) слојевима воде доминирају термофилне **зелене** и **модрозелене алге**, а у доњим **силикатне алге** и **зоопланктон**. За зоопланктон су карактеристична дневно-ноћна миграторна кретања условљена променом интензитета светлости и температуром, воденим покретима, а такође су повезана са бољим могућностима исхране.

Табела 5. Трофичке карактеристике олиготрофног и еутрофног језера
(Dennis, Bacon, 2017)

Трофичке карактеристике	Олиготрофно језеро	Еутрофно језеро
траспарентност Секи диском	велика	мала
укупан фосфор	низак	висок
концентрација хлорофила	ниска	висока
доминација алги	дијатомеје	модрозелене алге

Нектон

У слободној, лимнетичкој зони језера, поред планктона живе и организми који се самостално крећу. Ова група хидробионата назива се нектон. Главна компонента нектона су **рибе**. Хладна језера насељавају рибе из породице Salmonidae, а топла Cyprinidae. Поред риба, ту су **инсекти** (и њихове ларве), **водоземци**, нпр. даждевњак и жабе (ларве и одрасли) (слика 67), **гмизавци** (корњаче и водене змије) итд. Њих карактеришу специфичне адаптивне способности које им омогућају да савладају отпор воде (облик тела и развијена мускулатура).



Слика 67. Жабе у различитим фазама преображаја (а–в) и одрасла јединка (г)
(а–в – Копаоник, август, 2023; Обедска бара, јули 2021)

Неустон

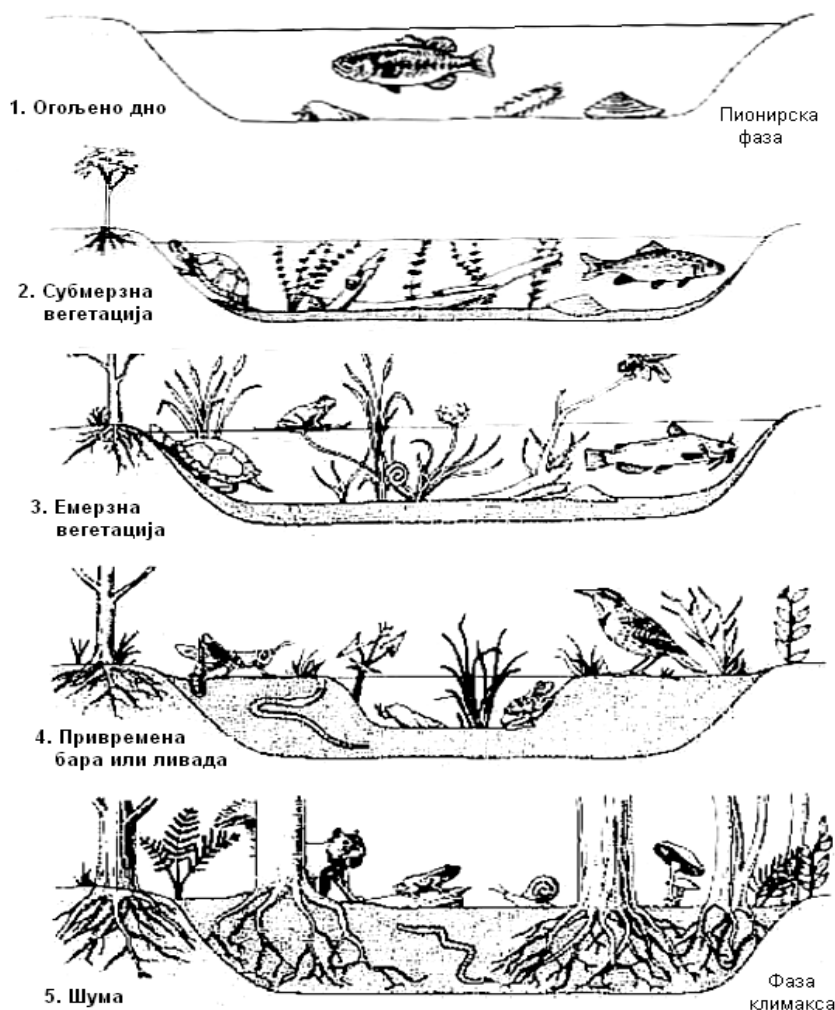
Ова заједница је насељена у самој површинској зони воде (са горње или доње стране) захваљујући феномену површинског напона, који настаје услед формирања густо збијеног слоја молекула воде. Већина ових организама су ситних димензија, мада их има и крупнијих, као што су ларве **веслара** (*Ditiscus* sp.) и **пуж** *Limnea* sp. Бичар *Chromulina* sp. се бичем причвршћује за водену површину, а поједине врсте *Euglena* sp. приликом масовног развоја формирају зеленкасте превлаке на површини воде. Инсект *Hydrometra* sp. се захваљујући површинском напону креће по води, а у слоју хипонеустона се срећу ларве **комараца**, неки **пужеви** и др.

Сукцесије језерског типа

Услед непрестаног мењања абиотичких фактора (пре свега климатских), као и због активности живог света, што се огледа у основним релацијама на нивоу екосистема (акција, реакција и коакција), долази током одређеног временског

периода до промена услова у биотопу језерског екосистема, што узрокује смене постојећих заједница новим. Ове промене су квалитативног карактера и називају се сукцесије (слика 68).

На пример, у једном олиготрофном језеру са великом дубином и провидношћу воде, као и малом органском продукцијом, током његовог историјског развоја, услед повећавања количине суспендованих материја које уносе утоке, наноса ветра или таложења кречних љуштура, долази до издизања дна и језеро постаје плиће. У оваквим условима повећава се температура воде, мењају се светлосни и гасни режим, што има за последицу бујање планктонске продукције, које изазива још веће таложење. Издизањем дна и смањењем дубине све више се шири појас семиакватичне (емерзне) вегетације, која напредује према средини воденог огледала, те од олиготрофног језера настаје еутрофно.



Слика 68. Сукцесија водених екосистема од језера ка климаксној заједници шуме (R.&M. Buchsbaum, 1957)

Некадашње олиготрофно Дојранско језеро, са дубином од 110 m, о чему сведоче високе стрме обале, трансформисало се у еутрофно, са високом органском продукцијом и просечном дубином од свега 6 m. Сукцесије су најизраженије код језера еутрофног типа. У процесу све бржег обрастања макрофитском вегетацијом од оваквих језера настају мочваре, које прелазе у ливаде и на крају настају шуме.

Брзина сукцесивних промена је различита и мери се релативно кратким временским периодима (хиљадама или десетинама хиљада година). Старост Боденског језера је око 12.000 година и сматра се да ће за исто толико времена оно полако нестајати, трансформишући се преко мочваре и ливаде у шумски екосистем.

Мале стајаће воде

Под термином **мале стајаће воде** обухваћени су следећи стагнантни (лентички) водени басени: баре, плавне зоне (ритови), мочваре, канали (хидросистеми) и рибњаци. То су пре свега плитке водене површине настале на више начина. Једне су од самог свог постанка стекле такав карактер, друге су постале засипањем језера, а треће су резултат антропогеног фактора.

Баре

Према трајању баре се деле на трајне и повремене. Повремене баре настају на више начина, услед изливања река, после дуготрајних и обилних падавина, или од избијања подземних вода. Основне карактеристике бара су плитка вода, слаби водени покрети и велика променљивост температуре, која прати температуру ваздуха. Летње температуре се крећу и до 30°C, а зими се вода заледи, често и до дна. Услед мале дубине светлост често продире кроз читаву висину воденог стуба, што условљава велику обраслост. Провидност барске воде је различита. У барама са тврдим дном (које је обрасло вегетацијом) провидност је већа, док вода бара са муљевитим дном садржи велику количину суспендованих честица и провидност је мала. Хемизам воде бара је променљив и у већини случајева њихова рН вредност је неутрална или слабо алкална. Гасни режим показује извесну вертикалну стратификацију тако што је количина РК у површинским слојевима већа него при дну, поготово ако је оно муљевито. Услед интензивног разлагања органске материје у слојевима при дну се јавља вишак угљен-диоксида.

Макрофитска вегетација бара је веома слична оној која се јавља у литоралу језера. По ободу баре се јавља семиакватична вегетација (емерзне биљке) коју чине **трска, шаш, оштрица**. Ту живе гмизавци, гнезде се бројне врсте барских птица (слика 69), а исто станиште деле са мекушцима (слика 70) и водоземцима, којима се и хране.

Флотантне биљке (**бели и жути локвањ**) често обрастају читаву површину баре. Дубље баре насељавају и субмерзне водене биљке, од којих су најчешће **водена папрат** (*Salvinia natans*), **водена куга** (*Elodea canadensis*), **сочивица** (*Lemna* sp.) и др. Од талофита су честе **кончасте алге** (*Cladophora* sp. и *Spirogyra* sp.).

Планктонске организме чине једноћелијске **алге**, али представници из група Rotatoria, Cladocera и Copepoda. То су врсте које насељавају језерске екосистеме, али има и оних које су карактеристичне искључиво за баре, нпр. *Ceriodaphnia* sp. Структура и динамика планктонске заједнице барског екосистема зависе од физичко-хемијских карактеристика воде и дна (рН, геолошки састав земљишта, хемизам, температура), а карактеришу их знатна сезонска варирања.

Фауна дна бара је по саставу слична литоралној зони језера. Обиље вегетације и стварање наслага детритуса обезбеђују услове за развој богате фауне **пужева (барски, тањирасти, шиљати), шкољака, ларави инсеката (водени цвет, веслар, вилин коњиц, Chironomidae, Trichoptera), Oligochaeta (Tubifex sp. и Limnodrilus sp.), рачићи, мокрице, водене стенице** и други организми.

Нектон сачињавају **водоземци** (ларве и одрасли), гмизавци (*Emys* sp. и *Natrix* sp.), а у неким барама има и риба.



Слика 69. Типичне птице влажних станишта: (а) дивље патке (*Anas platyrhynchos*), (б) сива чапља (*Ardea cinerea*) и (в) породица лабудова (фам. Anatidae) (а – Дунав, Нови Сад, 2020; б – Дунав, Рибарац, Нови Сад; јун 2020; Обедска бара, јул 2017)



Слика 70. Тањирасти барски пуж (*Planorbarius* sp.) (Засавица, март 2018)

Ритови (плавне зоне)

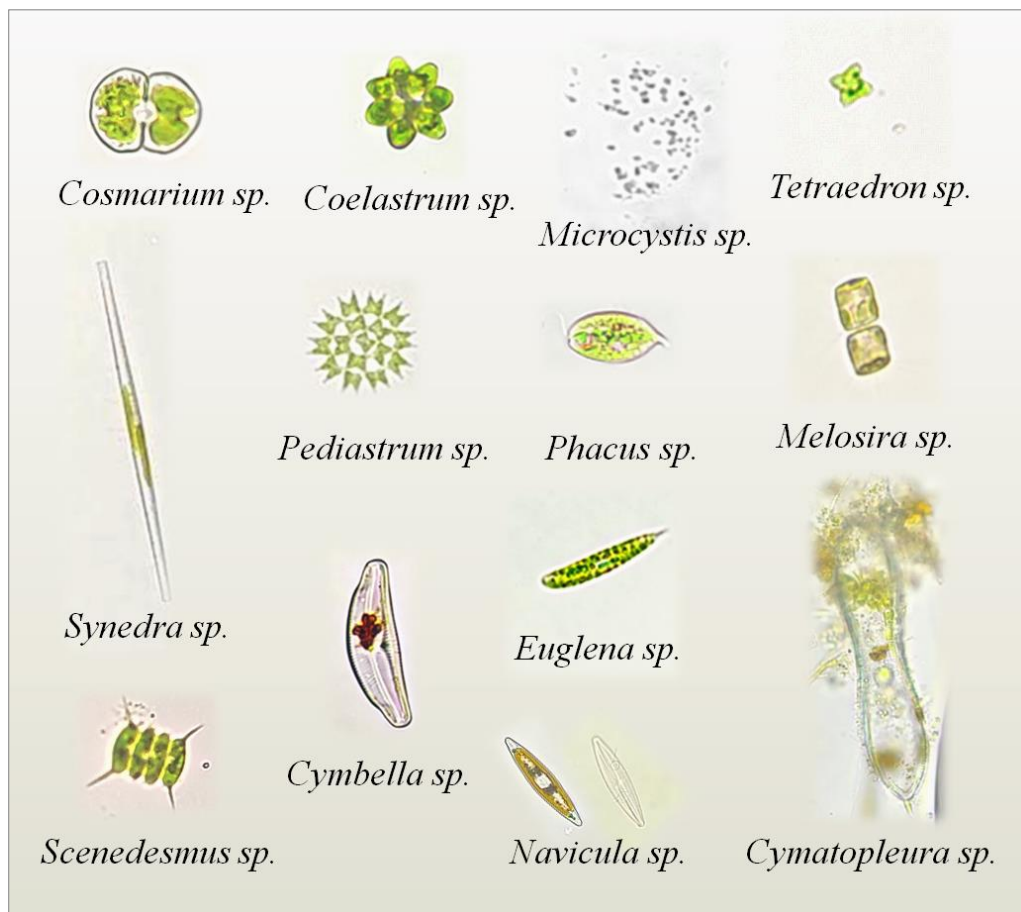
Плавне зоне, или ритови, простиру се крај обала равничарских река. Наливају се у пролеће и рано лето (у периоду високих вода), а у јесен и зиму, са опадањем речног водостаја, количина воде у овој зони се драстично смањује, а може доћи и до пресушивања. Могу заузимају велике површине (више стотина и хиљада хектара), а наши најпознатији ритови су Апатински и Ковиљско-петроварадински рит, који се налазе уз Дунав (слика 71).

Основне карактеристике ритова су плитка вода са богатим речним наносом, температуром воде која прати температуру ваздуха и повољним светлосним режимом (светлост продире до дна). Ови услови омогућају бујан развој **макрофита**, **планктона** и **насеља дна**. Услед ефемерности ових водених система, планктонску заједницу карактерише кратак животно циклус и период суше ови организми

преживљавају у стању мировања заривени у муљ. Посебно је разноврстан фитопланктон, који чине зелене, модрозелене и силикатне алге (слика 72).



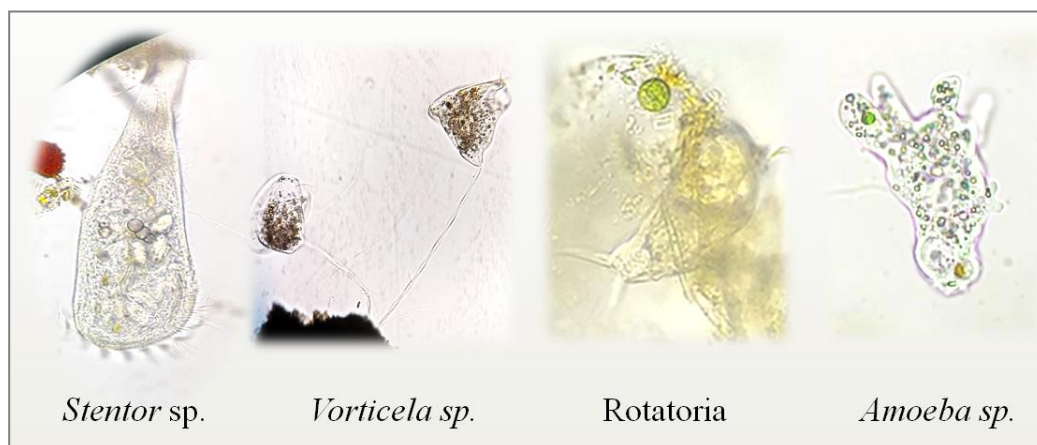
Слика 71. Ковиљско-петроварадински рит (мај, 2022)



Слика 72. Разноврсност планктонских алги низијских стајаћих и споротекућих вода (Ковиљско-петроварадински рит, јун 2023)

Иначе, исте врсте планктонских алги могу се наћи и у осталим стајаћим и споротекућим низијским водотоцима (плитким језерима, барама и мртвајама).

Поред алги, примарних продуцентата, ту се срећу и зоопланктонски организми који се искључиво њима хране (слика 73). Целокупна биопродукција ритова је висока и веома је значајна за укупну продукцију реке. Ова зона је веома значајна за животни циклус многих врста **риба** из породице Cyprinidae (*Ciprinus carpio*, *Abramis brama*, *Carasius carassius*, *Scardinius erythrophthalmus*), за мрест и развој ларви и младунаца. Речни планктон (потамопланктон) обогаћује се и повлачењем воде у корито у време опадања водостаја. Мелиоративни радови уређења речног корита утичу на смањење површине плавне зоне и укупне биопродукције речних система.



Слика 73. Зоопланктонски организми који живе у споротекућим и стајаћим водама (Грабић Ј. и Жуњић В.; Факултетски аквапоник систем, Пољопривредни факултет, Нови Сад; Ковиљско-петроварадински рит, јун 2023)

Речна језера

За разлику од ритова који представљају плавну зону потпуно обраслом макрофитском вегетацијом и у којој вода некада потпуно пресуши, ерозивна **речна језера (мртваје)** настају од напуштених речних рукаваца који су стално под водом и налазе се поред великих равничарских река (слика 43). Ниво воде ових басена углавном прати ниво водостаја матичних река. Ако су потпуно одвојена од реке, формирају се изолована станишта са специфичним условима који могу да услове разлике у погледу неких таксономских карактера хидробионата. На пример, рибе из речног језера су већих димензија у односу на исте врсте из речног тока.

Мочваре

Мочваре се пружају у умереној зони са високим атмосферским талогом. Могу да настану на више начина: 1. изливањем реке, 2. засипањем језера или 3. утицајем подземних вода. Вода мочвара је кисела ($\text{pH} < 7$), јавља се дефицит О и Са, а садржај хумуса је два пута повећан. Услед тога је биодиверзитет ових екосистема мали. Ту живе **маховина тресетница** (*Sphagnum sp.*) (слика 74), **шаш** (*Carex sp.*) и **папрат** (*Lycopodium sp.*). Недостатак азота неке биљке надокнађују исхраном животињама (инсективора).



Слика 74. Тресетно станиште у коме основну врсту чини маховина *Sphagnum* sp. (Јанкова бара, Копаоник, август 2023)

Тако **росуља** (*Drosera* sp.) лепљивим листовима, а **мешиница** (*Utricularia vulgaris*) мешковима ловe рачиће, инсекте, ларве риба и друге ситније животиње. Фитопланктон чине само **модрозелене алге**, а зоопланктон само неке врсте Protozoa и *Rotatoria* sp. Фауна дна је такође веома сиромашна (нема Oligochaeta нити Mollusca), а често и потпуно одсуствује. Укупна биопродукција је веома ниска.

Мочваре постепено зарастају и затрпавају се на тај начин што горњи део маховине **тресетнице** (*Sphagnum* sp.) расте, а доњи отпада, таложећи се на дну. Услед ниске температуре и дефицита кисеоника нема процеса труљења, већ се формира тресет који затрпава мочвару.

Постоје и случајеви да тресет настаје на рачун нагомилавања остатака и других водених биљака, као што су шашеви, и тако граде тресетишта. Такав је случај у околини Власинског језера (слика 75). Власинско језеро је акумулација настала преграђивањем реке Власине, која је истицала из тресетишта Власинског блата, у периоду 1949–1954. године. Након пуњења акумулације, делови тресета су се одвојили и почели да плутају, формирајући острва.



Слика 75. Власинско језеро са плутајућим острвима (а) и влажним стаништима – тресетиштима (б) (Власинско језеро, октобар 2023)

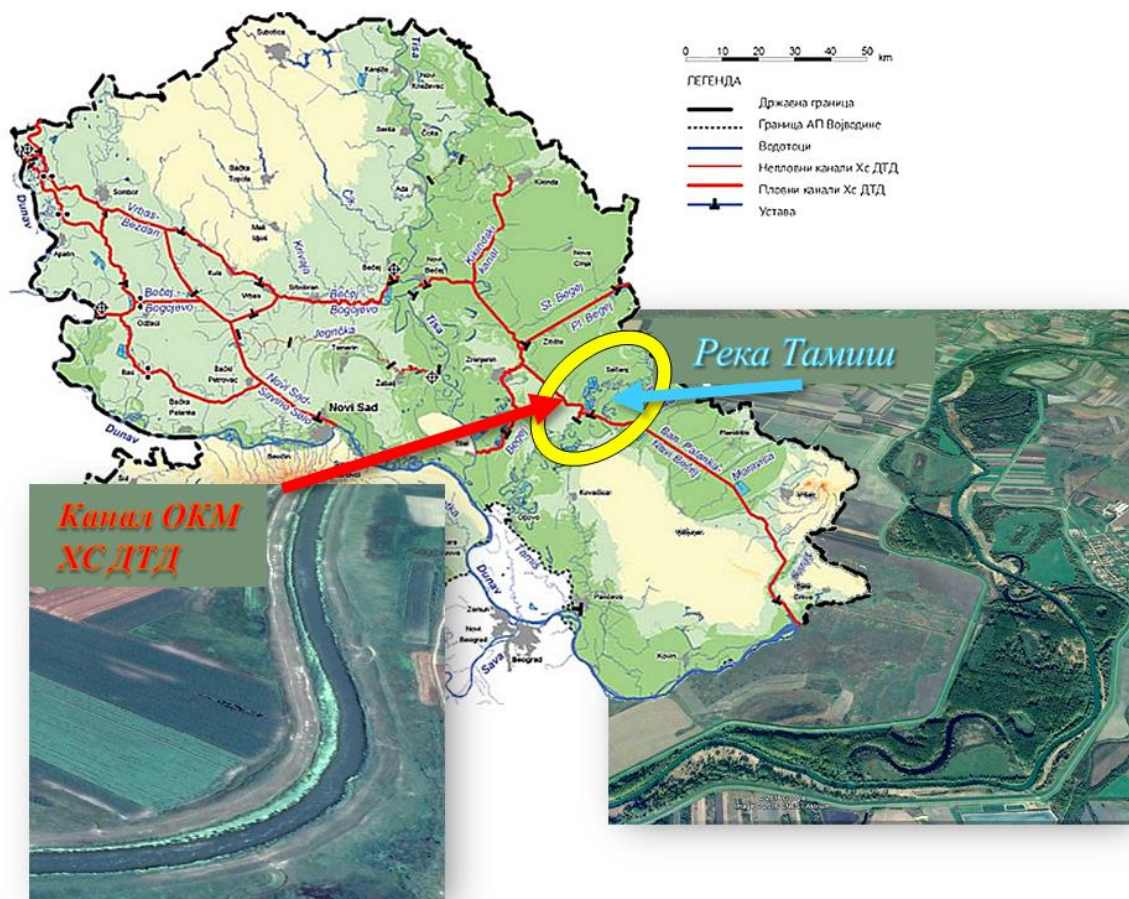
Канали и каналска мрежа

Канали или хидросистеми су антропогени водени екосистеми, а наш најпознатији је Хидросистем Дунав–Тиса–Дунав (ХС ДТД). Његова основна функција је одводњавање. Пре само један и по век подручје данашње Војводине је било изразито мочварно и подложно честом плављењу, при високим водостајима Дунава и Тисе. Након опадања водостаја, вода је заостајала у речним рукавцима и барама, што је погодовало развоју барско-мочварне вегетације. Такви услови нису погодовали животу људи, те је то подручје било веома слабо настањено. Ипак, у 17. и 18. веку, након досељавања Срба и осталих народа на ове просторе, под окриљем Аустро-Угарске монархије започињу и први већи подухвати уређења ове територије прокопавањем канала.

Првенствена улога канала, са системом устава и преводница, била је транспорт добара. Поред тога, примећено је да се продубљивањем постојећих корита мањих природних водотока и система бара вода дренирана са околног земљишта и остају исушене површине са веома плодним земљиштем. То је касније био повод да се предузму капитални захвати на изградњи ХС ДТД, али и подизање насипа дуж обала великих река Дунава, Тисе, Саве, Тамиша, Бегеја и других. На тај начин је добијено близу 2.000.000 ha плодног земљишта, а 70% територије, која је била угрожена поплавама, данас је заштићена.

Данас ХС ДТД чини мрежа канала са укупном дужином од 960 km. Карактеришу га мала осцилација нивоа воде (+/-10 cm), који се регулише бранама и уставама, проток од 0,2 m/s до 0,4 m/s и дубина 2 m–6 m. Температура воде у овом хидросистему је за око 1°C већа од температуре воде река као што су Дунав и Тиса. Поред одводњавања и пловидбе, улога ХС ДТД је и пријем и разблаживање отпадних вода. С обзиром да је у питању водоток, након упуштања загађења, долази до активирања процеса самопречишћавања и на одређеном растојању низводно долази до поправљања квалитета воде. Ипак, уколико и нема присутних загађивача, квалитет воде у каналској мрежи је лошијег квалитета у поређењу са природним рекама. Разлог томе је видно сиромашнији биодиверзитет, што је последица релативно униформног трапезоидног профила канала, за разлику од природних водотока, где обалски појас карактерише диверзитет морфологије обала, праћен разноврсношћу вегетације (слика 76). Поред тога, захтев за одржавањем добре проточности канала налаже уклањање вегетације, уколико то утиче на проточност. Додатно, приобална вегетација на обалама насипа се одржава и редовним кошењем.

Укупан биодиверзитет канала зависи од старости појединих деоница и квалитета воде. Старије деонице су богато обрасле макрофитском вегетацијом и личе на природне водотоке, те је и биодиверзитет овде богатији. Планктонски организми и фауна дна су слични онима који се јављају у барским екосистемима, а у загађеним деоницама је присутан мали број врста са великом абунданцом. Овде одсуствује плавна зона, па се рибе мресте само у старијим деловима каналске мреже, где је развијена заједница акватичних корова.



Слика 76. ХС ДТД сачињен од канала основне каналске мреже и природних водотока – река. Увећани детаљи приказују деоницу канала основне каналске мреже (ОКМ) са униформним обалама и реке Тамиша са неправилним током, који меандрира, са мртвајама, барама и вегетацијом плавних шума.

Рибњаци

Рибњаци су такође антропогени екосистеми, изграђени на повољном терену или настали преуређењем природних водених басена. Подигнути су са циљем гајења риба, а карактеришу их перманентно контролисани услови хидролошког, хидрохемијског и хидробиолошког режима. У њима се врши контролисано упуштање воде и испуштање воде, затим насељавање рибље млађи, узгој и излов риба. Све активности су усмерене на максимизацију производње биомасе риба. Према температури воде и климату у коме се обавља рибњачка производња најопштија је подела на: **хладноводне** и **топловодне рибњаке**. У складу са поменутиим, хладноводне рибњаке настајују пастрмске врсте – салмонидне врсте, а топловодне рибњаке – шарановиде рибе, циприниде (слика 77). Постоји и подела на основу подлоге и начину изградње рибњака на: земљане, бетонске, кавезне и др.

Земљани рибњаци су карактеристични за **ципринидне рибњаке**. Формирају се као плитка удубљења у земљишту, која се затим испуне водом. То могу бити постојеће депресије или језера, или се врши планско ископавање ради подизања рибњака. Квалитет воде рибњака одговара квалитету равничарских река из којих се доводи вода и обично је мезосапробан до еутрофног и личе на природне стајаће воде,

дубине 1,5 m–3 m. У вегетационом периоду температура је од 18°C–28°C. Карактеришу их ниска концентрација кисеоника и висок садржај нутријената (азотних и фосфорних једињења). Понекад се вода обезбеђује из бушених бунара, или се једноставно ископи глине или песка испуне водом уколико је подземна вода висока. Перифитонска, бентоска и планктонска заједница се спонтано формирају, али су оне подстакнуте уносом нутријената (најчешће ђубрењем минералним ђубривима). По физичко-хемијским и биолошким особинама рибњаци су веома слични барама, односно литоралној зони језера. Применом техничко-технолошких мера током процеса производње, које укључују подешавање оптималног рН (додавањем СаО) за гајење топловодних врста риба, ђубрење (стајњаком и минералним ђубривима) и кошење макрофитске вегетације, створени су специфични услови у којима су веома добро развијене планктонска заједница и фауна дна. Планктонска заједница служи као природан извор хране омниворним рибама, те се на тај начин смањује унос хране за рибу. Типични представник зоопланктона, који испуњава ту улогу, јесте водена бува (*Daphnia* sp.) (слика 78). Покрети које изводи у води су налик на поскакивање, а изгледом је слична буви, те отуда име овог нижег рачића води порекло.



Слика 77. Шаран, гајени – најчешћа Слика 78. Водена бува: врста риба топловодних рибњака (*Daphnia* sp.) (рибњак (www.ribnjakecka.com) „Ечка”, јун 2019)

Најчешће топловодне врсте риба које се узгајају у Европи су: шаран (*Cyprinus carpio*), караш (*Carassius gibelio*), лињак (*Tinca tinca*), сом (*Silurus glanis*), штука (*Esox lucius*), смуђ (*Sander lucioperca*) и друге врсте.

Насупрот њима, **пастрмски рибњаци** најчешће имају изглед бетонираних канала и представљају проточне структуре, пошто су и почетним и крајњим делом у вези са водотоком (слика 79). Квалитет воде у пастрмским рибњацима је доброг квалитета, а вода се може окарактерисати као олигосапробна (или ксеносапробна), а температура воде је хладна (8°C–15°C). Најчешћа врста која се гаји у брдско-планинским крајевима наше земље у пастрмским рибњацима је калифорнијска пастрмка (*Oncorhynchus mykiss*), али и аутохтона поточна пастрмка (*Salmo trutta*), а ређе лосос (*Salmo salar*). За разлику од домаће поточне пастрмке калифорнијска има ружичасто обојење у пределу бочне линије, које се протеже целом дужином тела. Отуда се на енглеском назива *rainbow trout* – дужичаста пастрмка, или пастрмка дуга (слика 80).

Основна карактеристика **кавезних система узгоја риба** јесте да су кавези потопљени у целости у водно тело (реку, језеро, море и др.). Због тога, хидролошке услове и квалитет воде није могуће контролисати, а кретање риба ограничено је кавезима.



Слика 79. Пастрмски рибњаџи (М. Урошевић; околина Сјенице, 2021)



Слика 80. Калифорнијска пастрмка је типични представник гајених хладноводних риба (Рибарница, Нови Сад, 2023)

5.5. Мора и океани

Квалитет воде

За разлику од копнених вода које садрже ниске концентрације соли и где су претежно заступљени калцијум и магнезијум од катјона, а од анјона су доминантни бикарбонати, морска вода садржи повишене концентрације соли, које чине првенствено натријум и хлориди и сулфати. Укупна количина соли у морској води се назива **салинитет**. Салинитет се изражава у промилима 1:1000 (‰) и просечно износи 35 ‰, што значи да је у 1.000 g воде растворено 35 g соли. У светским морима и океанима салинитет варира, а највећи је око екватора због велике евапорације, док према половима опада, на шта утиче и отапање поларног леда. Падавине такође доприносе смањењу салинитета у површинским слојевима. Поред тога, у близини копна, након ушћа река (естуара) долази до мешања и разблаживања морске воде, што ствара прелазну зону између слатководних – копнених вода и морске средине. Организми су различито толерантни према концентрацији соли. Организми који толеришу велике распоне у промени концентрације соли су **еурихалини**, а они који толеришу мале распоне су **стенохалини**. Еурихалини организми поседују способност осморегулације, што значи да је њихов метаболизам такав да омогућује одржавање равнотежног стања – хомеостазе у телу при различитим условима салинитета. Могућа су три случаја: (1) у случају да је водена средина изотонична са средином организма, организам неће имати потребу да улаже додатни напор ради одржавања непромењених услова своје унутрашње средине; (2) када се он нађе у хипотоничној средини, продуковаће разређенији урин него у спољашњој средини и задржаваће електролите у телу и (3) у хипертоничним условима излучује концентрован урин, чиме чува воду у свом телу. Примери таквих организама су лосос и друге анадроме рибе, које мигрирају у току свог животног циклуса из слатке воде у слану и обрнуто.

Што се хемизма воде тиче, као и у копненим водама, велики значај имају и растворени облици азотних и фосфорних једињења. Поред њих, велики значај има и **силицијум**. Овај елемент морски организми користе при формирању скелета, нпр. скелет силикатних алги је сачињен од њега.

Температура воде

Захваљујући великом топлотном капацитету воде температура у морској средини се не мења значајно, тако да су морски организми мање изложени променама него копнени. При томе, температура површинских слојева воде може да варира од 0°C до 30°C. На температуру морске воде у највећој мери утиче интензитет Сунчевог зрачења, а будући да се ради о великим воденим просторствима, која су распоређена око целе планете, на то утиче и географски положај на Земљиној полулопти. Наиме, ближе екватору, Сунчеви зраци падају под правим углом, те је и зрачење најинтензивније, а температура воде је око 29°C. Идући према половима, угао под којим падају Сунчеви зраци је све оштрији и мање топлотне енергије допре до водене површине, стога су око полова температуре најниже (-1,9°C). Слично као и код дубоких језера и у морима се јавља термоклина. То је слој у коме долази до наглог хлађења воде. Горњи слој изнад термоклине је подложен мешању и променама температуре, док је у слоју испод термоклине

температура воде стабилнија, као и хемизам воде. Термоклина често представља баријеру и за организме који живе у горњем и доњем слоју. Поред тога, и кретање морске воде у виду морских струја утиче на пренос топлоте на велика растојања, нарочито у океанима. И у погледу температуре организми имају различит распон толеранције. Врсте које живе у приобалним подручјима, где се температура мења у широком распону, означене су као **еуритермне** – подносе велике промене овог параметра. Науспротив њима, врсте које живе на одређеним дубинама, где су промене температуре незнатне, спадају у **стенотермне** врсте, пошто подносе само мала колебања. Осим тога, организми који не могу да регулишу своју телесну температуру називају се **поликилотермним** и ту спадају морски бескичмењаци и кичмењаци, осим птица и сисара. За последње две групе организама је карактеристично да могу да регулишу своју телесну температуру, те се они називају **хомеотермима**.

Боја и осветљеност мора и океана

Боја мора и океана је најчешће плава пошто се светлост ове таласне дужине највише расипа и продире у дубину. Светлост таласних дужина које обухватају црвени (дуготаласни) и љубичасти део спектра (краткоталасни) се апсорбује, тако да никада не допиру у дубље слојеве. У највећем броју случајева светлост продире до дубине од 200 m и ту је могућ опстанак фотосинтетичких организама (фотичка зона), затим следи дисфотичка зона на дубини 200 m–1.000 m, где интензитет светлости нагло опада и зато се још назива и зоном сумрака. Коначно, на већим дубинама од 1.000 m јавља се афотичка зона, где влада потпуни мрак.

Прозирност (транспарентност) је велика и може достићи 200 m. Са дубином опада и количина светлости која продире у воду, што представља ограничавајући фактор за опстанак фотосинтетичких организама.

Притисак у морима и океанима

Притисак у морској води зависи од дубине воде. На самој површини делује атмосферски притисак, који износи 1 kg/cm^2 или једну атмосферу (Atm). Са дубином се притисак повећава, а организми који живе у дубљим слојевима изложени су притиску воденог стуба изнад њих. На сваких 10 m дубине притисак се повећа за атмосферу, што значи да би на највећим дубинама износио 1.000 Atm. И у вези са овим параметром организми су прилагођени на одговарајући начин. Већина морских организама преферира услове где влада нижи притисак, док је мањи број адаптиран и подноси веће притиске (дубински организми). У оба случаја организми не подносе велика варирања притиска – **стенобатни** организми. Ипак постоје и **еурибатни** организми који подносе већа варирања притиска, тако да имају велику вертикалну распрострањеност.

Покрети морске воде

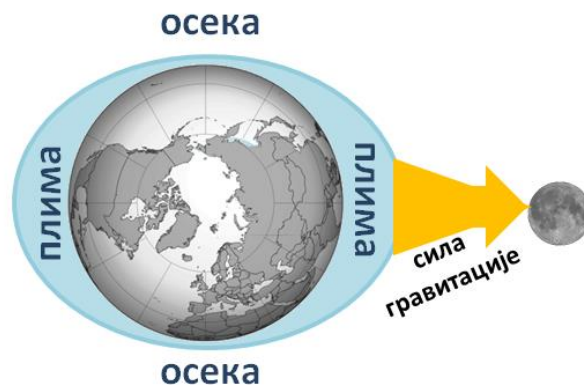
Постоји више начина кретања воде у морима и океанима и оно може бити у виду таласа, плиме и осеке и морских струја.

Таласи

Таласи настају деловањем ветрова и манифестују се кроз вертикално подизање и спуштање морске воде, при чему се преноси енергија, али не и маса. Сваки талас одликује висина (растојање између врха и дна таласа) и дужина (растојање између врха два суседна таласа). Енергија таласа опада са дужином, тако да се у дубљим слојевима воде дејство таласа готово не осећа. На пример, на дубини од 20 m енергија таласа износи само 20% од оне на површини, док се на дубини од 50 m, енергија таласа смањује на само 2% од оне на површини. Таласи имају велики утицај на приобаље и обликовање обале. Највећи таласи су у јужном делу Индијског океана, где дувају и најјачи ветрови. Тамо је просечна висина таласа 7 m. Најмањи таласи се јављају око екватора, а посебно су мали у зонама где постоје групе острва.

Плима и осека

Вертикално издизање и спуштање површине мора услед привлачне силе Месеца и Сунца представљају **плиму и осеку** (слика 81). И док је сила Месеца у том погледу много јача, утицај Сунца је много мање изражен. У току 24 часа догоде се две плиме (повишење нивоа) и две осеке (спуштање нивоа) мора. Вертикална разлика између највишег нивоа мора за време плиме и најнижег нивоа за време осеке представља висину плиме. Ова висина такође може да варира у широким границама. На пример, у Средоземљу је само 10 cm, док у приобаљу океана (Атлантском, Тихом и Индијском) може бити просечно 6 m–8 m, а на неким местима и 12 m. Висина плиме има великог утицаја на живи свет приобаља, пошто се за време осеке организми могу наћи у ваздушној средини, за шта морају бити адекватно прилагођени (прилагођеност на исушивање пре свега).

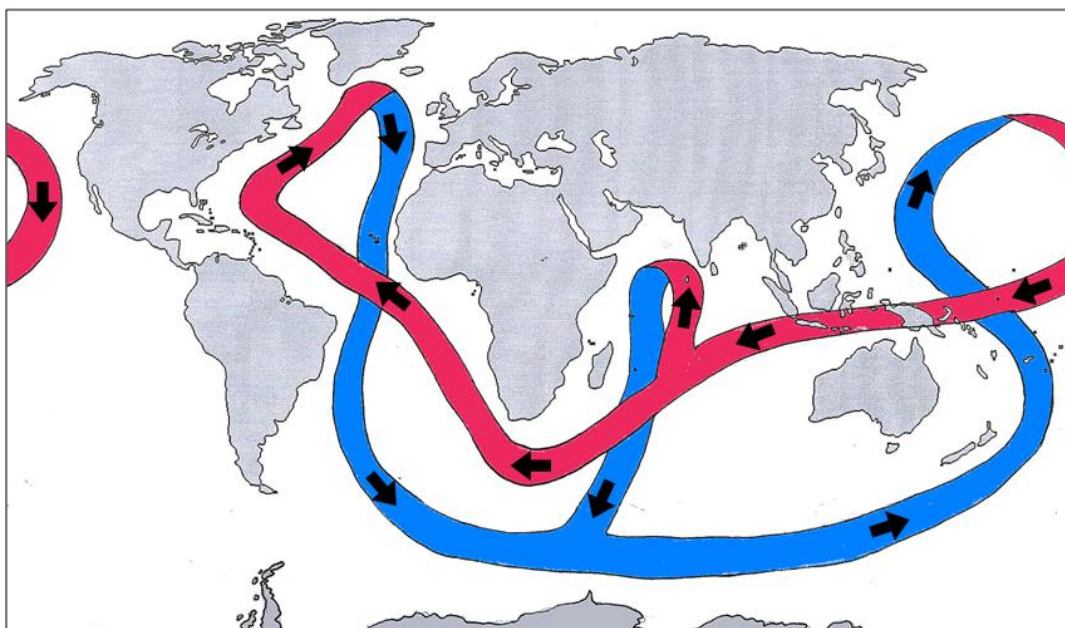


Слика 81. Плима и осека настају захваљујући сили гравитације Месеца

Морске струје

У океанима, захваљујућу дејству сталних ветрова, али и Земљине ротације, јавља се покретање великих маса воде што представља **морске струје**. Оне се крећу у истом смеру, налик на велике и споре реке, и то кретање се одвија до дубине од 200 m. У оквиру Светског мора разликују се хладне и топле струје, као и хоризонталне и вертикалне (слика 82). У великим морским и океанским дубинама

кисеоник се обнавља искључиво захваљујући струјама. Међутим, у неким морима, као што је Црно море, нема таквих струја, па РК одсуствује на дубинама већим од 200 m.



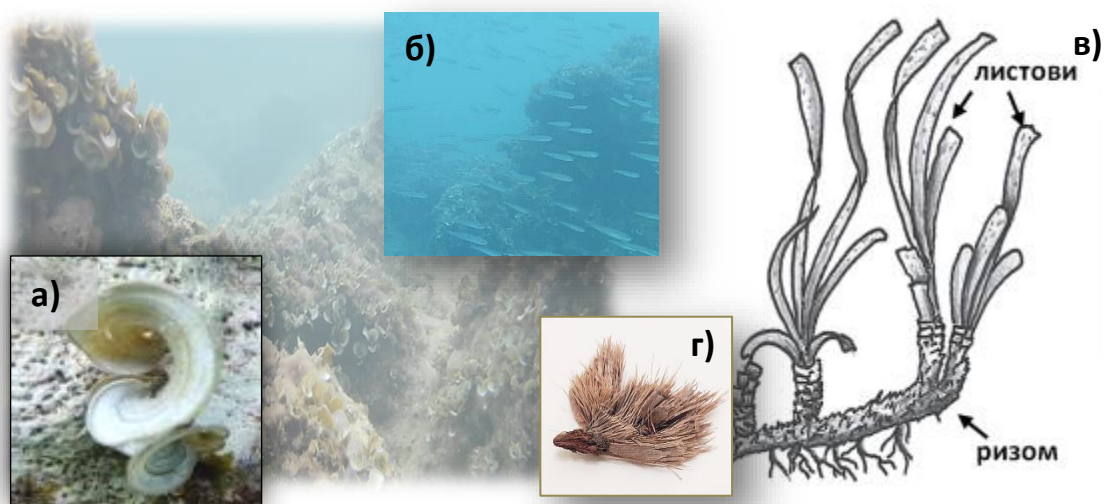
Слика 82. Кретање топлих и хладних морских струја у Светском мору

Живи свет²

Приобални део – **литорал** простире се до дубине 200 m и одликује се највећом разноликошћу врста. Супстрат може бити веома различит, а срећу се стеновита подлога, каменита, муљевита или песковита. Од карактера подлоге зависи врста насеља, пошто је за становнике камене и стеновите подлоге карактеристично да се могу добро причврстити за њу, што представља адаптацију на дејство таласа. Један од представника алги је *Padina pavonia* са лепезастим изгледом (слика 83а), која заједно са другим морским растињем може густо да обраста камену подлогу. Животињско насеље приобаља чине још и зглавкари, од којих су чести ракови, бодљокошци, нпр. морски јеж (*Arbacia lixula*), од мекушаца ту су разне врсте шкољки и пужева (слика 84), а у слободној води живе многе врсте риба (слика 83б).

Организми који настањују песковиту и муљевиту подлогу имају могућност да се зарију у њу и тако се одбране од непријатеља. На таквим растреситим супстратима нарочито су значајне подводне ливаде које гради морска цветница – морска трава (*Posidonia oceanica*), чији листови могу да достигну и 1m (слика 82в). Она је веома значајна због продукције кисеоника, али и зато што ливаде које гради представљају станиште бројним другим врстама. На песковитој подлози могу се наћи разни мекушци – пужеви, шкољке (слика 85), бодљокошци (нпр. морска звезда), полихете и др.

² Живи свет мора и океана је веома богат, а у овом одељку су дати само неки карактеристични организми који настањују литорал Јадранског мора.



Слика 83. Богато обрасла каменита подлога, где доминира алга *Padina pavonia* (а), а уточиште налазе и јата риба (б) и морска цветница – морска трава (*Posidonia oceanica*) (в) гради подводне ливаде на песковитој подлози, за које се учвршћује ризомом (г) (б, в – плажа Дробни пјесак, Дробнићи, Црна Гора; август 2023)



Слика 84. Морски организми који живе у литоралу Јадранског мора на стеновитој и каменој подлози (Петровац на мору, Црна гора; мај 1997)



Слика 85. Морски организми који живе у литоралу Јадранског мора на песковитој подлози (Улцињ, Црна гора; мај 1997)

5.6. Подземне воде

Воде које се налазе испод површине земљишта називају се **подземним водама**. Јављају се у два облика: 1. слободне – гравитационе и 2. везане. Слободне подземне воде се крећу по шупљинама и другим просторима у Земљиној кори и налазе се најчешће у течном, али и у чврстом и гасовитом стању. Везане подземне воде су адхезионим силама повезане са чврстим честицама и немају способност кретања.

Слободне подземне воде у течном стању налазе се у природним резервоарима литосфере у различитим количинама и дубинама до 10 km. Слободне подземне воде у чврстом стању („мрзлота“) се распростиру изнад 55° северне географске ширине, где су ниске температуре током већег дела године, када се само за време кратког лета топи горњи слој. Дебљина леда се креће од 0,5 m до 500 m. Слободне подземне

воде у гасовитом стању (водена пара) налазе се на великим дубинама, у условима високе температуре и притиска.

Подземне воде се према свом пореклу деле у три групе: **вадозне**, **јувенилне** и **конатне**.

Вадозне подземне воде (лат. *vadosus* – плитак) воде порекло од атмосферских падавина и површинских вода. Могу бити у течном, гасовитом и чврстом стању, а јављају се као слободне или везане. Ако у Земљину кору доспевају инфилтрацијом кроз пукотине и поре, називају се **инфилтрационе вадозне воде**. Инфилтрацијом воде из речног корита у издан настају убризгане воде, најчешће у равничарским пределима где протичу велике реке са колебљивим режимом водостаја. Ова појава се манифестује у доба високих вода, када је истовремено низак ниво подземних вода, па до инфилтрирања (убризгавања) долази услед притиска који је условљен висинском разликом између нивоа реке и издани. Убризгане воде се најчешће јављају у Панонској низији. Други тип плитких подземних вода настаје кондензацијом водене паре из приземних делова атмосфере која је струјањем доспела у шупљине и пукотине стена. То су то **кондензационе вадозне воде** и њихово формирање се најлакше може пратити у пећинама, где се јављају јаке ваздушне струје, при чему се влажан и топао ваздух кондензују и вода се слива низ зидове. Кондензационе воде могу настати и од водене паре из дубљих слојева литосфере струјањем паре према површинским слојевима Земљине коре, када долази до преласка у течност стање. Овако формирана вода се делимично сједињује са изданима, а један део се, услед смањеног притиска, враћа у дубље слојеве. Стварање кондензационих вода је непрекидан процес.

Јувенилне подземне воде (лат. *juvenilis* – младалачки) настају синтезом водоника и кисеоника ($2\text{H}_2 + \text{O}_2 \Rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$). У доба постанка Земље сва вода је настала на овај начин. Данас се формира процесом хлађења и диференцијације магме, која је у житком стању, на нивоу њеног контакта са литосфером. Настају углавном у Земљиној кори, али и на површини хлађењем вулканске лаве, па младалачке воде по свом пореклу могу бити магматске или вулканске.

Конатне подземне воде (лат. *conatus* – заједно рођен) се јављају у седиментним стенама са којима су настале истовремено. Ове воде се налазе у великим количинама у седименту језера, мора и океана где остају и после ишчежавања великих површинских водених басена. Код нас се овај тип подземних вода највише среће у Панонском региону, одакле се црпе копањем или бушењем бунара.

Вертикалан распоред подземних вода

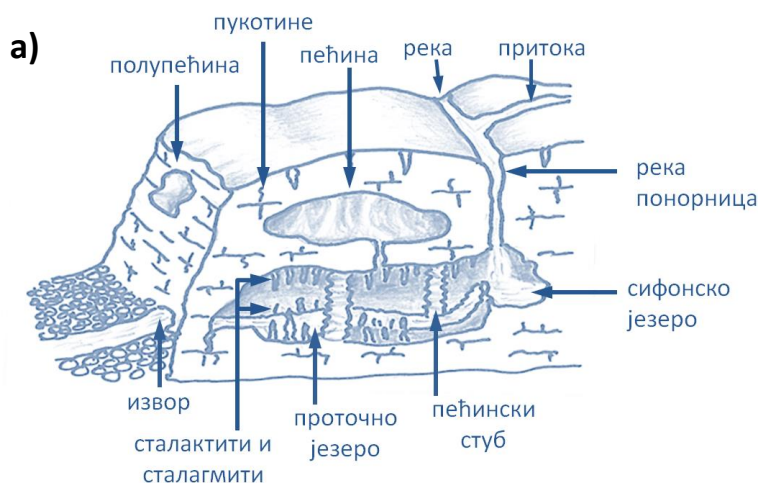
Површинске воде доспевају у плиће или дубље слојеве литосфере упијањем и понирањем под дејством Земљине теже пролазећи кроз капиларне поре и пукотине до водонепропусног слоја изнад којег се образује водена маса – **издан**. Издан се јавља на различитим дубинама. Тако се у ниским и широким алувијалним равницама, као што је Панонска низија, може јавити непосредно испод површине литосфере, понекад избијајући на саму површину. С друге старне, водонепропусни слој се може налазити и на дубини од неколико стотина метара. Тада су велике количине воде дубоко испод Земљине површине и граде акумулације, које се, зависно од нагиба земљишта, спорије или брже крећу. За подземне воде је карактеристично **капиларно кретање** од издани према површини Земљине коре и обрнуто. Ова појава има велики значај за вегетацију, а најинтензивнија је у време

сушног периода. Дужина пута који прелази капиларна вода зависи од квалитета земљишта и износи од неколико центиметара до 12 m (слика 86).



Слика 86. Вертикални распоред подземне воде у геолошком профилу

За **крашке пределе** је специфична посебна површинска и подземна хидрографија (слика 87). Све крашке воде припадају типу подземних вода која се распростире у више зона: у **првој, највишој зони**, богатој пукотинама, јамама и пећинама, јавља се вода само у време атмосферских падавина, а током већег дела године су ови крашки облици суви; у **другој, дубљој зони**, формирају се подземни токови који се крећу кроз пукотине и подземне канале и граде подземне речне токове. Ове **подземне реке** могу да имају и притоке, а на свом току формирају проточна и сифонска **језера**. Избијајући на површину, ови водотоци граде **врела**, теку једно време по површини Земље, а затим, зависно од квалитета земљишта, поново пониру као **понорнице**. На слици 86 приказани су облици крашког рељефа и начини тока воде.



Слика 87. Крашки облици рељефа и токови воде (а) и детаљ пећинског стуба (б)
(б – Ресавска пећина, Ј. Дромљак Страјнић)

Карактеристике подземних вода

Подземне воде се налазе у земљиштима са различитим минералним саставом стена које се растварају, дајући води одређене физичке и хемијске особине. Најзначајнија физичка својства подземних вода су **температура, боја и провидност**, а од хемијских особина најзначајније су **количина растворених соли и гасова**.

Физичка својства

Температура подземних вода које су смештене на дубини од 5 m до 50 m приближно је једнака средњој годишњој температури приземног слоја атмосферског ваздуха и карактерише је уједначеност (одсуство стратификације) и стабилност. Извесна, незнатна, дневна температурна колебања могу се запазити само до 2,5 m дубине, а сезонска код подземних вода смештених 25 m–30 m испод површине Земље. У дубљим слојевима се не осећа утицај климатских промена, али са повећањем дубине, за свака 33 m повећава се температура за 1°C. Подземне воде, чије је лежиште на већим дубинама, имају температуру 20°C–42°C, па и више, и називају се **геотермалне воде**. Подземне воде крашких предела имају температурни режим сличан приземном слоју и температура је једнака његовој просечној годишњој температури, чак и на дубини од 500 m. Међутим, и ту се могу јавити одступања у зависности од извора напајања, па се нпр. температура крашких врела креће од 12°C до 2°C (ако се напајају из ледника или снежника).

Боја подземних вода зависи од количине и квалитета растворених и суспендованих честица. Углавном је зеленкаста, али исто тако може бити и жута или мрка ако потиче од органских материја или хумуса. Тамна нијанса воде потиче од **Mn**, жућкасто-црвена од **хидроксида гвожђа**. На основу боје и степена обојености може се утврдити присуство и количина одређених материја у подземним водама.

Провидност подземних вода може бити веома различита и зависи од особина стена кроз које пролазе. Најмања провидност воде је код понорница које у подземне токове уносе највеће количине суспендованих материја и она износи до 30 cm. У подземним крашким резервоарима провидност може да буде и до 20 m. Подземне воде карактерише потпуно одсуство светлости, што онемогућује обнављање РК и примарну биопродукцију.

Хемијска својства

Хемијске особине подземних вода су пре свега одређене минералошким саставом и степеном растворљивости стена. Веома је значајан састав геолошке подлоге преко које вода тече, затим брзина тока и температура. Уколико су степен растворљивости стена и контактна површина већи, ток бржи, а температура виша, у води ће се растворити већа количина минералних материја. Због тога хемијски састав појединих подземних вода може бити веома различит.

Количина растворених соли у подземним водама креће се до 300 mg/l, а највише има карбоната (60% од укупне количине сувог остатка), затим сулфата, док је најмање хлорида (5%). Укупно је присутно 45 хемијских елемената, од којих се 20

јавља често. Елементи се у води налазе у виду јона и колоидних честица, а највише су заступљене **соли Mg и Ca** у виду **карбоната** и **сулфата**, који води дају **тврдоћу**.

Количина растворених гасова у подземним водама зависи од температуре и притиска, а обрнуто је пропорционална степену минерализације (количини растворених соли). Ако се нпр. повећа концентрације соли за 40g , опада растворљивост гасова за 25%. Поред РК и CO₂, којих у подземним водама има највише, у њима се среће растворени азот, водоник-сулфид и гасовити угљоводоници.

Садржај РК је низак, највише га је у плићим изданима и његова концентрација са дужином опада тако да га у дубоким слојевима нема. Потиче из атмосфере или на рачун фотосинтетских процеса у површинским водама који понорнице уносе у подземне воде.

Угљен-диоксид делом доспева из атмосфере, а делом настаје као резултат респирације хидробионата. Са водом овај гас гради **угљену киселину** која разлаже кречњак – калцијум-карбонат (CaCO₃).

Водоник је такође пореклом из атмосфере, док водоник-сулфид настаје у оксидо-редукционим процесима органске материје. Гасовити угљоводоници пропан и бутан настају приликом образовања нафте, а водоник диференцијацијом магме као и приликом вулканских процеса.

Органских материја је у подземним водама мало и оне воде порекло са површине Земље, тако што их понорнице уносе током понирања.

Живи свет подземних вода

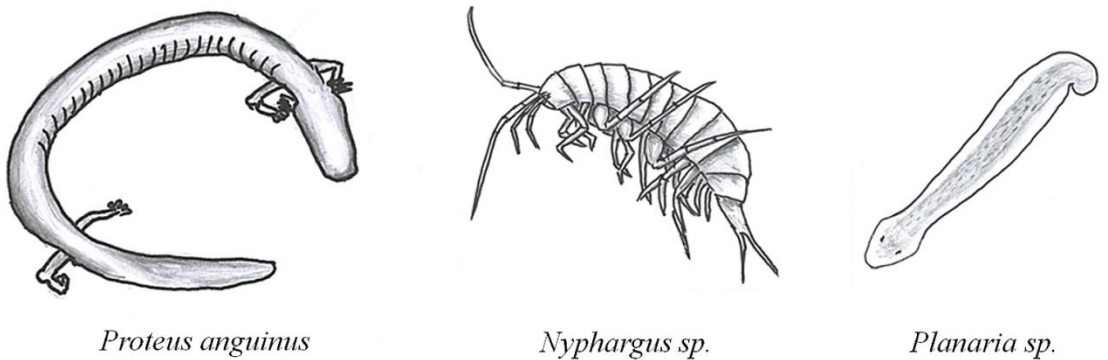
Организми подземних вода прилагођени су специфичним условима средине, који се огледају у недостатку светлости, ниским температурама, малој количини хране и РК. Овај тип станишта карактерише мала насељеност услед два најзначајнија фактора – оскудице у храни и простору. По правилу то су ситни организми, са изузетком **човечје рибице** (*Proteus anguinus*), која достиже дужину до 30 cm. Хидробионти подземних вода су стеновалентни организми, пре свега стенотерми. Њихове значајне особине су и одсуство пигментације, закржљале (а често и одсутне) очи, а код многих су веома добро развијени пипци и антене којима примају хемијске и тактилне надражаје. Због посебних услова средине, велики број врста су **ендеми** или **реликти**. Они представљају остатке фауне из преглацијалног периода, који су пасивно, ношени водом, или активно се крећући кроз пукотине доспели у подземље и тамо нашли трајно станиште.

Организми који живе у влажним стаништима пећина посебно су адаптирани на услове који ту владају и називају се **троглобионти**. Поред њих, у пећинама се могу срести организми који не живе искључиво у пећинама, већ могу настањивати и површинска станишта – **троглофили**, а у пећине их уносе понорнице. У оба случаја ради се углавном о животињским организмима, пошто недостатак светлости онемогућава опстанак фотосинтетичких организама.

Пећине настањују и **бактерије** и **гљиве**, а изузетно на местима где је уведено вештачко осветљење у пећинама развијају се и **модрозелене алге**, као на пример у Ресавској пећини (слика 876). Генерално, организми који живе у пећинама хранљиве материје добијају из спољашње средине посредством река понорница, или су пак упућени на хемосинтетске бактерије способне да из неорганских једињења стварају органске материје и тиме представљају прву карику у ланцу исхране. У сваком случају, количина хранљивих материја је ограничена, а и тесан простор утиче на то

да су пећински организми најчешће мањих димензија. Услед недостатка светлости, већина организама је слепа, или има рудиментиране очи. При сналажењу у простору ослањају се на друга чула, пре свега тактилна, тако да имају развијене пипке и антене, а неки се ослањају и на хеморецепторе. Боја тела пећинских организама је бледа – жућкаста, крем, сивкаста или розикаста.

Представници животињског царства су разноврсни и присутне су разне групе, од праживотиња (*Protozoa*) до кичмењака (*Vertebrata*). Поред **праживотиња** ту су разне врсте **пљоснатих црва** (нпр. *Planaria*); **мекушци** – разни пужеви; од зглавкара – **рачићи** (*Nyphargus*), **шкорпије** и **мокрица**, ципринидна риба *Paraphoxinus* и водоземци, као што је **човечја рибица** (*Amphibia*, *Proteus anguinus*). Неки представници су приказани на слици 88.



Слика 88. Карактеристични представници пећинске фауне: човечја рибица (а), рачић *Nyphargus* (б) и планарија (ц)

6. БИОЛОШКИ ПРОЦЕСИ У ВОДНИМ ТЕЛИМА

6.1. Трофичност водених екосистема

Трофичност (степен трофије) једног хидроекосистема, било да се ради о стајаћој или текућој води, подразумева његову укупну биопродукцију. Она директно зависи од интензитета кружења материје и протока енергије. Другим речима, трофичност акватичног екосистема представља висину органске продукције. Овај показатељ се може изразити преко садржаја (концентрације) основних нутријената – N и P и на основу квалитативног и квантитативног састава планктона, фауне дна и насеља риба.

Према концентрацији нутријената у воденим срединама постоји подела на олиготрофне, са ниским садржајем нутријената и еутрофне са високим садржајем азотних и фосфорних једињења. У табели 6 дати су детаљи те класификације, са опсегом концентрација појединих хранљивих материја за сваку класу.

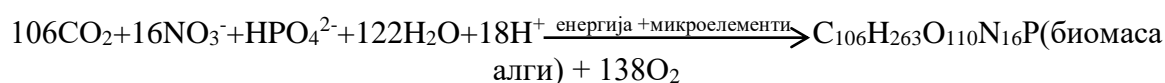
Табела 6. Вредности оптерећења азотом и фосфором у различитим еутрофним водама (Yang et al., 2008)

Еутрофни статус	Укупни P (µg/l)	Укупни N (µg/l)	Примарна продукција као маса угљеника (C)
Олиготрофне воде	5~10	250~600	5~300 mg C/m ²
Умерено еутрофне воде	10~30	500~1100	1000 mg C/(m ² ·d)
Еутрофне воде	30~100	1000~2000	-
Хиперeutрофне воде	>100	>2000	-

6.2. Дефинисање еутрофикације

Водна тела која карактерише велика количина биљних нутријената називају се **еутрофним** (од грчке речи *eu*, што значи много, и *trofe* – исхрана). Према Директиви о пречишћавању урбаних отпадних вода (Directive, 91/271/ЕЕС) еутрофикација се дефинише као: „Обогаћивање воде нутријентима, нарочито једињењима азота и/или фосфора, које изазива убрзано размножавање алги и виших биљака и ствара непожељне промене равнотеже организама присутних у води и квалитета воде која је у питању.”

Током процеса фотосинтезе, усвајањем сунчеве енергије и хранљивих материја, алге формирају своју биомасу. Процес еутрофикације може се описати следећом једначином (Yang et al., 2008):



На основу једначине може се закључити да је у фотосинтетичким организмима масени однос елемената следећи:

$$41(\text{C}) : 7(\text{N}) : 1(\text{P})$$

Иако га има у највећем проценту у органској материји, у овом случају фотосинтетичких организама, он је увек угљеник (C), лако доступан, пошто се угљен-диоксид из атмосфере раствара у води, или настаје дисањем водених организама.

Разградњом органских једињења, посредством хетеротрофних бактерија, ослобађа се амонијак, који могу да користе алге и већина **цветница**. Међутим, повишена концентрација амонијака је токсична за многе водене организме, нарочито за рибе, а токсичност амонијака се повећава са порастом рН вредности воде.

При процесу фотосинтезе долази до раста алги и водених биљака усвајањем угљен-диоксида из воде, при чему се угљеник уграђује у органске молекуле, а кисеоник се ослобађа. Усвајањем угљен-диоксида раствореног у води повећава се рН воде. На тај начин, интензивном фотосинтезом свих присутних фотосинтетичких организама производи се велика количина кисеоника током дана, док се услед дисања свих живих организама у води током ноћи јавља његов недостатак. Наизменично одвијање фотосинтезе и дисања доводи до великих дневних варијација у квалитету воде, што може бити штетно за водене организме.

Еутрофикација траје неколико недеља, а процес је интензиван све до утрошка залиха једног или више неопходних елемената за развиће, када алге почињу да одумиру, троши се растворен кисеоник, што доводи до угинућа осталих водених организама. Водене површине у којима су заступљени еутрофни процеси обично карактерише присуство великог броја претежно фотосинтетичких организама који су непожељни. Посебно се ту срећу бујан фитопланктон, али и перифитон и макрофите (слика 89).



Слика 89. Различите манифестације еутрофних процеса: (а) развој субмерзне вегетације у стајаћој води (б), пренамножавање фитопланктона – цијанобактерија и (в) макрофитска вегетација која се наталожила иза прелива у водотоку (а – Лудашко језеро, југ, јун 2018; б – Лудашко језеро, север, јун 2018; в – Прелив Змајево, Јегричка, јун 2012)

Фитопланктон чине микроскопски ситне једноћелијске или вишећелијске алге које врше фотосинтезу. Уколико се ради о вишећелијским организмима, они су најчешће филаментозне или имају грудвасту грађу и прекривају површину воденог огледала. Перифитон или обраштај је комплексна заједница организама, која се развија на супстрату биотичке или абиотичке природе, на граничној површини стално или повремено изложеној води. Доминантне су алге, али ту се такође могу наћи и бактерије, гљивице, протозое и други организми који формирају колоније. Сви фотосинтетички организми, који превазилазе микроскопске размере, називају се макрофитама. Макрофите могу бити васкуларне биљке укорене у подлогу са делом који се развија изнад површине воде – емерзне биљке, субмерзне биљке, оне које не допиру до површине воде, или слободно пливајуће флотантне биљке.

Један од првих показатеља еутрофних процеса јесте повећање концентрације РК који прелази вредност од 100% засићења за дате услове температуре и салинитета воде. На тај начин долази до **суперсатурације**. Поред тога, услед постојања биљне простирке на површини споротекућих и стајаћих вода онемогућено је продирање сунчеве светлости у дубље слојеве. Тиме се умањује интензитет фотосинтезе биљака у дубљим слојевима и условљава се интензивније дисање, што води смањеној концентрацији кисеоника.

Биомаса алги, чија је количина толика да изазива неугодности, често изазива велике осцилације рН вредности. На пример, у рекама са шљунчаним дном и великом биомасом перифитона ниво рН може достићи 10. Толико висока вредност рН озбиљно угрожава способност водених организама да нормално обављају своје животне функције. Водени организми су веома осетљиви на екстремне вредности рН, пре него на средње дневне вредности, стога мониторинг треба спроводити у послеподневним часовима када је рН вредност највиша.

У аноксичним условима, који се јављају ноћу, долази до одумирања водених биљака и алги. Одумрли остаци биљака и алги таложе се на дно водног тела. Ти остаци подлежу процесима труљења и распадања, који се одвија уз помоћ бактерија. Уколико је кисеоник још увек присутан, долази до аеробне разградње, а када се он потроши, структура организама дна мења се од аеробних ка анаеробним организмима. Екстремни услови недостатка кисеоника могу изазвати стрес, или довести до угибања пожељних водених организама, а токсини такође могу бити ослобођени из седимената услед смањења РК и рН вредности. Распадање одумрлог органског материјала у води доводи до стварања нејонизованог амонијака, који може нашкодити рибама. Удео нејонизованог амонијака зависи од температуре и вредности рН. Та појава код риба може изазвати смањење процента оплодње при мресту, успоравање раста и морфолошког развоја, повреда шкрга, јетре и бубрега. Веома високе концентрације амонијака доводе до коме и смрти риба. Са порастом еутрофикације мењају се квалитативни и квантитативни састав биљних и животињских заједница, који представљају и показатеље тог процеса. Одумрли остаци таложе се на дно у виду велике количине органске материје, ниво муља расте и долази до оплићавања воденог екосистема.

Еутрофикација се може јавити у неколико видова и у складу са тим се и квантификује. Док у мањим водотоцима преовладава бујање макрофита, дотле у великим споротекућим водотоцима долази до пренамножавања фитопланктона. У првом случају процењује се покривност макрофитама, док се у другом одређује концентрација хлорофила. Услед распадања органског материјала повећава се вредност БПК₅. Након обраде великог броја података нађена је апроксимација (Crouzet et al., 1999), да укупна концентрација хлорофила (изражена у µg/l) подељена са 20 или 10 упућује на могући опсег вредности БПК₅. На пример, концентрација

хлорофила од 100 µg/l, након угинућа и разградње фитопланктона довешће до БПК₅ од 5 mg O₂/l до 10 mg O₂/l.

Еутрофикација воде представља један од најзначајнијих проблема који угрожавају водене средине. Еутрофно водно тело губи своју примарну функцију, што негативно утиче на одрживи развој економије и друштва. Тај процес је у великој мери убрзан активностима људи услед урбанизације и интензивне пољопривредне производње, али и развојем индустрије. Нутријенти доспевају до водених површина спирањем са обрадивог земљишта, воде порекло од фекалних вода и отпадних вода појединих индустрија. Као резултат повишених концентрација азотних и фосфорних једињења у води, долази до пренамножавања алги, што се назива **цветањем воде**.

Еутрофикација се често јавља у споротекућим водотоцима, који карактеришу каналску мрежу ХС ДТД. Основни ограничавајући фактори за настанак еутрофикације су количине доступних нутријената – азотних и фосфорних једињења. Повећане количине нутријената у каналској мрежи јављају се пореклом од концентрисаних или расутих извора загађења. Други разлог појаве еутрофикације је испуштање отпадних вода из концентрисаних извора, нпр. отпадних вода са фарми, погона за производњу хране (кланице, месно-прерађивачке индустрије, млекаре, прераде воћа и поврћа, дестилерије и др.). Сумарно, услови који погодују развоју еутрофних процеса у основној каналској мрежи су следећи:

- мала брзина тока,
- добра осветљеност,
- обиље нутријената у виду једињења азота и фосфора и
- мала дубина која доприноси брзом загревању воде.

Природна еутрофикација траје хиљадама година и овај процес се одвија у неколико фаза које имају различито трајање: I фаза тече споро, II фаза представља зрело доба једног језера и тече убрзано, а III фаза означава старење језерског екосистема и траје поново дуже време. Ови процеси су посебно убрзани услед деловања антропогених активности, као што су интензивирање пољопривреде, урбанизација и индустријализација.

Поред природне еутрофикације разликујемо и **убрзану еутрофикацију**, када услед антропогених активности долази до убрзавања природних еутрофних процеса. Нагло повећање биопродукције најчешће се манифестује кроз појаву **цветања воде**. Узрочници су највећим делом **алге** *Scenedesmus* sp. и *Mycrocystis* sp., које води дају зелену боју.

Фактори који утичу на брзину процеса еутрофикације су бројни. Неки од њих су: порекло језера, минерални састав околине, количина и квалитет муља, хемијска и биолошка својства воде, квалитет и квантитет ефлуената, водни режим, ниво урбанизације и индустријализације, величина сливног подручја пољопривредног земљишта које га окружује и др.

Еутрофикација представља комплексан процес и његова контрола захтева успостављање динамичне равнотеже, за што је неопходно спречити уплив недовољно пречишћеног ефлуента. Успоравање убрзаног процеса еутрофикације могуће је и применом биоманипулације рибљим насељем, што се чини порибљавањем фитофагим и планктофагим рибама.

Вредновање нивоа еутрофикације повезано је са наменом водног ресурса, која може бити веома различита. Уколико се вода користи за расхлађивање, тада ниво еутрофикације није од пресудног значаја. Међутим, ако се употребљава за наводњавање или напајање рибњака, тада је веома важно на којем се нивоу трофије налази дати водени екосистем. Посебно је важан што нижи ниво трофије у случајевима када се вода из једног површинског хидроекосистема употребљава за пиће.

6.3. Утицај азота и фосфора на раст алги

Однос азота и фосфора у водном телу игра важну улогу при одређивању који од та два елемента представља ограничавајући фактор и који треба контролисати да би се смањила еутрофикација. Уколико је фосфор ограничавајући фактор, концентрације од 0.03 mg P/l до 0.1 mg P/l или више, повећавају изгледе за настанак еутрофикације. Према WHO (2002), однос азота и фосфора изражен тежински за различите граничне услове у слатким водама је следећи:

- уколико је N ограничавајући фактор, однос N/P је $\leq 4,5$;
- уколико је однос N/P интермедијаран, однос је 4,5 – 6 и
- ако је P ограничавајући фактор, однос N/P је ≥ 6 .

Dodds и Smith (1995 in US EPA 1999) су анализом базе података двестотине река извели релације густине алги у односу на концентрације нутријената. Закључили су да су концентрације укупног азота и фосфора у већој међузависности са концентрацијом хлорофила водотока, него са факторима који нису нутријенти, као што су надморска висина, температура, градијент протока, или хидродинамика. Они су закључили и да су укупни азот и укупни фосфор у већој међузависности са растом алги него растворени реактивни фосфор и растворени неоргански азот. Користећи више приступа при процени концентрације у водотоку, исти аутори су дали препоруку граничних вредности за укупан азот и фосфор. Применивши своје резултате на реци Кларк Форк (Clark Fork River, САД), дошли су до коначне препоруке за укупан азот од 350 $\mu\text{g/l}$, док за фосфор износи 45,5 $\mu\text{g/l}$. Према Европској агенцији за животну средину, основни извор нутријената представља спирање са пољопривредног земљишта, док извор фосфора представљају комуналне воде и индустрија, где се употребљавају детерџенти на бази фосфора. Иако се недавно спроводи боље управљање азотом и фосфором при пољопривредним операцијама, ипак се повишене концентрације тих елемената могу наћи у областима где се обавља интензиван узгој стоке. Да би се спречила појава еутрофикације, неопходно је вршити и контролу концентрација азота и контролу концентрација фосфора, али и њихове пропорције. У литератури се посебно истиче да систематско уклањање фосфора из слатководних средина представља најбоље решење, јер су други фактори често ван нашег утицаја, али и због тога што он ограничава утицај

азота и угљеника. Поред тога, уклањање нутријената при пречишћавању отпадних вода, као и коришћење детерџената који не садрже фосфате од посебног је значаја за смањење утицаја загађења узрокованог азотом и фосфором у водним телима широм Европе.

Интеракције између водног тела и околног подручја су комплексне, али за процену и управљање еутрофикацијом потребна је анализа на нивоу слива (Hession, Storm, 2000). Поред тога, уколико водно тело поседује значајно оптерећење нутријентима, али не показује знаке еутрофикације, то може бити због високог турбидитета, или постојања токсина.

6.4. Одређивање степена загађености на основу биоценоза

Поред анализе воде физичким и хемијским методама ради утврђивања њеног квалитета, квалитет воде у животној средини може се оценити и применом биолошких метода. У употреби је мноштво биолошких метода, али се све оне могу сврстати у две основне групе:

- **директне (еколошке) методе** – подразумевају одређивање степена загађености (сапробности) вода на основу састава акватичних биоценоза, тј. присутности (бројност, абундантност) и учесталости (фреквенција) индикаторских организама.
- **индиректне (физиолошке) методе** – односе се на испитивање биолошке активности воде. Такође, оне обухватају и експериментални (лабораторијски) рад са тест организмима.

Еколошке методе у својој основи садрже **сапробни систем** који су увели још Kolkwitz & Marson (1907). Они су сачинили списак индикаторских организама који су карактеристични хидробионти станишта са водом одређеног квалитета. Тако поједини организми живе у изузетно чистим водама, док су други адаптирани на воде мањег или већег загађења и у њима се срећу у великом броју. Овај систем је унапредио Liebmann (1958), заменивши врсте заједницама. Систем садржи четири степена:

- I степен – олигосапробна зона (плава боја);
- II степен – β мезосапробна зона (зелена боја);
- III степен – α мезосапробна зона (жута боја);
- IV степен – полисапробна зона (црвена боја).

Ова четири степена сапробности су идентична са четири класе бонитета воде (I, II, III и IV класа), а карактеришу их индекси сапробности од 1 до 4. Ови параметри одговарају квалитету вода најмањег, умерено, великог или највећег загађења. Liebmann-ов систем се може примењивати само за оцену квалитета вода које су оптерећене органским материјама и не може се примењивати код загађења неорганског порекла. Оцена бројности индикаторских врста добија се применом методе релативне бројности (нпр. 1 – врста се јавља појединачно; 2 – малобројна; 3 – бројна; 4 – веома бројна; 5 – масовно).

Олигосапробне воде су незагађени или минимално загађени водени системи у оквиру којих се налазе и **катаробне воде** – извори и планински потоци изван

насеља и домета индустрије. Ове воде су бистре, пријатног мириса, а муљ је сив или смеђ. Садрже пуно РК тако да се минерализација изводи до краја. Карактерише их велики диверзитет животне заједнице уз истовремену малу бројност појединих врста. Ова зона се још означава и као регион **пастрмке** (салмонидни регион).

β мезосапробне воде припадају типу умерено загађених вода. Вода има „нормалан” мирис (мирише на земљу), а сатурација је око 100%, што омогућује потпуну минерализацију. Богато је развијена **алгална флора**, што даје води зелену боју, а на дну се срећу **кончасте модрозелене и зелене алге**. Развијени су и **макрофитска вегетација** и **зоопланктон**. Од Molusca присутне су разне врсте **шкољки** и **пужева**. Све то доприноси богатој органској продукцији. Дунав и већина наших река имају овај квалитет воде.

α мезосапробне воде су нешто загађеније. Карактерише их непријатан мирис, који потиче од разлагања беланчевина и угљених хидрата. Присутне су и одређене количине NH_3 , а некада и H_2S . Вода је мутна, са богатим наслагама муља. Кисеонички режим показује варијабилност у току 24 часа, дању га има довољно, а ноћу често пада испод биолошког минимума. Услед разлагања органске материје јавља се повећана концентрација CO_2 . Животну заједницу карактерише значајно присуство **хетеротрофних бактерија** и Protozoa (Ciliata), које заједно чине трећину од укупног броја животињских врста. Од **алги** овде живе Euglenophyta и Cyanobacteria. **Макрофитска вегетација** је развијена. Само се повремено јављају Cladocera и Serepoda и то са малим бројем врста. Такође се срећу Oligochaeta, ларве Chironomidae и **барски пуж**. Повећана разградња органске материје у муљу изазива дефицит РК, па су макроорганизми ретки. Од **риба** може се срести *Carassius auratus gibelio*. Уколико нема струјања и мешања воде, може доћи до помора рибе.

Полисапробне воде су карактеристичне по веома великом органском оптерећењу (загађењу), које води порекло од индустријских и комуналних отпадних вода. Имају неугодан мирис на фекалије и трулеж, а боја је прљаво сива и мутна. На површини пливају масне мрље и гомилице **нитастих бактерија**. Слој муља је дебео услед интензивног процеса распадања органских материја, али је разлагање само делимично. Тако се беланчевине редукују само до H_2S и CH_4 . Уз обалу се налазе **модрозелене алге** и нема много **макровегетације**. Целокупна акватична биоценоза је највећим делом сведена на **бактерије** и Protozoa (Ciliata). Осталих група организама има веома мало. Фауна дна је такође сиромашна и јављају се само *Tubifex* sp. и ларве Chironomidae.

Поред Liebmann-овог система постоји и Knörr-ов сапробни систем, који се базира на присуству и дистрибуцији **микроорганизама**, а скала се протеже у распону 1–7.

За израчунавање степена сапробности најчешће се користи систем по Pantle-у и Bick-у који узима следећу скалу:

- 1,0–1,5 – олигосапробни тип воде
- 1,6–2,5 – β мезосапробни тип воде
- 2,6–3,5 – α мезосапробни тип воде
- 3,6–4,0 – полисапробни тип воде

и метод релативне бројности индикаторских организама: 1 – појединачно, 2 – бројно, 3 – масовно, а на основу формуле:

$$S = \sum s u / \sum u$$

где су: S – индекс сапробности, s – индикаторска вредност, u – учесталост.

Нпр. у узорку су нађене следеће врсте:

u	5	5
s	3	4
s*u	15	20

$\sum s*u = 35$, из чега произлази да је $S = 35/10 = 3,5$ што одговара α – мезосапробном типу воде.

Недостатак еколошких метода које укључују примену сапробног система је у томе што захтевају велики тим стручњака који веома добро познају све групе водених организама.

6.5. Загађење водених екосистема

Под утицајем интензивне пољопривреде, урбанизације и индустријализације, количине отпадних вода се све више повећавају. Према дефиницији из Закона о водама³ под **загађивањем** се подразумева „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 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”.

Непречишћене или недовољно пречишћене отпадне воде се у мањим или већим количинама најчешће изливају у различите природне водене екосистеме, где доводе до промена различитог интензитета. Извори загађења могу бити различити и деле се на основу порекла, али и ефеката који доводе до промене стања квалитета површинских и подземних вода. Према томе да ли се загађујуће материје испуштају/депонују у једној тачци или на одређеној површини разликују се **тачкасти (концентрисани)** или **расути (дифузни)** извори загађења. Уколико се ради о испусту отпадних вода при чему се вода из цеви испушта у водопријемник, ради се о концентрисаним изворима, а уколико долази до спирања загађујућих материја са одређених површина земљишта ради се о расутом загађењу.

Највећи загађивачи **индустријским отпадним водама** су хемијска индустрија (тешки метали, киселине и базе), металопрерађивачка индустрија (соли и јони тешких метала, цијаниди и феноли), текстилна индустрија (органике и неорганике боје), рафинерије (нафтни деривати), затим гране прехранбене индустрије (кланице, уљаре, шећеране, фабрике за прераду воћа и поврћа) и сточарске фарме као главни загађивачи органиким материјама. Посебан тип чине **комуналне отпадне воде** које садрже како органике материје (масти, детерџенте, фекалије), тако и неорганике (киселине и базе). Поред тога, оне утичу на повишене концентрације бактерија, вируса и других организама којим могу нашкодити

³ Службени гласник РС, бр. 30/10 од 07.05.2010.

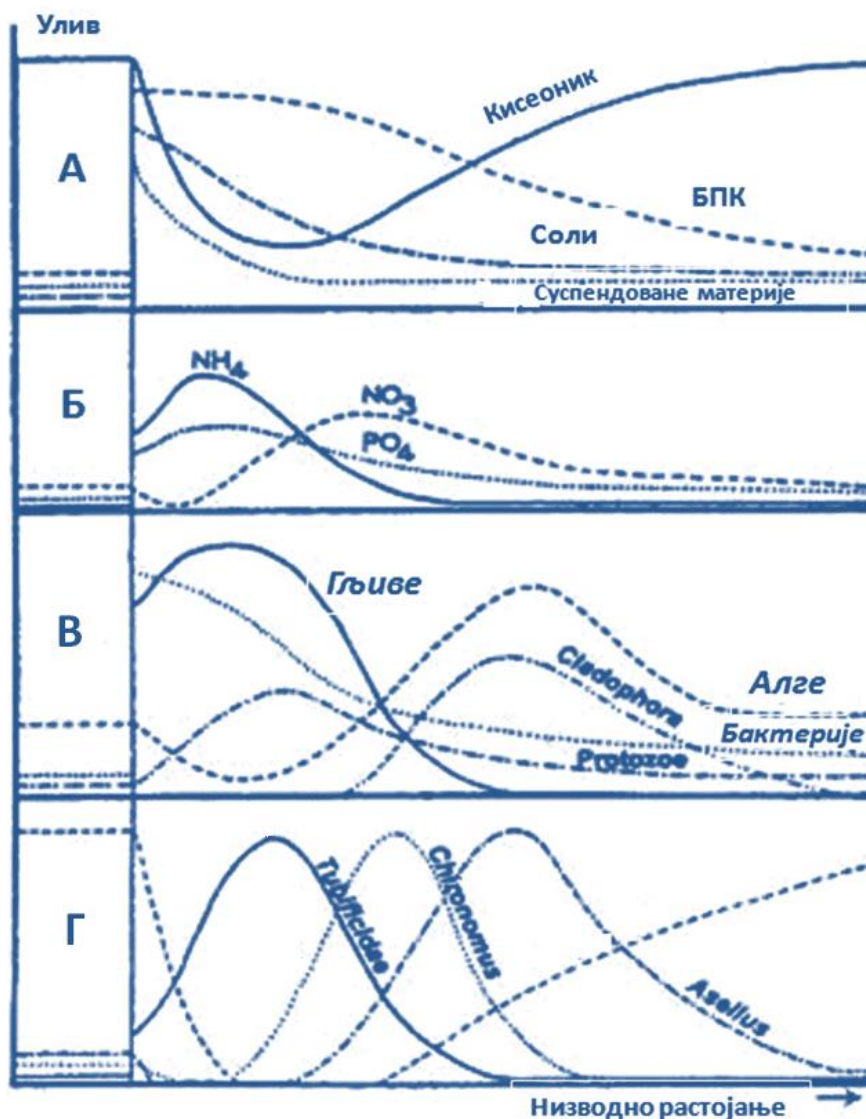
људском здрављу. Нарочита врста отпадних вода потиче од расутих загађења која се јављају у **интензивној пољопривредној производњи**, као последица примене минералних ђубрива и разних пестицида (хербицида, инсектицида, акарицида, фунгицида, лимацида, роденцида и др.), који се са обрадивог земљишта под утицајем атмосферских падавина сливају у водотоке. Посебан вид представља **термално загађење**, које настаје као последица рада разних типова електрана (термо и нуклеарних), које својим термалним отпадним водама повећавају температуру водопријемника. При томе, у воденом екосистему долази до значајних промена у квалитативном и квантитативном саставу његових биоценоза. У Европи је 2022. године била 171 активна нуклеарна централа (Statistica, 2023). Важно је напоменути да и термо и нуклеарне електране не могу да постоје без одговарајућих наменски резервисаних количина воде, које се користе за пренос топлоте и хлађење. И код једних и код других, пошто се добије топлота било сагоревањем фосилних горива (угља), или путем нуклеарних реакција у реактивном језгру, вода служи као медијум која преноси топлоту и надаље покреће турбине, чиме се кретање преводи у електричну енергију. Потребне количине воде се могу обезбедити грађењем акумулација.

Доспевањем у водоток, отпадне воде се разблажују (растварањем или таложењем), те се на тај начин смањује концентрација загађујућих материја (слика 90). Брзина таложења суспендованих честица зависи од њихове величине и брзине протока воде. Међутим, концентрација неких загађујућих материја повећава се јер настају као резултат процеса разградње органске материје, као што су амонијак и водоник-сулфид. Органске материје које доспевају у реципијент подлежу разградњи од стране микроорганизама. Овај процес је дуготрајан и захтева повећану потрошњу РК, тако да је на месту улива оваквог типа отпадне воде чест недостатак кисеоника. Висока органска оптерећења могу смањити растворени кисеоник до нивоа који је леталан за водене екосистеме и узроковати непријатне мирисе пореклом од анаеробних процеса. На слици 89 приказане су промене различитих чинилаца квалитета воде након упуштања концентрисаног загађења. Непосредно након упуштања долази до погоршања квалитета воде, а у зависности од карактера водотока и његове моћи самопречишћавања, након одређене удаљености низводно, долази до опоравка водотока.

Оптерећења нутријентима пореклом из урбаних отпадних вода, али и отицајем са пољопривредног земљишта могу бити узрочници пренамножавања алги, који заузврат може деградирати воду у естетском, али и рекреативном смислу, а финално може довести до одумирања организама у води услед ниске количине кисеоника. Неотровне соли (као нпр. NaCl) се растварају у води и њихова концентрација опада низводно од места улива (ако су пријемници водотоци), односно смањује се према средини воденог басена (код стајаћих вода). Њихове повећане количине наносе штете пољопривредној производњи ако се вода користи за наводњавање. Највеће оптерећење за водене екосистеме представљају тешко разградљиве материје као што су детерџенти и нафта. Отровни тешки метали и други микрополутанти могу се акумулирати у телима водених организама, укључујући рибе, чинећи их неподобнима за људску употребу, чак и уколико саме успеју да опстану у таквим водама.

Физичко-хемијске промене водених екосистема услед дејстава отпадних вода утичу на равнотежу биоценоза, која се прилагођава новонасталим условима и сама делује на загађујуће материје. Према томе, ово деловање је узајамно. Под утицајем загађивача долази, с једне стране, до осиромашења и смањења разноврсности водене биоценозе, али истовремено, поједини чланови водене животне заједнице активно

учествују у разградњи појединих компонената отпадних вода. Тако **бактерије** оксидишу суспендоване честице Fe и Mn, док многе **биљке**, Oligochaeta и ларве Chironomidae, задржавају честице муља, играјући улогу биофилтратора. У комплексном процесу самопречишћавања једног водотока највећи значај имају **бактерије**, **гљиве** и **Protozoa**.



Слика 90. Промене физичко-хемијских (А и В) и биолошких (Ц и Д) параметара дуж водотока након улива концентрисаног загађења (Hynes, 1960)

Потребе за квалитетном водом, без које се не може замислити било која човекова делатност, данас су све веће. Годишњи захтеви Војводине за водом су следећи:

- за потребе индустрије – 250.000.000 m³;
- за потребе домаћинства – 45.000.000 m³;
- за наводњавање – 1.650.000 m³.

Механизми процеса самопречишћавања, иако присутни у свим водотоцима, због карактера отпадне воде или њене концентрације, неће увек у свим случајевима моћи да обезбеде опоравак водотока. Разлози могу бити следећи: токсичне супстанце садржане у води ефлуента, које летално делују на све организме (нпр. цијаниди, и тешки метали); превисока концентрација (масено оптерећење) отпадних материја, које би иначе могле да се уклоне процесима самопречишћавања, или прекратка деоница низводно од упуштања концентрисаног загађења, што не оставља довољно простора за одвијање процеса самопречишћавања. Како би се предупредили овакви сценарији, у законодавству су прописане концентрације (масена оптерећења) за појединачне загађујуће материје на изливу отпадних вода, или до ког нивоа, загађивачи треба да обезбеде њихово уклањање. У законској регулативи то је дефинисано као **гранична вредност емисије**.

6.6. Утицај отпадних вода на живи свет

Као производ различитих антропогених активности, испушта се низ загађујућих материја, које путем спирања са земљишта, атмосферском диспозицијом (ветар, падавине и др.), или на неки други начин доспевају до водних тела и нарушавају њихов квалитет. И док биоразградива једињења представљају мању опасност за живи свет у води, пошто се временом њихова концентрација смањује под утицајем живих организама, већу опасност носе материје које нису разградиве или су тешко разградиве. У ту категорију убрајају се тешки метали, као што су жива, кадмијум, цинк, и др, али и пестициди и њихови остаци.

Отпадне воде, које се непречишћене уливају у природна водена станишта, могу имати низ негативних ефеката по живе организме, а њихово дејство може бити директно или индиректно. Најлакше се могу на терену евидентирати промене рН вредности, боја воде, температура, замућеност/транспарентност, док одређивање концентрација појединих хемијских једињења најчешће захтева лабораторијске анализе. И само понашање и изглед живих организама може представљати индицију да квалитет воде у станишту није одговарајући. Организми постају дезоријентисани и неуобичајено се понашају, а у најдрастичнијем случају јавља се помор риба, али и бескичмењака, нпр. шкољки.

Штетне материје у води могу довести до **реверзибилних и ирреверзибилних промена**. У првом случају организми се након побољшања квалитета воде могу вратити у првобитно стање, док у другом случају долази до неповратних промена, које узрокују трајна оштећења организама, или у најгорем случају њихову смрт. Оптерећење нутријентима је промена коју захваљујући процесима самопречишћавања водотоци могу сами да регулишу, уколико постоји довољно низводно растојање и одговарајући протицај. Насупрот томе, загађење тешким металима и токсичним супстанцама, какви су цијаниди, у кратком року доводи до врло неповољних последица (нпр. помора риба), а опоравак таквих водотока тече веома споро. Они остају у води везани за суспендоване честице и у седиментима и задржавају високу токсичност. При томе, најосетљивији су млађи организми и узрасне категорије (јаја и рани развојни стадијуми). Међу најотровније метале се сврставају жива (Hg) и сребро (Ag), а затим бакар (Cu), олово (Pb), кадмијум (Cd), али је и алуминијум (Al) један од значајнијих загађивача.

Токсичност појединих елемената и једињења се одражава на следећи начин:

- концентрација Cu од 0,009 mg/l убија одраслог **караша** за 3,5 h, зависно од масе тела и температуре воде;
- Hg је летална за многе водене организме при концентрацији од 0,01 mg/l;
- Pb и Zn при концентрацији од 0,5 mg/l убијају младунце **шарана** за 24 h;
- многе еутрофне воде, у којима је при дну дефицит РК, садрже Fe у тешко растворљивом феро облику и његова концентрација од 5 mg/l је токсична за већину хидробионата;
- Mn се тешко оксидује, а лако редукује и веће концентрације су токсичне за зоопланктонске организме (нпр. Crustacea);
- H₂S је отрован и у малим количинама и могу да га поднесу само неки организми и то ако се јавља само повремено (отпорна су јаја *Bosmina* sp., *Diatomus* sp., затим неке алге и Protozoa);
- различите соли истог метала имају неједнаку токсичност, нпр. CuSO₄ је отровнији од CuNO₃.

Соли и јони тешких метала пре свега утичу на чланове **ихтиофауне**, али и на структуру, бројност и распоред **фитопланктона** и **зоопланктона**. На тај начин *индиректно* делују на **ихтиофагне птице**.

Токсичност већине отровних материја зависи од основних абиотичких фактора, температуре воде, рН и количине РК. При повишеним температурама повећава се и осетљивост водених организама. Посредно, при вишим температурама смањена је количина раствореног кисеоника, што је стресно за водене организме. Осим тога, неке материје су токсичније при вишим температурама, нпр. при вишим температурама и повишеној рН вредности амонијум јон (NH₄⁺) прелази у гасовиту форму амонијак (NH₃), која је токсичнија. Дифузија РК из ваздуха се смањује и због појава нафтних мрља. Нафта плива по површини воде и ствара превлаку (**филм**) на њеној површини и омета размену гасова између ваздушне и водене средине. Додатно, чак и врло ниске концентрације нафте и њених деривата (феноли, крезол и др.) у води утичу на органолептичка својства конзумних водених организама, те она имају нижу комерцијалну вредност. Детерџенти, као стабилне и тешко разградљиве материје, такође су непожељни у воденим екосистемима. Нарочито су опасни анјон активни детерџенти, који у малим концентрацијама доводе до редукције зоопланктона, а разлажу и опну јаја риба.

Варирање рН вредности изван опсега који организми могу да поднесу, такође може бити врло негативно. Према стандардима квалитета воде оптимални опсег рН вредности је у распону 6,5–8,5. Међутим, при повишеној температури или при несташици кисеоника и вредности блиске границама овог опсега могу се негативно одразити на живе организме. У случају испуштања киселина, на пример хлороводоничне (HCl) или азотне (HNO₃), при рН од 4,5 у трајању од 4 h до 6 h долази до леталног исхода по рибе. Ипак, најјачи токсични ефекат развијају цијановодонична киселина (HCN) и њене соли, пошто летално делују већ при концентрацији од 0,2 mg/l–0,5 mg/l у зависности од температуре воде и масе тела рибе. Од база у отпадним водама најчешће се јављају натријум-хидроксид (NaOH) и креч (Ca(OH)₂), где се такође јавља леталан исход након неколико сати деловања.

Почевши од средине прошлог века, агенси који се користе у пољопривредној производњи, као расути извори загађења, значајно нарушавају квалитет воде.

Користи се широк спектар пестицида, који делују на различите штетне организме. Према објекту на који летално делују разликују се:

- хербициди – убијају непожељне коровске биљке,
- родентициди – летално делују на глодаре,
- инсектициди – користе се за сузбијање непожељних инсеката,
- бактерициди – уништавају бактерије,
- фунгициди – делују против гљивица,
- ларвициди – сузбијају ларвене облике инсеката,
- молускоцид – контролише популације мекушаца, најчешће пужева,
- алгициди – сузбијају алге у воденој средини.

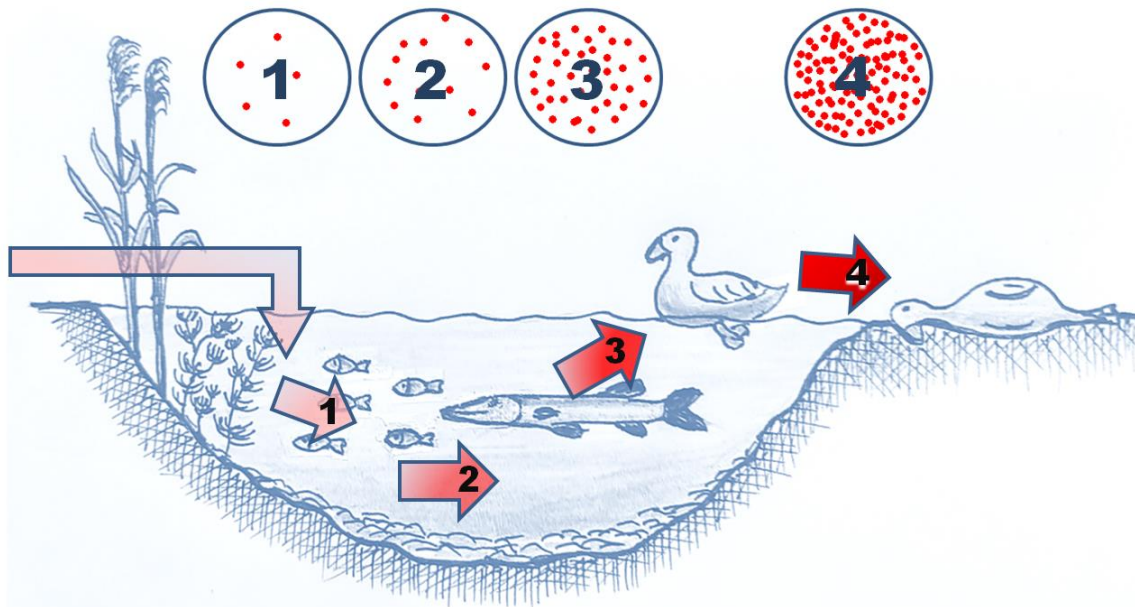
Негативни ефекти коришћења пестицида огледају се у могућем **негативном деловању на организме који нису циљни**, а негативно делују и на људе. Инфилтрацијом у подземне воде, а одатле у површинске воде или директно спирањем са обрадивих површина у водотоке, пестициди доспевају у водену средину. Поред тога, поједини хербициди се циљано користе за контролу приобалног растиња или макрофитске вегетације у самим водотоцима у појединим деоницама каналске мреже. У појединим случајевима и алгицидима се третирају водна тела ради сузбијања пренамножених алги. При великим концентрацијама може доћи до леталног исхода по водене организме, али у већини случајева кроз ланац исхране се повећава њихова концентрација. О томе ће бити више речи у наредном поглављу. Други важан проблем је што поједини циљни организми постају резистентни (отпорни) на деловање неког пестицида. А уколико се ради о организмима који се брзо размножавају, као инсекти на пример, резистентност се преноси на наредну генерацију.

Према хемијском саставу разликују се 4 групе синтетичких пестицида и то могу бити органохлорна, органофосфорна једињења, карбамати и пиретроиди.

Биоакмулација

У чистој води концентрација хранљивих материја (једињења азота и фосфора) није висока, те да би фитопланктон задовољио своје потребе за нутријентима мора профильтрирати велике количине воде. Поред нутријената у овим организмима се накопљају и тешко разградиве хемијске материје антропогеног порекла, као што су тешко разградиви пестициди (DDT), полихлоровани бифенили (PBCs) и тешки метали. Иако су опасне супстанце у води присутне у тако малим концентрацијама да се могу детектовати веома осетљивим инструментима, њихова количина се повећава у живим организмима. Поред тога, опасне супстанце из воденог стуба, уколико имају тенденцију таложења током времена, депонују се у седиментима. Мале животиње – бескичмењаци, које живе на дну и хране се копајући детритус са дна, уносе и загађујуће материје наталожене у седименту. У овом случају ти бескичмењаци представљају прву карику у ланцу исхране. Фитопланктоном се хране биљоједе рибе и зоопланктон, те се на тај начин количина штетних материја у организмима, које припадају другој карици у ланцу исхране, још више повећава. Надаље, мањим рибама се хране рибе средње величине, а њима оне највеће. На тај начин успоставља

се ланац исхране, при чему се опасне материје таложе у телима свих чланова у ланцу, а количина опасних материја се повећава у телу организама на свакој наредној карици. Овај процес се назива **биоаккумуляцијом** (слика 91).



Слика 91. Акумулација и биомагнификација постојаних једињења кроз ланац исхране повећањем концентрације: 1 – фитопланктон и зоопланктон, 2 – ситније рибе, 3 – карниворне рибе и 4 – карниворне птице

Биомагнификација

Предаторске рибе и оне које имају дужи животни век имају тенденцију накупљања већих количина опасних супстанци у поређењу са мањим и млађим рибама. На тај начин концентрација пестицида постаје много виша у живим организмима него у слободној води. Ова једињења се акумулирају у масном ткиву. Процес повећања концентрације штетних једињења у свакој следећој карици у ланцу исхране назива се **биомагнификација** (табела 7).

Према томе, у телима предатора на крају ланца исхране, могу се акумулирати толике концентрације штетних материја да могу довести до озбиљних проблема у виду деформитета или чак смрти организама упркос томе што су концентрације у слободној води веома ниске. Јаја месоједих птица често садрже највише концентрације штетних супстанци пошто су на самом крају ланца исхране, али и зато што су жуманца богата масним материјама. Управо мониторинг птичијих јаја користи као средство за откривање потенцијалне опасности од накупљања штетних материја у воденој средини, јер представљају индикатор загађења много пре него што њихова концентрација у води постане мерљива.

Уколико постоји проблем биоаккумуляције штетних материја, он представља опасност и за људе, будући да се они налазе на крају ланца исхране. Међутим, будући да је исхрана људи разноврсна и не ограничава се само на храну пореклом из загађених вода, мањи је ризик од испољавања штетних дејстава код људи. Ипак, овај проблем не треба занемарити, пошто дуготрајна експозиција чак и ниским концентрацијама може представљати опасност по здравље људи.

Табла 7. Биоакмулација полихлорованих бифенила (PBCs)
у ланцу исхране водених екосистема (Botts, Krushelnicki, 1987)

Карика у ланцу исхране	Организми	Концентрација PBCs (ppm)
1.	фитопланктон	0,025
2.	зоопланктон	0,123
3.	ситније рибе	1,04
4.	месоједе рибе	4,83
5.	птице	124

Европска комисија је посветила пажњу и хемијским материјама које се нагомилавају у животној средини и представљају ризик по здравље људи. Тако је сачињена листа приоритетних супстанци, чија би емисија требало постепено да се смањује. Међу 33 приоритетне супстанце, колико их је идентификовано, истиче се 13 приоритетних хазардних супстанци за које се сматра да су токсичне, постојане и могу се биоакмулирати. Захтева се да оне престају да се испуштају у животну средину, или да се њихово испуштање фазно смањује.

Микропластика

Термин микропластика је релативно нови и означава честице пластике било којег типа, које настају као отпад услед различитих активности човека. Те честице завршавају у животној средини, а из ње прелазе и у тела људи и других живих организама. Карактеристика микропластике је да су те честице веома ситне, лаке, постојане и нераствориве у води, што омогућује њихово кретање и нагомилавање у животној средини и организмима. С обзиром да не представљају корисне састојке за живот организама, оне се нагомилавају и проласком кроз ланац исхране долази до магнификације.

6.7. Управљање загађењем вода

Третман вода не представља увек практично решење када је реч о водама за рекреативне намене, као и одржавања здравља риба, шкољки и других организама који се могу наћи у природним акватичним екосистемима. Због тога су постављени **стандарди/граничне вредности** којима се одређује минимални ниво квалитета за већину копнених вода. Граничне вредности се могу односити на две врсте случајева:

- 1) **гранична вредност емисије** – прописује се за поједине врсте ефлуената отпадних вода;
- 2) **гранична вредност имисије** – прописује се квалитет (вредности за параметре квалитета воде) који треба да поседује водно тело у животној средини.

Различити други корисници имају, такође, своје посебне стандарде. Вода за наводњавање не сме бити превише заслањена нити садржати токсичне супстанце, које биљке могу усвојити, или које могу уништити земљишне микроорганизме. Захтеви за квалитетом воде која се користи у различитим гранама се разликују и могу бити веома захтевни у зависности од тога о каквом индустријском процесу се ради.

Устаљени начин контроле тачкастих загађења (концентрисаних), као што су она из кишне канализације, постројења за прераду комуналних отпадних вода, или вода пореклом од индустрије, јесте постављање граничних вредности (стандарда) којима се прецизирају **максимално дозвољено оптерећење загађујућих материја у отпадној води**. Стандарди за испусте отпадних вода обично не узимају у обзир специфичну самопречишћавајућу моћ водопријемника. Расути извори загађења, као што су отицај са пољопривредних површина, или атмосферска депозиција теже се могу контролисати, па је тиме тежа примена стандарда на расуте загађиваче и њихово оптерећење може бити много значајније него оптерећење пореклом од тачкастих загађивача. Управљање утицајем расутих загађивача захтева **програм управљања** који ће бити усмерен више ка амбијенталним чиниоцима.

Циљ програма амбијенталног управљања квалитетом вода је да успостави одговарајуће стандарде за квалитет воде у водопријемницима који примају оптерећења, а затим да осигура да ти стандарди буду поштовани. Реалистично успостављање стандарда подразумева разматрање хидролошких, еколошких и земљишних карактеристика, потенцијалне начине коришћења воде из водопријемника и институционе капацитете који постављају и спроводе поштовање стандарда квалитета воде.

7. ХИДРОЕКОЛОШКИ ПРОЦЕСИ У СЛИВУ

На свом путу од извора до ушћа изглед реке се значајно мења. Најуочљивије су морфолошке промене, које се могу приметити уколико се посматрање врши дуж речног тока – лонгитудинална зоналност (нпр. димензије и изглед корита и обала, брзина тока). Као одговор на морфолошку разноликост дуж тока реке, приметно се мења и састав и разноврсност животних заједница. Интеракције абиотичке и биотичке компоненте условљавају појаву доминантних процеса у појединим деловима водотока.

Поред ове лонгитудиналне зоналности, и гледајући управно на корито реке, јавља се хоризонтална зоналност. Најчешће према средини, корито је најдубље, а према обалама постаје све плиће. Код водотока који не пресушују, главна маса воде је концентрисана у средишњем делу и животне заједнице које су везане за ово станиште не могу да поднесу одсуство воде. Идући према обалама долази се до зоне где расту укорене билке (најчешће тршњаци), а сама зона се карактерише као амфибијска, пошто се овде јављају осцилације воде, а каткада и пресушивање. Саме обале чине терестричну зону и део алувијалног земљишта које се протеже дуж реке. Транзициона зона, коју представља појас између реке и земљишта, назива се још и **екотон**.

Концепт речног континуитета тежи да објасни промене које се догађају од извора до ушћа реке, а односе се како на промене физичког – абиотичког окружења, тако и на промене у саставу и бројности заједница различитих група организама.

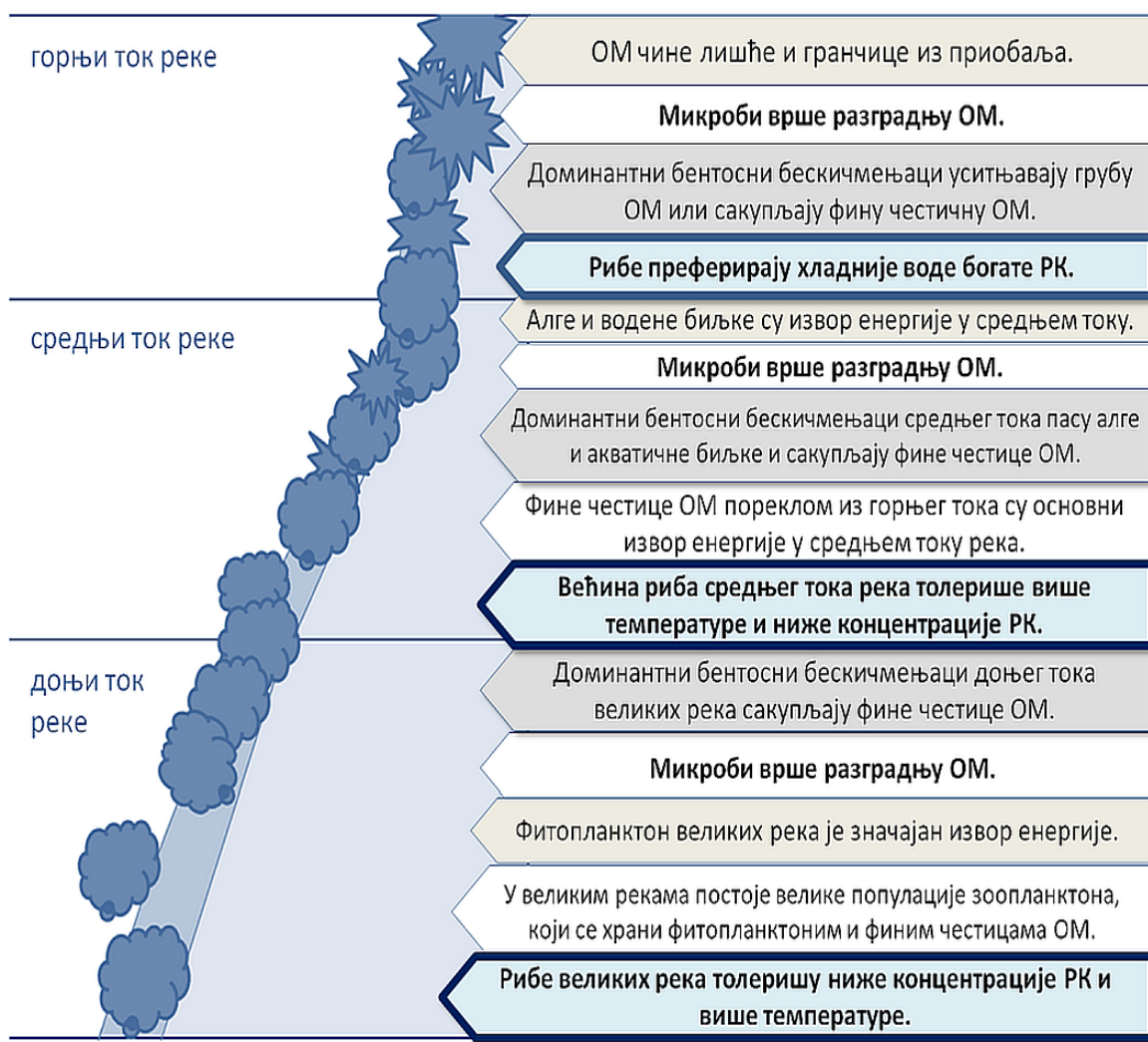
Сагледавајући водоток, као физички систем, дуж његовог тока од извора до ушћа запажа се континуирано градијент промене услова станишта који се односе на ширину и дубину водотока, његову брзину, протицај и температуру. Ако се на исти начин посматрају биолошки елементи организације у рекама, може се приметити да се они подударају са расипањем кинетичке енергије. Биолошке компоненте се врло брзо прилагођавају променама насталим у прерасподели коришћења кинетичке енергије која се јавља у физичком систему.

Примарна продукција у рекама остварује се захваљујући присуству нутријената у води, и радом фотосинтетичких организама у повољним условима осветљености и температуре ствара се биомаса. На рачун тих примарних продуцентата развијају се потрошачи првог реда, тј. водени бескичмењаци и рибе. Међутим, догађа се да се у неким случајевима секундарна биомаса развија на рачун примарне продукције која је настала изван водене средине. Спирањем са околног терена у воду доспева органски материјал терестричног порекла. Тај материјал може садржати делове биљака, нпр. лишће, гранчице, корење, цветове, плодове и др., али и ситније животиње – инсекти, који у воду могу доспети спирањем услед поплава. Све наведено може представљати значајан извор хране за рибе.

Сваки водоток карактерише одвијање бројних процеса разградње и синтезе, тј. специфичан метаболизам. Имајући у виду да се низводно од извора до ушћа карактер водотока мења, мења се интензитет заступљености појединих процеса. Ипак, сагледавајући целокупан ток, запажа се да се низводно промене одвијају постепено. Морфолошке модификације праћене су хидролошким променама, што се одражава на хемизам воде. Екстракватичне биоценозе имају значајан утицај на водене средине, посебно код мањих водотока.

Низводни екосистеми дуж речног тока у великој мери зависе од дотока хранљивих материја, која се трансформише у енергију, пореклом од узводних екосистема. На тај начин остварује се континуитет дуж речног тока. Vannote и

сарадници (1980) дефинисали су повезаност еколошких процеса у сливу као концепт речног континуитета (слика 92). Овај концепт је објашњен на примеру промена заступљености и бројности функционалних група бескичмењака.



Слика 92. Концепт речног континуитета: промене у подужном профилу реке, обухватајући абиотичке и биотичке елементе, и њихова постепенa промена структурних и функционих карактеристика низводно; ОМ – органска материја, РК – растворени кисеоник (модификовано према Vannote et al., 1980)

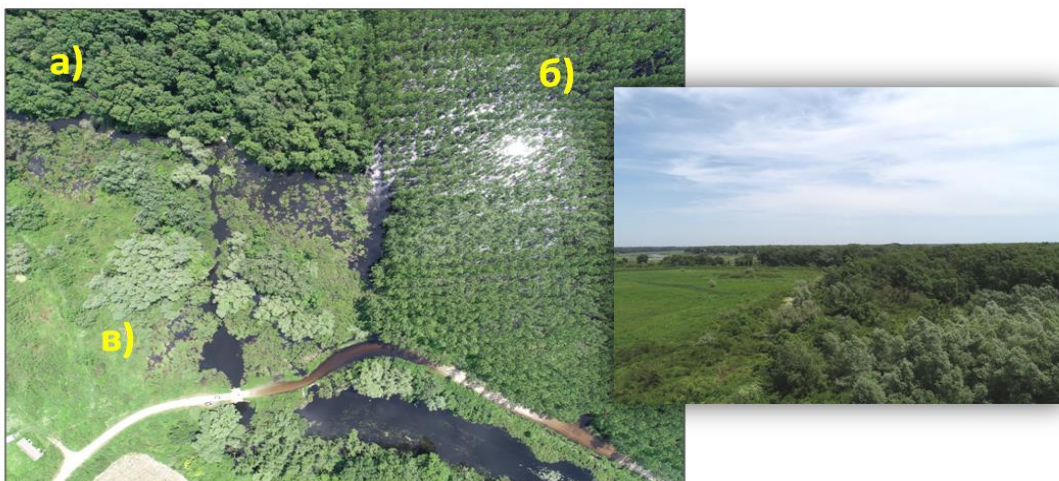
По концепту речног континуитета корито замишљеног водотока се дели на следећа три дела:

- 1) У планинским деловима реке, где су хранљиве материје присутне у виду одумрлог биљног материјала (нпр. суво лишће, гранчице и др.), преовлађују групе уситњивача и сакупљача. Уситњивачи се хране крупнијим неразложеним органским материјалом, које су претходно до извесног степена разложили микроорганизми (гљивице актиномицете). У овом делу заступљени су сакупљачи који живе на рачун финијих честичних органских материја. Будући да се ради о малим водотоцима, чије су обале најчешће обрасле бујном вегетацијом, светлосни режим није повољан и зато преовлађују хетеротрофни организми. Однос производње и респирације може се изразити као $P/R < 1$.

- 2) Низводније, у плићим деловима подручја преноса, брзина воде је мања, температура виша, а светлосни режим повољнији због ширег воденог огледала, које није у сенци обалне вегетације. Све ово погодује развоју бентоских алги, којима се хране стругачи. Поред њих заступљени су и сакупљачи. Пошто овде доминирају аутоτροφни процеси, однос производње и респирације може се изразити као $П/Р > 1$.
- 3) У низијским деловима, где је изражен процес таложења и где постоји обиље органских материја, доминирају сакупљачи. Ове делове водотока карактеришу веће дубине, до којих допире мање светла, тако да у систему опет преовлађују хетеротрофни процеси, те је количник производње и респирације мањи од 1 ($П/Р < 1$).

Грабљивци подједнако настањују сва три подручја.

Изглед површинских вода подложен је променама у времену и простору. У пролеће обично долази до повишења нивоа воде у површинским водним телима услед отапања снега, али и услед обилних пролећних падавина. Овај период се често означава и као период великих вода, током кога може доћи и до изливања водотока из корита и до поплава (слика 93).



Слика 93. Високи водостај на плавном подручју: мешовита аутохтона шума (а), сађена шума тополе (б) и ливадске и жбунасте биљне заједнице (в) (Обедска бара, јун 2019, сликано из дрона)

Може се рећи да се хетерогеност у површинским водним телима јавља у четири димензије. Лонгитудиналну (подужну) димензију чине везе које се успостављају у узводно-низводном правцу. Размена материја и енергије, која се одвија између корита водотока и приобалне вегетације и поплавних подручја, представља латералну димензију. Вертикалну димензију, која истовремено има и латералну компоненту, чини интеракција воде водотока са подземним водама. Четврта, временска димензија, надређена је у односу на три описане просторне димензије.

Изглед површинских вода не мења се само у зависности од сезоне, било да је влажна или сушна, већ се мења током година (слика 94). На промену изгледа

највећим делом утичу метеоролошке прилике, али и геолошка подлога представља важан предуслов. Финално, на изглед водотока утичу и живи организми, који – ради задовољавања својих потреба – у различитој мери утичу на изглед водотока. Најизразитији пример активног утицаја организама представљају даброви, који преграђују водоток, стварајући акумулацију. Са друге стране, бескичмењаци хипореичке зоне, бушећи каналиће испод дна водотока, утичу на повећање порозности, а тиме и на аерацију ове зоне. Приобална вегетација може такође утицати како на морфологију корита тако и на карактеристике тока воде. На пример, изваљено стабло постављено управно на правац течења воде након невремена или због утицаја клизишта, или дуготрајнији процеси, какав је оседравање.



Слика 94. Утицај стања на хидроеколошке процесе у зони таложења (Petts and Calow, 1996)

У односу на релативно краткотрајне сезонске промене, процеси геоморфолошких модификација корита одвијају се деценијама и вековима. Са ове временске дистанце може се посматрати формирање нових токова, настајање меандара, акумулирањем наноса, затим оплићавање корита, формирање мочварних деоница и друге појаве. Све промене у водотоку и сливном подручју у вези су са подземним водама било да се она успоставља, интензивира или прекида.

Биолошки минимум и еколошки прихватљив протицај

Протицај у водотоцима и ниво воде у стајаћим водама варирају у зависности од годишњег доба. Поред тога, животне заједнице које настајују водна тела у различита годишња доба имају и другачије захтеве према количини воде и њеном квалитету. На пример, зими у свим површинским водним телима живи организми смањују своје животне функције на минимум, док у пролеће и лети долази до повећања броја јединки популација, а самим тим и повећаних захтева за хранљивим

материјама, што убрзава размену гасова у води. У нормалним условима животне заједнице водених организама подлежу сезонским варијацијама, тако да могу да толеришу промене појединих фактора у одређеним опсезима. У том случају, организми трпе биолошки стрес, који уколико траје краће време, не оставља последице, међутим уколико се одсуство или превелики интензитет појединих фактора настави дужи временски период, може доћи до неповратних последица, па чак и до угинућа организама.

Човеков утицај на водотоке већ је био помињан. Данас су ретка водна тела која нису претрпела никакве промене зарад задовољавања људских потреба. Било да се вода црпи ради водоснабдевања или индустријске производње, наводњавања, било да се водна тела користе за рекреацију, или се у њих упуштају отпадне воде различитог порекла, то се негативно одражава на водене организме. Изазов представља одређивање баланса између задовољавања потреба људи и одржавања доброг квалитета водних тела. При томе, неопходно је пажљиво начинити процену најоптималније расподеле воде ради задовољавања свих захтева. Узимајући у обзир све наведене биотичке и антропогене чиниоце, поставља се питање: колико воде је потребно да буде у реци? Одговор на ово питање би требало да пружи одређивање **билошког минимума** или **еколошки прихватљивог протицаја**.

Циљ одређивања еколошког протицаја јесте да имитира природни водни режим што је боље могуће. Водни режим мора бити такав да одговори на потребе организама у самом водотоку, али и ван њега. Из тих разлога потребно је начинити процене за сезонске протицаје, али и протицаје који ће омогућити еколошко здравље водотока и у екстремним климатским и метеоролошким условима (нпр. безводни периоди или поплавни таласи).

Мале воде

Према Светској метеоролошкој организацији мали протицај је „протицај у водотоку током дужег сувог времена”. Ради одређивања малог протицаја, често се користи статистички пројектовани протицај као што је 7Q10. Он представља најнижи седмодневни просечан протицај који се јавља у просеку једном у сваких 10 година.

Корисно је поменути и појам суше, која као уопштени феномен означава недостатак воде, односно недоступност воде за различите намене. Према томе, у зависности од аспекта посматрања, суше могу бити метеоролошке, атмосферске, пољопривредне, хидролошке и из перспективе водопривредних управљача. Хидролошке суше најчешће означавају дефицит воде у језерима, смањење протицаја у водотоцима, снижавање нивоа подземних вода током дужег временског периода или током једне или више узастопних година. Поставља се питање која је разлика између мале воде и суше? Сваки водоток има своје варијације у току године и оне представљају нормалну компоненту водног режима за тај водоток. Након топлења снега и обилнијих падавина у пролеће јавља се максималан протицај, док се крајем лета или почетком јесени јављају минимални протицаји, који се означавају као мале воде. Насупрот томе, суше представљају појаве оскудице воде услед изостанка падавина током дужег временског периода, које су ниже од просечних падавина. Током сушних епизода јављају се мале воде (слика 95), али не мора да значи да свака мала вода мора бити последица суша.



Слика 95. Низак водостај на Старом Бегеју (а) и Обедској бари у време екстремне суше (б) (а – Царска бара, август 2017; б – Обедска бара, септембар, 2017)

На пример, и претерана експлоатација воде, или промена намене дела слива могу довести до појаве мале воде у водотоку. Будући да на појаву мале воде утичу и природни и антропогени фактори, свака значајнија промена, која одступа од неке просечне вредности за дату сезону може довести до појаве мале воде. Поред тога, и комбинација више узрочника може довести до мале воде. Неки од узрока/фактора од значаја за формирање протицаја у водотоцима могу бити природни и вештачки. Највећи природни утицај на формирање протицаја имају топљење снега и падавине, затим земљишни покривач и порозност тла, али имају утицаја и друге геоморфолошке карактеристике (подземне воде, нагиб терена и др.). Од антропогених утицаја најизразитије су вештачке творевине које регулишу водни режим водотока, као што су бране и акумулације (слика 96). Поред њих граде се још и водозахвати за различите намене, нпр. за водоснабдевање, индустрију, или наводњавање. Финално, присутно је испуштање вода из индустрије након што је вода искоришћена у процесу производње или отпадна вода прикупљена системом канализације. Те воде, уколико су пречишћене, доприносе повећању воде у водним телима без већих последица, док уколико нису пречишћене, могу довести до деградације природних водених станишта.



Слика 96. Акумулација за водоснабдевање на Копаонику (а), Лединачко језеро настало пуњењем каменолома водом (б) и вештачко језеро Борковац у Срему намењено за наводњавање, али и за одмор, рекреацију и риболов (в) (а – фото: Ј. Грабић, Копаоник, јул 2023; б – фото: А. Бездан; Лединци, Фрушка гора, 2008; в – фото: Ј. Грабић, Борковац, јун 2008)

Варијације протицаја, било да су природне сезонске варијације, или изазване неким од антропогених активности, у значајној мери утичу и на квалитет воде. При великим протицајима, током отапања снега или обилних падавина, долази до интензивног спирања са околних терена и појаве повишене концентрације суспендованих честица неорганског и органског порекла. У летњим месецима услед интензивне сунчеве радијације, али и због мање дебљине слоја воде (нижи водени стуб), током маловодних периода долази до загревања воде, а самим тим и до снижавања концентрације раствореног кисеоника и убрзања биохемијских реакција разградње органских једињења, што додатно резултира у искоришћавању расположивог кисеоника. Повољна температура, обиље нутријената и мала брзина тока (уобичајена појава током маловодних периода) често доводе до појаве еутрофних процеса, који опет са своје стране изазивају низ непожељних ефеката на остали живи свет у датом водотоку.

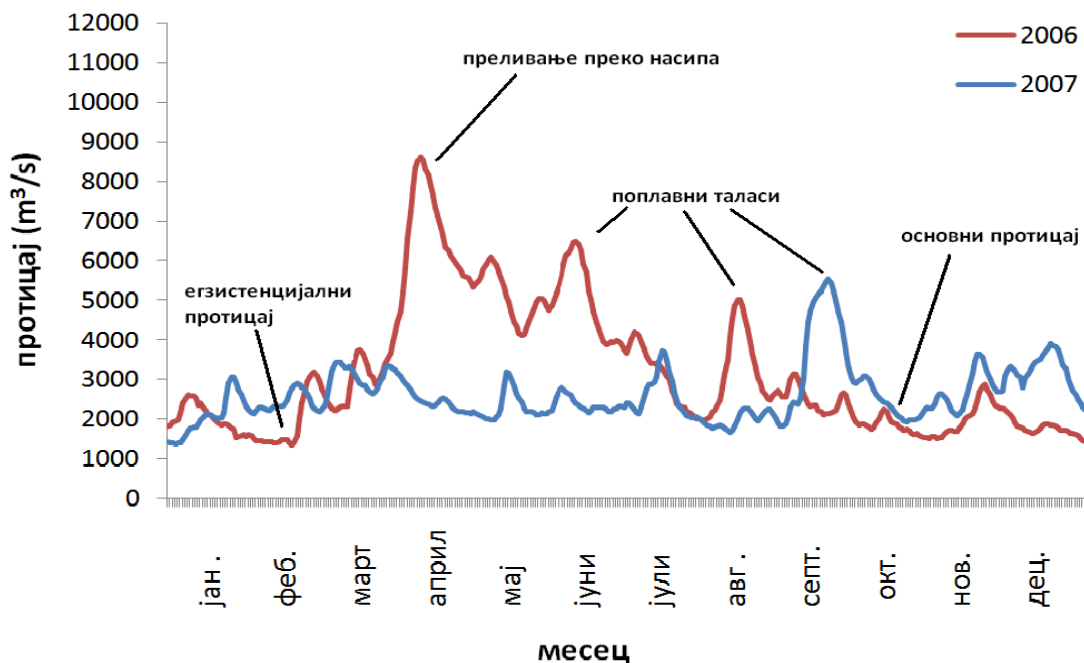
Трендови и принципи еколошких протицаја

Током деценија истраживања еколошких протицаја развили су се четири правца и седам принципа за одређивање еколошких протицаја. Први правац има тежиште на **хидраулици и хидрологији** и обухвата различите опсеге протицаја, који узимају у обзир сезонске и годишње варијације, обим и учесталост промена протицаја. На основу истраживања дошло се до неколико врста протицаја:

- егзистенцијални протицај,
- основни протицај,
- поплавни таласи и
- преливање преко насипа.

Све ове појаве се заједно називају **режимом протицаја**. Годишњи режим протицаја Дунава за 2006. годину са изразито високим падавинама, и за 2007. годину, са просечним падавинама, дат је на слици 97.

Егзистенцијални протицај представља минимални протицај који је потребан током критичних сушних периода да би се одржао квалитет воде, као и минимални животни простор који водени организми могу да толеришу. **Основни протицај** је онај који се јавља у нормалним условима у реци када нема временских непогода. У том случају протицај је такав да обезбеђује одговарајуће станиште за бројне водене организме и њихове животне заједнице, али има воде у довољној количини и за вегетацију дуж водотока. **Поплавни таласи** се јављају у виду пулсева, краткотрајни су и карактеришу их високи протицаји дуж водотока. Они настају током непогода или непосредно након њих, спирајући fine седименте и отпадне материје. Уколико им претходе дужи периоди без падавина повећане количине воде регенеришу претходне ниске водостаје. Поред тога, уколико су постојали делови водотока који су пресушили, успоставља се континуирани ток, што обезбеђује кретање бројних врста дуж река. Протицај који доводи до **преливања преко обала** водотока се ређе јавља. Преливањем преко обала јављају се драстичне промене корита водотока и плавног подручја. У таквим случајевима долази до повишења нивоа подземних вода, хранљиве материје из водотока доспевају до вегетације заштитног појаса и повезују се станишта и корито водотока са поплавним подручјем, чиме се обезбеђује додатна храна за водене организме.



Слика 97. Годишњи протицаји Дунава на водомерној станици Нови Сад 2006. и 2007. године

Биолошки приступ често усмерава пажњу на протицај који је од значаја за само једну врсту (често риба) и понекад само једну фазу у развоју поједине врсте. Иако је у средишту пажње само једна врста, многе процене протицаја узимају у обзир и друге функције воденог екосистема, као што су одрживе заједнице водених станишта или заштитног појаса, што је од посебног значаја приликом прављења планова протицаја.

Геоморфолошки приступ у центар пажње ставља корито водотока које ограничава процесе који се одвијају при току воде. Ипак, савремена схватања имају за циљ да прошире просторни делокруг са корита водотока и на заштитне зоне и поплавна подручја.

Мултидисциплинарни приступ је настао из потребе да се хидролошки приступ, заступљен шездесетих и седамдесетих година прошлог века, прошири. Првобитно су била заступљена хидролошка статистичка проучавања, а савремена истраживања укључују и друге науке као што су биологија, геоморфологија, хемија ради одређивања квалитета воде, затим правне науке – водно право, као и хидраулика. Савремено проучавање протицаја суочава се са изазовима сачињавања програма који би представљао синтезу сазнања добијених из проучавања природних наука, али и процене друштвених вредности, при чему се као најбоље решење види ангажовањем мултидисциплинарног тима стручњака.

Најновија истраживања протицаја у водотоцима истичу следећих **седам принципа** који треба да се узму у обзир приликом сачињавања програма протицаја појединачних водотока:

1. **Очување функција целокупног екосистема**, пре него усмеравање пажње на појединачну врсту организама.
2. Подражавати што је више могуће **природни режим протицаја**, укључујући сезонске и годишње промене.

3. **Проширити просторни опсег** проучавања протицаја са корита водотока и на околну заштитну вегетацију и мрежу поплавних подручја.
4. Спровести **мултидисциплинарна проучавања**. За проучавање протицаја потребно је укључити хидрологе, биологе, геоморфологе и стручњаке за квалитет воде.
5. Пре израде плана протицаја **користити све доступне податке**, како би се одабрале најбоље технике и приступи за оцењивање појединачног водотока.
6. **Управљати флексибилно**, препоручити прилагођавање и поправке уколико већ начињени оперативни план није дао жељене резултате.
7. **Укључити све заинтересоване кориснике** у процес одлучивања.

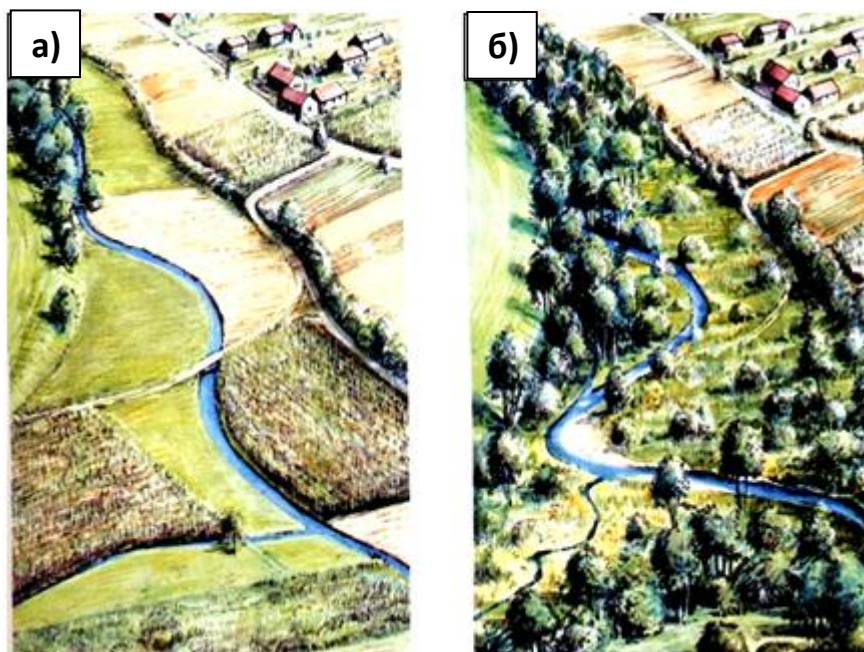
8. АКТИВНА ЗАШТИТА И ОПОРАВАК ХИДРОЕКОСИСТЕМА – НАТУРАЛНО УРЕЂЕЊЕ

Преуређење водотока ради задовољавања неких потреба човека је веома стара пракса и датира још из старог века. Данас у 21. веку веома су ретки водотоци на којима нису извршене никакве промене, било да би се задовољиле неке потребе човека или да би се регулацијом воде постигла безбедност, када је у питању, на пример заштита од поплава. Најчешћи разлози због којих се водотоци уређују су следећи: наводњавање, одводњавање, одбрана од поплава, снабдевање насеља и индустрије водом, обезбеђивање услова за пловидбу, производња електричне енергије (за потребе хидро, термо и нуклеарних централа), те одмор и рекреација. Приликом уређења водотока на првом месту вођено је рачуна о испуњењу функције због које се и приступило променама, а знатно су били занемарени остали аспекти, као што су еколошки, естетски, социјални и др.

Такав **функционалистички приступ** био је заснован искључиво на задовољавању техничко-економских критеријума. Ипак, показало се да спроведени регулациони радови и новоуређени водотоци нису били у могућности да обезбеде еколошку равнотежу, што је имало за последице драстично погоршање квалитета воде, праћено падом биодиверзитета и биолошке стабилности. Наведене негативне последице могуће је и данас уочити на многим акумулацијама и каналисаним рекама, где се услед поменутих разлога, као редовне појаве јављају еутрофни процеси.

У новије време се у области уређења водотока уводи концепт **натуралног уређења водотока**, односно концепт **рестаурације – обнове** раније уређених водотока. При спровођењу овог концепта каналисани водотоци се подвргавају захватима, који имају за циљ да их врате, или обезбеде неко ново стање које је приближно природно. Ипак, при спровођењу рестаурације води се рачуна и о безбедности и успостављању хидролошко-хидрауличних карактеристика, са једне стране, а с друге – морфолошких промена, које ће бити у функцији повећања диверзитета станишта и врста. Стога се најчешће прописани трапезоидни профил корита и праволинијски ток водотока мења до несиметричног профила корита и меандрираног тока, а поред основног корита граде се рукавци, спрудови, речна острва и др. (слика 98).

Концепт натуралног уређења водотока подразумева таква решења, при којима се хидролошко-хидрауличке, псамолошке и морфолошке карактеристике водотока доводе у приближно природно стање, да би се постигла природна разноврсност биоценоза у основном кориту. **Укратко речено, циљ рестаурације водотока јесте да се постигне склад између функционалних, безбедносних, еколошких, естетских, социјалних и других критеријума.**



Слика 98. Водоток уређен по функционалистичким принципима (а) и примена природног концепта уређења водотока – рестауриран водоток (б) (Deutscher et al., 1996)

Наравно, морамо рећи да су поједине велике реке регулисане на начин који је једино и био могућ и да је у низу случајева успешних регулационих радова постигнуто да су горе набројани основни критеријуми природног уређења водотока складно повезани. Погрешно би било схватити да се сада мора приступити рестаурацији свих водотока и да треба приликом уређења водотока искључиво тежити њиховом природном изгледу. Дакле, рестаурација водотока у себи садржи и неопходни функционализам, односно у сваком поједином случају неопходно је наћи одређено оптимално решење између многобројних критеријума (функционалних, безбедносних, економских, еколошких, естетских, социјалних и осталих).

Да би се умањили негативни ефекти неких раније спроведених активности, које су довеле до деградације водних тела, примењују се мере добре управљачке праксе (енгл. *Best Management Practice* – БМР). Корективне активности добре управљачке праксе подразумевају обнављање заштитних зона и станишта водотока, реконструкцију водотока, сађење дрвећа у циљу стабилизације и утврђивања обала ради ублажавања ерозије обала. Индикатор да су неки од утицаја ових промена кориговани било би смањење турбидитета и суспендованих честица, укључујући седименте и муљ, али и генерално побољшање квалитета воде. У Европској унији се идентификују неуgroжени водотоци и користе се као референтни, према којима се упоређују остали водотоци сличних особина, а при процесу рестаурације биодиверзитет таквих водотока треба да послужи као циљ коме треба тежити при процесу рестаурације.

Седам фаза до природног уређеног водотока

Приликом реализације конкретних пројеката рестаурације река и канала мора се водити рачуна о појединим специфичностима и препорукама које су формулисане

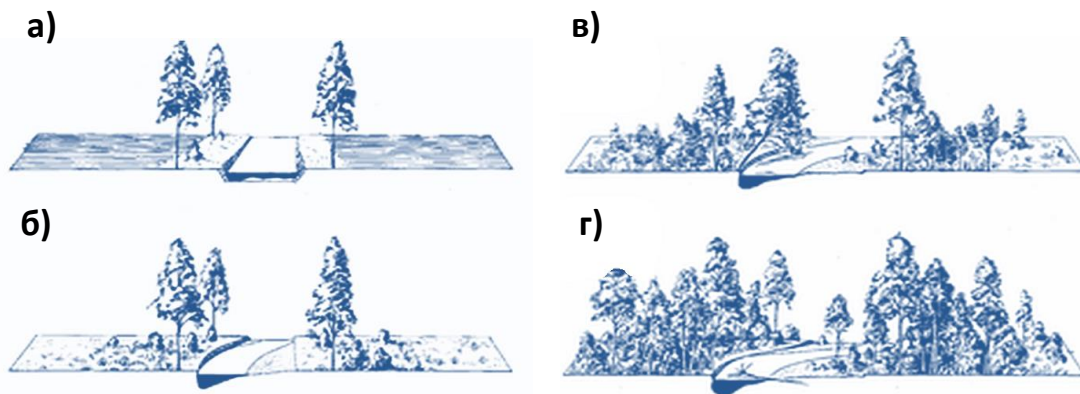
на основу искустава из праксе. Уколико у региону раније нису вршени захвати рестаурације и не постоје опробане методе које се могу са сигурношћу препоручити, потребно је претходно на неколико примера извршити тестирање. Наиме, неопходно је одабрати неколико локација на којима је услед примене крутог функционалистичког концепта дошло до изражене деградације квалитета воде и биодиверзитета тог воденог станишта. Затим је потребно спровести мултидисциплинарне истражне радове. У ту сврху треба укључити и стручњаке из домена хидрологије и хидраулике, али и биологе, екологе, а по потреби и социологе и стручњаке из других друштвених дисциплина. Ови радови треба да покажу до ког нивоа је природна обнова могућа. Поред тога, они би обезбедили информације и моделе неопходне за правилну примену савремених метода рестаурације река и канала на другим локацијама, где владају слични биогеографски, климатски, али и социо-економски обрасци. Посебно је важно истражити и социјалну компоненту, јер уколико су дате деонице водотока у оквиру неког предала на коме је изразито јак антропогени притисак, нпр. када је основна делатност интензивна пољопривредна производња, становништво мора да прихвати будуће измене, да их подржи, како би рестаурација дала дуготрајне ефекте.

При рестаурацији циљ не би требало да буде заштита само појединачних угрожених врста, биљака, птица, риба, итд., већ стварање стабилног екосистема, који би се темељио на успостављању складног и целовитог физичко-хемијског и биолошког система на одабраној локацији. Стога, да би се постигао жељени ефекат обнове водотока, потребно је спровести мере које ће на целовит начин довести до пожељних промена. Крајњи циљ би требало да буде постизање што већег диверзитета станишта, чиме би се створили предуслови за повећање диверзитета врста и остваривање еколошке равнотеже. Коначно, свеукупна разноликост води и лепоти пејзажа. У функционалном смислу стабилан екосистем резултира и водом доброг квалитета, а спровођење свих наведених промена укупно ће довести и до заштите угрожених врста.

И поред тога што сваки каналисани водоток поседује своје специфичности и сваки случај треба сагледавати издвојено, ипак постоје неке опште смернице (фазе), које би требало поштовати при планирању природног уређења водотока. У наставку ће бити приказане специфичности рестаурације река и канала кроз седам фаза, тј. стања у којима водоток може да се налази. Наравно, овај процес, који је у функцији човекових активности, може се одвијати у више праваца и бити убрзан или успорен.

1. **Прва фаза – избор водотока за обнову.** Први задатак је да се нађе одговарајући водоток, тј. одговарајућа деоница за обнову или подручје на ком планирамо изградњу новог канала.
2. **Друга фаза – стварање кривина и меандера.** Повећање дужине водотока стварањем кривина, односно меандера проузрокује смањење брзине тока. Поред тога, доприноси успостављању већег броја различитих режима струјања. Ово је од суштинског значаја за успостављање различитих карактеристика речног корита и особина речних обала неопходних за развој различите флоре и фауне и њихово надирање на слободне просторе. Веома полако, оживљени водоток ће одсецати обале и покретати корито. У обновљеном, кривудавом правцу, на местима бржег струјања воде еродирајући процеси створиће дубље деонице. Истовремено, наносећи еродирано земљиште на местима споријег тока, створиће се спрудови, набори, дине и друго (слика 99).

3. **Трећа фаза – дефинисање заштитног појаса.** Појас земљишта смештен непосредно дуж деонице реке или канала представља један од кључних елемената при пројектовању природног водотока. Овај заштитни појас штити водоток од разорног дејства негативних утицаја пољопривреде, индустрије, саобраћаја, итд. Поред тога, омогућује већу разноврсност биљака и животиња. Минимална ширина заштитног појаса износи око 10 m, наравно, уколико је то могуће, што шири зона је боља за унапређење животне средине.
4. **Четврта фаза – формирање високих и ниских обала.** За постизање што веће разноликости станишта, односно широког спектра еколошких ниша, од посебног значаја је разноликост обале водотока. Високе и стрме обале, које се обично протежу уз дубље воде, од изузетне су користи у облику еколошких ниша за настањивање различитих птица: ластва, водомара, нарочито брегуница итд. Ниске обале омогућују стварање широких појасева земљишта за мочварно-барску вегетацију, као што су шашеви, трстици, рогози итд. са адекватном фауном, пре свега орнитофауном.



Слика 99. Развој попречног профила водотока у времену: (а) 1. фаза; (б) 2–5. фаза (в) 6. фаза и (г) 7. фаза (Deutscher et al., 1996)

5. **Пета фаза – формирање дубоких места (тишака) и плитких места (брзака).** Истоветно улози разноликости обала водотока, различите дубине и брзине струјања воде су од посебног значаја за развој акватичних екосистема. Тишаци, у којима долази до акумулирања хладних водених маса посебно у летње доба при појави малих вода, од егзистенцијалног су значаја за опстанак риба. Шкољке, пужеви и акватична вегетација изузетно брзо и успешно колонизују ова водена станишта. Поред тога, у зимском периоду ови делови водотока служе као басени зимовници. Делови водотока са бржим струјањем воде повећавају аерацију воде (садржај кисеоника). Таква места обично насељавају специфичне врсте флоре, ларве инсеката и формирају повољне услове за исхрану рибље млађи.
6. **Шеста фаза – стварање влажних земљишта, ритова, мочвара и ада.** У заштитном појасу формирају се влажна земљишта, ритови, мочваре и др. Могућност стварања што већег броја острва (ада) повољно утиче на процес стабилизовања корита водотока. Обрастање спрудова вегетацијом потпомаже заустављању речног наноса, при чему острва настају природним процесом – таложењем наноса. Овако формиране аде, заштићене опструјавањем воде,

представљају повољна места за опстанак и размножавање птица и сигурно прибежиште многим животињама.

7. **Седма фаза – развој шипрага и шума.** У циљу стабилизовања и постизања разноврсности екосистема, раст природног шипражја и дрвећа дуж водотока, у заштитном појасу, представља последњу фазу развоја водотока до здраве, стабилне и складне животне средине. У овим условима пребивалиште за многе птице, сисаре и друге животиње, као и биљке у заштићеним деловима природе представљају непроцењиве оазе слободе и мира. Поглед на природно уређен водоток приказан је на слици 100.



Слика 100. Поглед из ваздуха на природно уређен водоток (Deutscher et al., 1996)

У појединим земљама у свету (Европе, САД-а, Канаде и Аустралије) рестаурација водотока је дала одличне резултате, међутим у Србији је ово поље још увек у повоју. Разлог за то је што још увек не постоји довољно снажна друштвена воља да би се кренуло у реализацију, иако има много могућности за примену поменутих решења. Инвестиције најчешће изискују значајна материјална средства, а локалне заједнице нису спремне и вољне да иницирају промене, посебно уколико је потребно, ради стварања ширег заштитног појаса, одузимати делове пољопривредног земљишта. Ипак, највећи су изгледи, да се примени поменути концепт, у руралним областима које се граниче са заштићеним природним добрима.

Најчешће саме границе заштите нису довољне да би се очувала разноврсност и стабилност у оквиру заштићених природних добара, већ је потребно проширити извршити промене и изван подручја заштите. На тај начин би се створила додатна зона заштите, која би у већој мери допринела смањивању загађења и других негативних ефеката, који потичу из подручја која су под интензивним антропогеним притиском. У сваком случају, ради реализације једног таквог подухвата потребно је да буду обухваћени следећи елементи:

- успостављање сарадње са надлежним организацијама, планерима и инвеститорима ради повећања разумевања ефеката обнове и то са аспекта функционалног концепта, што подразумева исправно функционисање водoprивредних система (одводњавање, наводњавање, каналска пловидба, туризам и др.);
- избор одговарајућег водотока, тј. одговарајуће деонице за обнову или подручја на ком планирамо изградњу новог канала, што подразумева рекогносцирање терена и избор више различитих локалитета;
- дефинисање мониторинга (праћење свих релевантних параметара: хидролошких, морфолошких, псамолошких, хемијских, биолошких и др., при чему ће се посебно водити рачуна приликом избора деонице водотока, односно већ постојећем мониторингу и пројектно-техничкој документацији);
- приказана разматрања и резултати анализа могу бити од користи приликом пројектовања нових (слика 101), или реконструкције старих река и канала (слика 102) и то посебно у складу са савременим схватањима и могућностима њихове природне регулације.



Слика 101. Поглед на ископ новог мелиорационог канала (Deutscher et al., 1996)

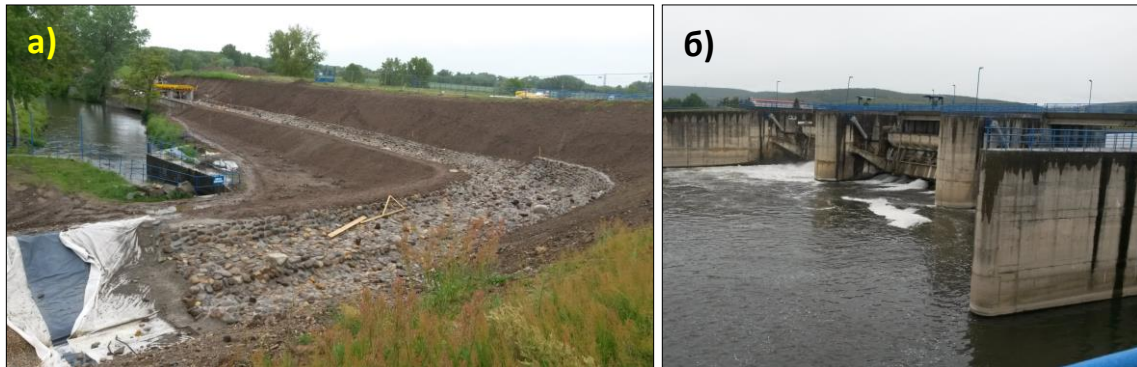


Слика 102. Поглед на реконструисани мелиорациони канал (Deutscher et al., 1996)

Изградња рибљих стаза

Уколико због бројних социо-техничких разлога није могуће извршити веће захвате на ренатурализацији водних тела, тада се прибегава спровођењу мера скромнијег обима, али тако да њихово спровођење доведе до превазилажења доминантног проблема. Као један од најчешћих проблема јавља се немогућност миграторног кретања риба узводно и низводно дуж водотока током појединих периода њиховог животног циклуса. Основни узрок је пресецање/преграђивање корита водотока услед формирања вештачких акумулација, или потребе регулације протицаја у случају каналске мреже.

Проверено функционално решење у овом случају јесте изградња рибљих стаза. Оне представљају изграђене мање токове дуж главног преграђеног тока, којим је омогућена низводна и узводна миграција риба. На слици 103 дат је пример рибље стазе у изградњи на акумулацији Велке Козмаловце у Словачкој.



Слика 103. Изградња рибље стазе (а) на акумулацији изграђеној на реци Хрон, преграђеној уставом (б) (акумулација Велке Козмаловце, Словачка; мај 2019)

Обраштај макрофитском вегетацијом

У стајаћим водама, богатим нутријентима, проблем често представља и обраштај макрофитском вегетацијом. Активне мере заштите се често примењују у заштићеним природним добрима, при чему се улаже и физички напор да би се заштитиле поједине врсте или станишта. У случају обраштаја макрофитском вегетацијом примењује се кошење посебно дизајнираним пловним косачицама (слика 104).



Слика 104. Пловна косачица (Обедска бара, јул 2019)

Екосистем је динамичан по својој природи и бројност једне популације зависи од узајамних интеракција и односа са популацијама других врста. Ова особина је искоришћена и ради спровођења **биолошке контроле** непожељних организама. Биолошка контрола подразумева коришћење других организама, било да су у питању предатори или паразити, ради контроле бројности коровских врста, штеточина или паразита. Биолошка контрола се може спровести на неколико начина: (1) очувањем и заштитом природних непријатеља, (2) увозом и аклиматизацијом предатора и паразита и (3) интервенцијом биолошким агенсима (нпр. микроорганизмима који патогено делују на врсту коју желимо да контролишемо).

9. МОДЕЛИРАЊЕ КВАЛИТЕТА ВОДА⁴

У природним системима, при дејству спољашњих утицаја, у зависности од њиховог карактера и јачине, долази до активације система саморегулације, при чему се процеси усмеравају у правцу поништавања штетног утицаја, како би се систем вратио у првобитно стање. Процес самопречишћавања водних тела управо представља пример њиховог одговора на унето загађење. Судбина загађивача представља резултанту између трансфера маса и кинетичких процеса, а реакција система сразмерна је интензитету загађења. Моделима квалитета вода симулирају се промене концентрације загађивача, док се он креће кроз екосистем. Због комплексности процеса у природи, моделирањем се обично обухвата део хидролошког циклуса и то у зависности од циља истраживања. Ипак, и поред тога не треба занемаривати и остале интеракције. Поред тога, реке представљају природне водене системе и не састоје се само од текуће воде, већ од три одељка: гасне фазе, водене фазе и седимента. С обзиром на то, математички опис таквог система треба да обухвати процесе у сваком одељку, као и интеракције међу тим одељцима.

Фундаментални принципи моделирања квалитета и квантитета воде су:

- Закон о одржању енергије (први закон термодинамике),
- Закон о одржању масе и
- Закон о одржању количине кретања (Први Њутнов закон кретања).

9.1. *Историјски преглед развоја модела квалитета вода*

Кључни фактор при сагледавању квалитета воде водотока чини количина раствореног кисеоника, јер он представља витални фактор опстанка за више акватичне форме. Проблеми везани за ниске концентрације раствореног кисеоника у рекама запажени су пре више од једног века. Утицај његове ниске концентрације у екстремним случајевима узрокује анаеробне услове у обично добро аерисаним речним системима. У том случају, такви водени екосистеми су неуравнотежени и може се јавити помор риба, непријатни мириси, као и друге естетске неугодности.

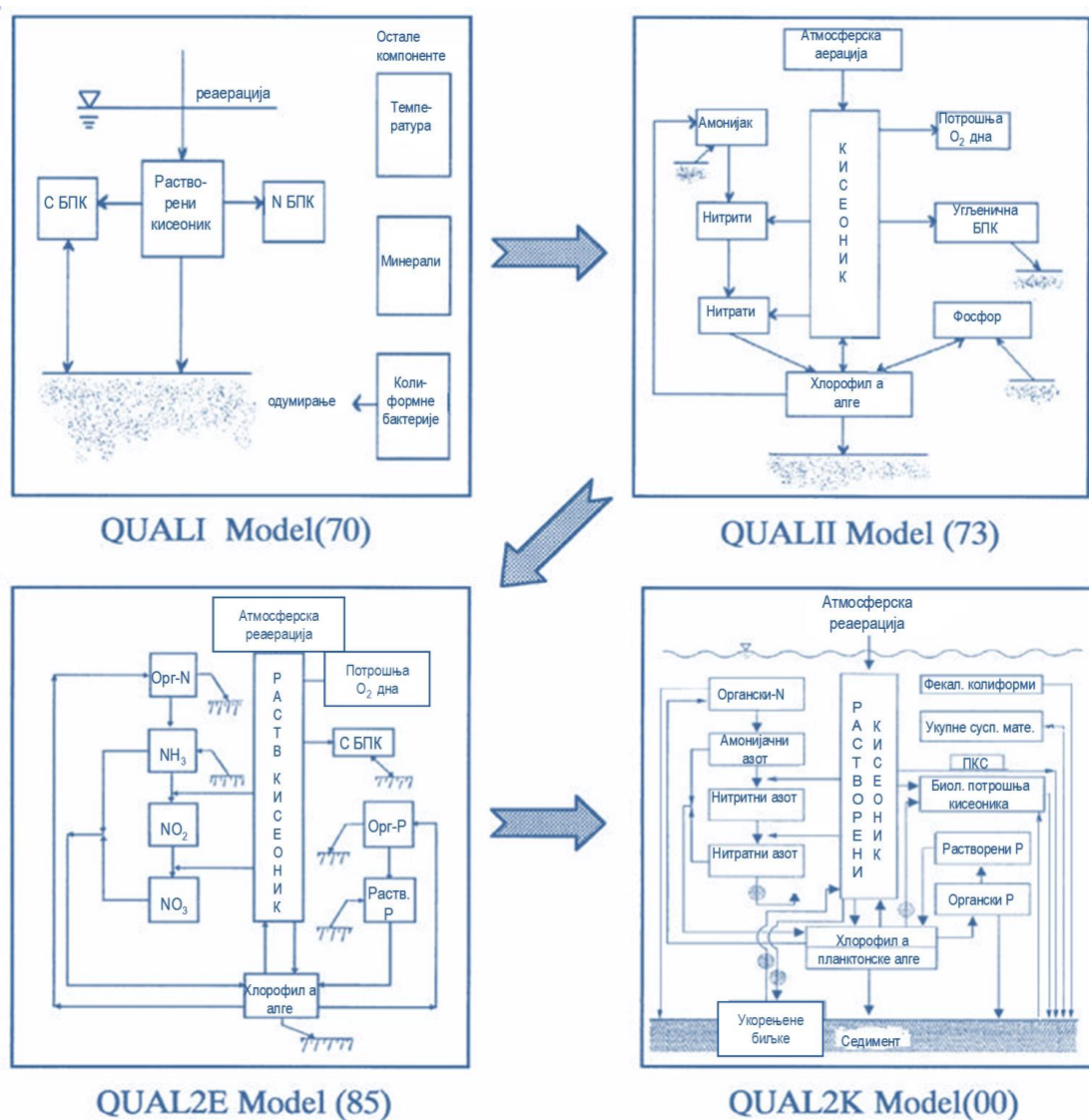
Дуг је историјат коришћења квантитативних техника ради процењивања утицаја загађивача на растворени кисеоник у речним системима. Енглеска Краљевска комисија из 1912. године прва је користила концепт биланса маса квалитета вода да би се одредио сигуран ниво испуштеног отпада у слатководне водотоке, користећи однос фиксног разблажења за испусте ефлуената који се упуштају у водотоке. Њихов приступ био је осмишљен тако да обезбеди довољно разблажење ефлуента, да би се минимизирао утицај концентрације раствореног кисеоника у водопријемнику, али нису узимане у обзир динамика и кинетичке реакције. Тај приступ није био у могућности да даје задовољавајуће резултате изнад уског распона услова. Године 1925. Streeter и Phelps извели су класичну једначину за симулацију раствореног кисеоника и биолошке потрошње кисеоника (БПК) у

⁴ Поглавље 9 је урађено на основу докторске дисертације Ј. Грабић (Grabić, 2012).

рекама. Та једначина чини основу многих модела квалитета воде који су били развијени широм света од тог времена.

Од појаве хидролошких модела (падавина, евапотранспирације, отицаја и др.) на нивоу слива шездесетих година 20. века прошла је готово читава деценија пре него што су прва питања квалитета вода била уврштена у те моделе. Моделирање се фокусирао на транспорт хемијских материја и седимената у сливу. Углавном су се бавили транспортом нутријената, пестицида и ерозијом плодног земљишта са обрадивих површина спирањем и процеђивањем. Пошто ти састојци доспеју до површинске воде, они бивају транспортовани кроз водно тело без било које трансформације.

Развој и постепено усложњавање модела били су у складу са променом схватања о важности појединих елемената водених средина, што се може пратити на примеру развоја модела квалитета воде водотока из породице QUAL (слика 105).



Слика 105. Еволуција модела квалитета воде из породице QUAL (Park, Lee, 2002)

Прва верзија из породице QUAL - QUALI настала је 1970. године и симулирала је утицај раствореног кисеоника, угљеничне (С БПК) и азотне биолошке потрошње кисеоника (N БПК), температуре, колиформних бактерија и растворених

минералних материја. Надаље, 1973. године настаје побољшана верзија – QUALII, допуњена анализом азотних једињења и фосфата, затим хлорофила и водених алги. QUAL2E из 1985. године, укључује у токове кружења органски азот и органски фосфор. Он захтева изванредан ступањ софистицираности при моделирању и стручност од стране корисника. Корисник мора унети више од 100 појединачних улаза, од којих неки захтевају пажљиву процену при прорачунима. QUAL2E садржи и своја ограничења, од којих је најзначајнија немогућност изражавања утицаја конверзије одумрлих алги у БКП. Park и Lee су 2000. године превазишли поменуте недостатке развојем верзије QUAL2K.

У последњих двадесет година, са порастом коришћења компјутера на пољу хидрологије, јавио се изванредан број значајнијих достигнућа при моделирању квалитета вода, а она су резултирала у мноштву модела, који поред поменутог QUAL2K, укључују и SIMCAT, TOMCAT, QUASAR, MIKE-11 и ISIS. Повећано разумевање процеса у водотоцима, као и поштравање законске регулативе у многим земљама, били су подстицај за развијање нових програма за моделирање квалитета вода. Интегрално сагледавање процеса резултирало је развојем модела квалитета вода који се баве симулацијама у великим ушћима, тј. мешовитој зони, затим праћењем сложених процеса на целим сливним подручјима и коначно моделирање водених екосистема. Историјат развоја модела квалитета вода приказан је на слици 106.



Слика 106. Еволуција моделирања квалитета вода (Lung, 2001)

9.2. Дефиниције модела квалитета вода

Као што се из приложеног могло приметити, појам модела квалитета воде може имати више значења, стога су ради појашњења у наставку дате дефиниције модела.

Постоје бројне дефиниције модела квалитета вода, али најједноставнија је да модел представља поједностављену апроксимацију реалног система. Свеобухватна дефиниција била би да модел представља систем једначина, релација и података

добијених мониторингом, пројектован за описивање природних система, за демонстрацију и проверу њиховог понашања под различитим условима у времену уз значајно економисање временом и новцем. Према Сох (2003), „модел квалитета воде” може значити било шта од једноставног емпиријског решења, преко сета једначина биланса маса, до комплексних софтвера.

Поред тога, US EPA (2011) дефинише моделе квалитета вода као оруђа за симулацију кретања падавина и загађивача са површине земљишта кроз цевоводе и каналске мреже, јединице за акумулацију и пречишћавање и коначно до вода реципијената. Оба, и појединачни догађај и континуална симулација, могу се извести на сливу где постоји кишна канализација и природна дренажа, за прогнозирање протицаја, фаза и концентрације загађивача. Сваки модел квалитета воде има своју одређену сврху и посебне карактеристике при симулацијама.

Сходно наведеним дефиницијама и појам моделирања може се објаснити као континуирани процес развијања модела у времену са повећањем доступних информација и знањем о системима симулације, који све прецизније описују стварне процесе.

9.3. Основи моделирања

У природним системима при дејству спољашњих утицаја, у зависности од њиховог карактера и јачине, долази до активације система саморегулације, при чему се процеси усмеравају у правцу анулирања штетног утицаја како би се систем вратио у првобитно стање. Процес самопречишћавања водних тела управо представља пример њиховог одговора на унето загађење. Судбина загађивача представља резултанту између трансфера маса и кинетичких процеса, а реакција система сразмерна је интензитету загађења. Моделима квалитета вода симулирају се промене концентрације загађивача, док се он креће кроз екосистем.

Хидролози користе концептуални модел хидролошког циклуса како би описали природу и везе које се јављају међу најбитнијим депоима, трансформацијама и флуксевима воде у биосфери. У хидролошком циклусу одвијају се многи процеси, као што су: евапорација, падавине (у виду кише, снега, или леда), евапотранспирација, интерцепција, инфилтрација, ток подземне воде и површински отицај. Главни покретач тих флуксева јесте сунчева енергија. Због комплексности процеса у природи, моделирањем се обично обухвата део хидролошког циклуса и то у зависности од циља истраживања. Ипак, и поред тога не треба занемаривати и остале интеракције. Полазну основу за моделирање представља квалитет воде који се жели постићи.

Тренутне једначине за проток флуида и транспорт загађивача су једначина одржања, која описује одржање момента, масе воде, топлотне енергије и масу конституента и једначина континуитета воде. Коришћене технике за решавање основних једначина су аналитичко и нумеричко решавање. Аналитичко решавање је до сада добијано након поједностављивања диференцијалних једначина до нивоа на коме је аналитичко решавање могуће. Нумеричко решавање зависи од типа система једначина. У случају стварања система диференцијалних једначина оне се преводе у алгебарске диференцијалне форме коришћењем једне од најчешћих коначних диференцијалних апроксимација – Рунге-Кута метод и друге. Поједностављивања су у вези са решавањем процеса квалитета вода у времену и простору и нумеричких техника коришћених ради решавања једначина.

Као резултат сваког моделирања јавља се извешан степен несигурности. Све симулације подлежу неодређености. Хидраулички и транспортни параметри и гранични услови никада нису довољно детаљно познати и постојеће дистрибуције загађења су често недовољно схваћене. Несигурност резултата може бити подељена у три опште категорије:

- оне у вези са улазним подацима модела (подаци мониторинга водотока и гео-просторни, нпр. недовољан број мерних места што утиче на прецизност тарирања),
- ограничења у вези са разумевањем процеса у животној средини који утичу на квалитет воде и
- оне у вези са нумеричким и концептуалним потешкоћама које теже да што прецизније прикажу процесе у природи.

Тешко је прецизно квантификовати неодређеност која је у вези са последње две ставке, док се ограничење које настаје због низова улазних података све више побољшава.

9.4. Калибрација, валидација и верификација модела

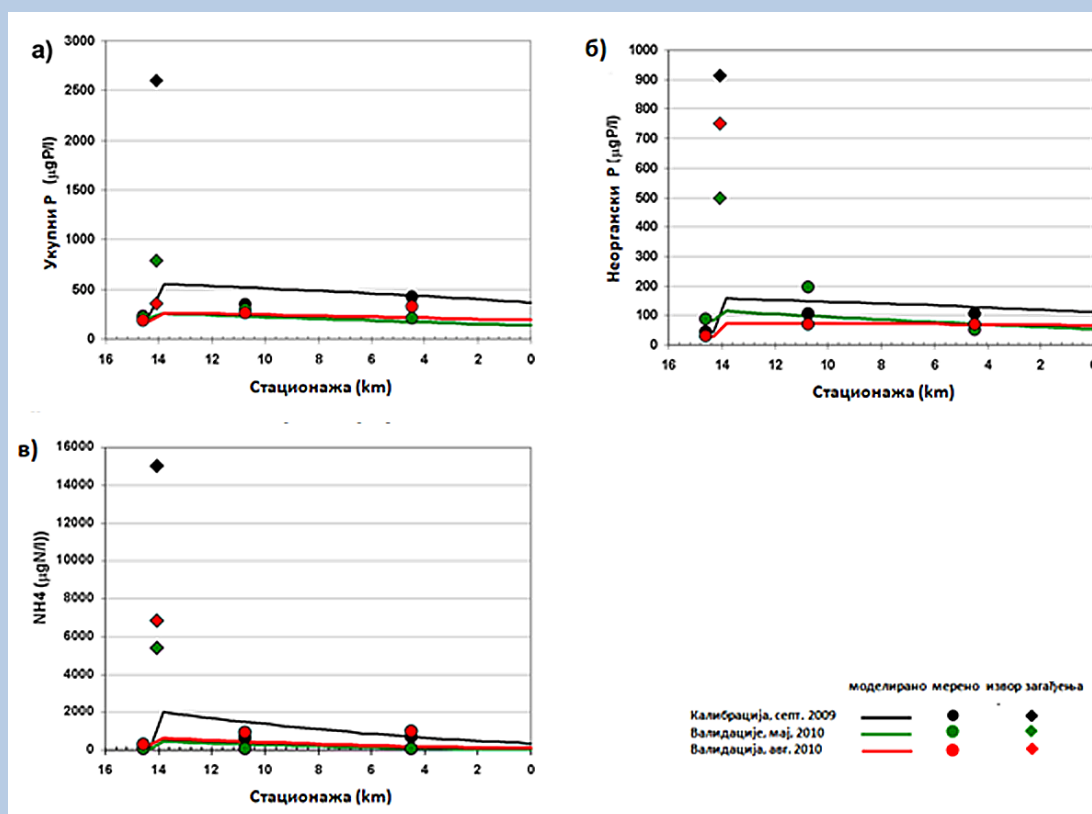
Калибрација (тарирање или еталонирање) модела је један од најкритичнијих и временски најзахтевнијих корака моделирања. Калибрацијом се врши подешавање одређених параметара модела да би се репродуковале реалне вредности са одговарајућом тачношћу, односно излазни резултати калибрисаног модела треба да се са одговарајућом тачношћу слажу са реалним измереним вредностима.

Након калибрације неопходно је извршити валидацију модела. Валидација или вредновање (евалуација, конфирмација или тестирање) је процес процене степена поузданости калибрисаног модела, коришћењем једног или више независних сетова података. Поред термина валидација у употреби је и термин верификација. Према неким изворима ови термини су блиски и користе се када се говори о провери калибрисаног модела, било у случају да се оно врши другим сетом података, или да се доказује ваљаност новог модела. Исто примећује и Rykiel (1996), који тврди да су термини „верификација и валидација у свакодневном говору синоними”, тако да им се у сврху моделирања мора придодати посебно значење. По истом аутору „верификација представља доказивање да је формализам моделирања исправан”, док валидација означава „потврђивање да модел у домену применљивости поседује задовољавајући распон прецизности који је у складу са његовом захтеваном применом.” Другим речима, валидација модела означава тестирање модела да би се установило колико се добро прогнозирање модела поклапа са независним низом података мерења.

У наставку је дат пример (пример 1) калибрације и валидације модела за деоницу канала Србобран–Врбас, Основне каналске мреже хидросистема Дунав–Тиса–Дунав (ОКМ ХС ДТД).

Пример 1: Калибрације и валидације модела за деоницу канала ОКМ ДТД Србобран–Врбас

С обиром да су као најзначајнији параметри, који доприносе загађењу воде на деоници која је била предмет истраживања, идентификовани азотни и фосфорни облици, при калибрацији модела пажња је усмерена посебно на њих. На слици 107 приказане су калибрација и валидација модела за амонијачни азот, укупни амонијум и неоргански Р.



Слика 107. Калибрација и валидација модела квалитета воде у програму QUAL2K за неоргански Р, укупни Р и укупни амонијак ($\text{NH}_4\text{-N}$), дуж истраживане деонице канала Бечеј–Богојево

9.5. Сврха моделирања квалитета вода

Сврха моделирања квалитета вода треба да буде јасна и добро дефинисана да би се постигла максимална једноставност, али и детаљна при описивању процеса природних система. Сврха моделирања може се подвести под једну од следећих категорија:

- У научном смислу – сврха је да се развије јасан концептуални модел заснован на свим доступним подацима и да пружи потпуније разумевање о режиму транспорта загађивача: да тестира хипотезе, да обезбеди да оне буду у складу

са важећим принципима и запажањима и да квантификује доминантни процес.

- У ширем смислу, економском, еколошком и др., будућа дозвољена прерасподела загађења по загађивачима мора бити прорачуната, или да задовољи постојеће услове квалитета воде, или контроле загађивача у смислу потребе за изградњом уређаја за пречишћавање, или измене временски дозвољеног упуштања отпадних вода у зависности од годишњег режима водотока.
- При процени утицаја – отклањању последица, сврха је често у вези са напорима да се одреди одговорност, или процени изложеност, да се реконструише историја транспорта загађења, да се успоставе временски режими у оквиру којих је догађај могао да се одигра, или који загађивачи би могли да достигну одређене нивое у појединим областима.

Основе моделирања обухватају избор компјутерског програма који ће се користити, начин дискретизације, захтеван ниво прецизности да би се модел тарирао и анализу одговарајућих претпоставки. Једноставни модели су увек пожељнији од комплексних све док приказују суштину проблема. Веома комплексни модели не само да повећавају време прорачуна и цену, већ уводе и додатне неодређености уколико нису на располагању детаљни подаци.

Комплексан приступ решавању захтевао је развој комплекснијих оруђа која би се користила при обради бројних улазних података и при успостављању узрочно-последичних веза међу различитим чиниоцима. Зато су савремени приступи процене утицаја различитих фактора на животну средину, а тиме и водних ресурса, базирани на примени модела квалитета воде. Коришћење тих модела у великој мери доприноси свеобухватнијем сагледавању просеца у водотокима. Они се могу користити као допунско, али и као основно оруђе при анализи резултата мониторинга, као и да би се употпунили подаци, нпр. у случајевима када је мерно место неприступачно. Посебан значај модела квалитета воде је у њиховом коришћењу у прогностичке сврхе. Хидролошки модели квалитета воде сливова средње величине нашли су своју примену као помоћно средство при доношењу одлука у управљању рекама и сливовима према Оквирној директиви о водама и концепту TMDL.

Према концепту TMDL се за сваки водоток, чији је квалитет угрожен, захтева утврђивање укупног максималног дневног оптерећења (енгл. *Total Maximum Daily Load* – TMDL) загађењем које свако водно тело може да прими, а да при томе прописани стандарди квалитета воде не буду нарушени. Бројни су компјутерски програми који симулирају сценарије за различите хидролошке системе и величине водених површина. При овоме посебно се води рачуна о параметрима загађивача, карактеристикама режима вода самих водотока и њиховој моћи самопречишћавања. Позитивна искуства, приликом имплементирања различитих модела квалитета воде у законску регулативу, допринела су прецизнијем одређивању количине дозвољених загађујућих материја које се испуштају у водотоке.

9.6. Поделе модела квалитета вода

Поље модела квалитета вода је веома широко и укључује различите врсте модела у зависности од низа критеријума. Неки од најбитнијих елемената за класификацију јесу ниво улазних и излазних информација, комплексност догађаја и карактер водног тела које се моделира, коришћених математичких метода и типова основних једначина. Поред тога, често се узимају у обзир циљ и структура система моделирања и друго. Због свега наведеног није могуће дати једноставну класификацију.

Ипак, постоје тенденције да се они групишу на основу појединих критеријума, а најчешћи начини груписања су (Сох, 2003):

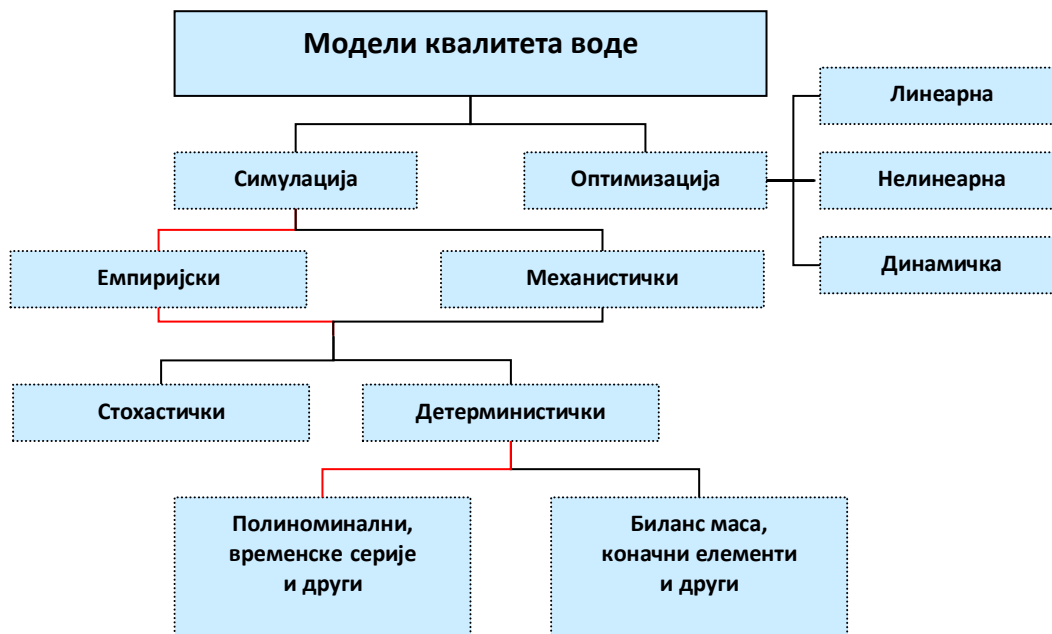
- окружење које се моделира,
- сврха модела,
- број димензија које се разматрају,
- начин описа процеса,
- начин добијања података (дискретним мерењима или статистичким дистрибуцијама),
- да ли је привремена варијабилност узета у обзир.

На сликама 108 и 109 дате су најчешће поделе симулационих техника и модела квалитета вода. Модели који се баве оптимизацијом чине групу математичких техника које се користе у циљу добијања оптималних решења у случајевима у којима се јавља прерасподела оптерећења између више загађивача. Модели који врше симулацију процеса у водним телима обухватају све оне који приказују промене квалитета воде користећи неку математичку форму. Они укључују све типове механистичких модела, у којима су процеси детерминистички приказани, као и статистичке моделе.

На основу окружења које се моделира постоје модели водотока, тј. река и канала, затим језера и ушћа. С обзиром на сврху срећу се хидрохемијски модели који су пројектовани да моделирају хемијске и биолошке процесе и основна намена им је да приказују хемизам воде. Модели мешовите зоне симулирају концентрације појединих материја које се распростиру одмах низводно или у граничном појасу испушта у речно тело.

Најчешћа примена модела времена течења је да обезбеди кориснику увид о времену које је потребно да би загађење стигло низводно од акцидента. То су веома једноставни модели квалитета воде и укључују само конзервативни опис кретања раствора. Поделе базиране на сврси често могу бити субјективне и обезбеђују информацију само о могућности примене модела у одређеним условима, али не истичу ограничења модела.

Димензије које су симулиране појединачним моделима обезбеђују информације о комплексности модела, као и о њиховој погодности за поједине примене. Бездимензиони (0Д) модел једноставно приказује запремину и концентрацију раствора, уз претпоставку да је вода у водном телу у потпуности и у истом тренутку измешана. Овакви модели не указују на процесе дисперзије загађивача у било ком правцу.



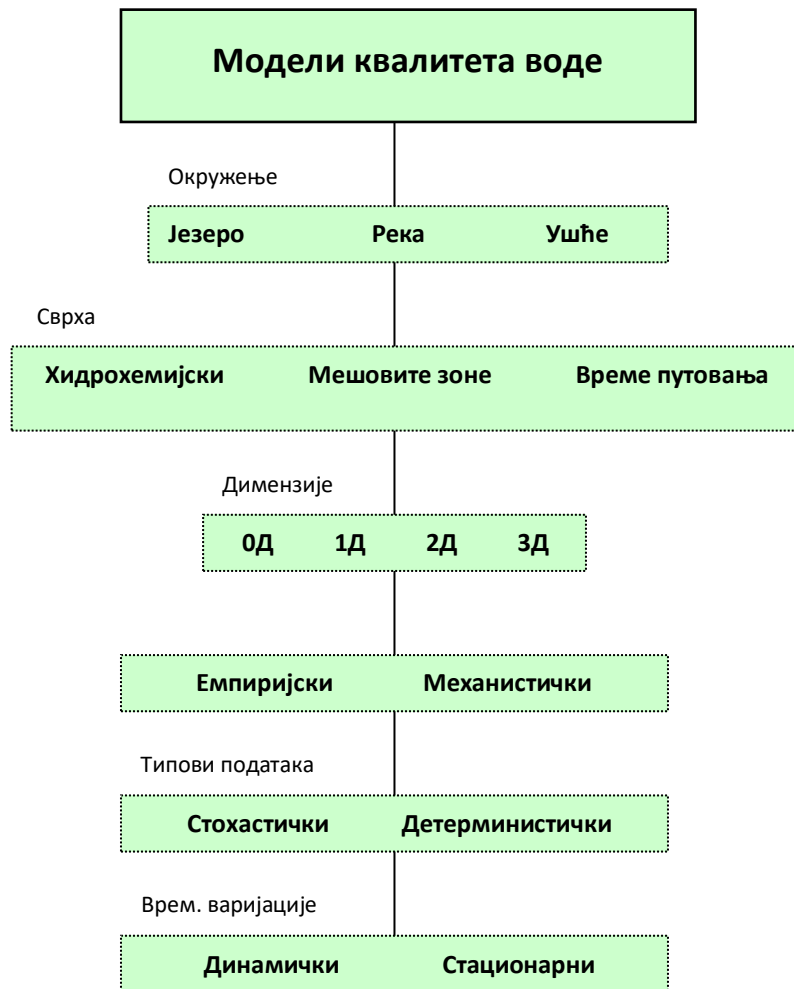
Слика 108. Класификација симулационих техника (James, 1993)

Једнодимензиони модел (1Д) симулира ток воде и адвекцију и дисперзију раствора у само једном правцу, нпр. низводно у моделу реке. У овом случају претпоставља се да је вода у водотоку у потпуности и у истом тренутку измешана целом дубином и ширином. На тај начин најчешће се симулирају процеси који се одвијају у рекама и каналима. Усложњавањем једнодимензионог модела настао је дводимензиони модел (2Д), који или симулира дисперзију по ширини тока, или по његовој дубини, али не и обе заједно. Модел који даје просечне вредности за ширину најчешће се користи при симулацији термалне стратификације водних тела на великој дубини, или када је могуће да постоји слој соли и слатке воде на различитим дубинама у ушћу. Модели који се баве симулацијама на основу дубине обично су од користи када је река широка и плитка, тако да је стратификација ограничена, али се јавља дисперзија по ширини реке. Најкомплекснији модели су тродимензиони модели (3Д), који прорачунавају ток воде и транспорт раствора у свим правцима. Ти модели су веома софистицирани и обично се примењују на великим ушћима.

Начин на који су описани утицаји различитих параметара у моделу су обично подељени у две широке категорије – емпиријске и механистичке, али то није сасвим јасно разграничено, јер механистички описи обично садрже и емпиријски изведене компоненте.

Емпиријски модели не симулирају хидрохемијске процесе, већ су улази директно у вези са њиховим излазима преко једне или више веза које су експериментално установљене. Због тога су неки емпиријски модели окарактерисани као модели *црне кутије*, јер не теже да прикажу ниједан механизам. Најчешће су емпиријски модели у форми регресивних веза и корисни су за истраживања узрочно-последичних зависности ако се користе у формалном статистичком окружењу. Они су посебно корисни јер такви модели могу да изађу на крај са већим бројем података уз минималне прорачуне, али битно је схватити да они могу да се користе са сигурношћу само у случају када су коришћени подаци у распону који их и параметришу. Према томе, емпиријски модел никада не може бити коришћен са сигурношћу да би прогнозирао дугорочне промене, јер се претпоставља да модел

поседује могућност прогнозе уколико је базиран на физичким и хемијским принципима.



Слика 109. Поделе модела квалитета вода (Сох, 2003)

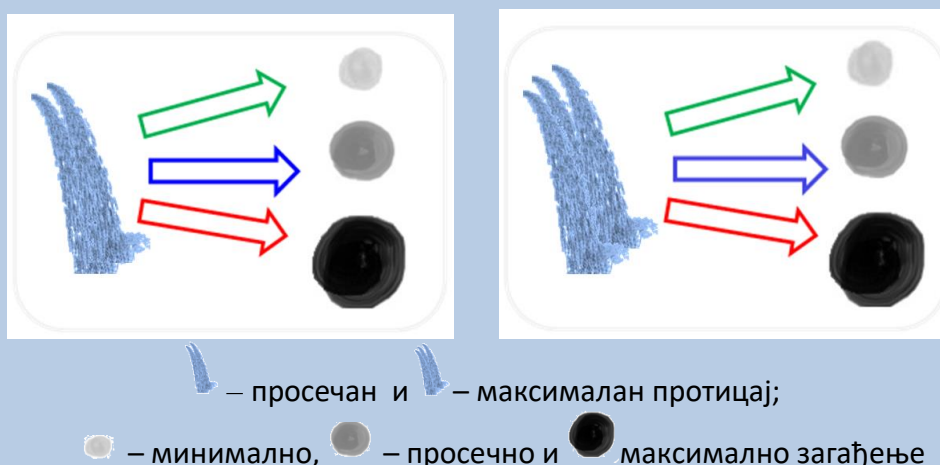
Механистички модели квалитета воде су модели који уз помоћ математичких оруђа изражавају механизме процеса који изазивају промене квалитета воде и воде успостављању односа узрока и последице. Они симулирају промене протока и квалитета воде дуж реке (представљене појединачним деоницама или ретенционим деловима), покушавајући да представе процесе који се одвијају у реалним условима. Трансфер воде и раствора између деоница заснива се на принципу одржања маса и у оквиру сваке деонице у водотоку може бити додатних улива, излива и трансформације параметара. Брзина којом се ти процеси одвијају зависи од броја физичких, хемијских и биолошких параметара, при чему се динамика процеса може извести из података мерења. Иако су такви модели веома комплексни и захтевају много података мерења ради калибрације (пример 2), циљ је да се такви модели могу применити на друге водотоке и користити ради процене утицаја промене на основу симулација. Нажалост, циљ за елиминисањем калибрације није реализован у пракси и механистички модели увек захтевају изванредан степен калибрације. Уколико се нове калибрације захтевају сваки пут када се промена догоди у систему, као што је то случај са емпиријским моделима, механистички модели ће бити једино применљиви у оквиру почетних и граничних услова и распона (низа података) за које су

калибрисани. Међутим, уколико се покаже да модел може након једне калибрације да производи поуздане излазе за низ ситуација и услова, у том случају се може дискутовати о његовој примени у прогностичке сврхе.

Пример 2: Осмишљавање симулација на калибрисаном моделу

Након калибрације модела и валидације додатним низовима података модел је био припремљен за вршење симулација, како би се показали могући сценарији при различитим протоцима и концентрацијама загађења. Ради лакшег одвијања симулација цео модел је сведен на две врсте променљивих: промене квалитета воде и промене протицаја. Што се квалитета воде тиче, коришћена је база података катастра загађивача ЈКП „Вода Водводине”, подаци о свим загађивачима су сумирани и добијене су вредности за минимално, просечно и максимално загађење за низ параметара квалитета воде. Што се протицаја тиче, одређен је максимални и просечан протицај према подацима о протицајима на устави „Куцура”, на каналу Бечеј–Богојево пре Триангла. Минимални протицај је занемарен. Наиме, у питању је био изостанак протицаја ($Q = 0 \text{ m}^3/\text{s}$), јер је у таквим условима немогуће вршити симулације, пошто модел ради само при постојању протока. У складу са поменутим, осмишљено је шест сценарија за симулације у којима су комбиновани просечни и максимални протицај и три различита нивоа загађења (слика 110):

- **Симулација 1** – Просечан протицај у каналу и минимално оптерећење загађујућим материјама
- **Симулација 2** – Просечан протицај и средње оптерећење
- **Симулација 3** – Просечан протицај и максимално оптерећење
- **Симулација 4** – Максималан протицај и минимално оптерећење
- **Симулација 5** – Максималан протицај и средње оптерећење
- **Симулација 6** – Максималан протицај и максимално оптерећење



Слика 110. Могуће комбиновање протицаја и концентрације загађења ради формирања симулација

Даља подела модела је начињена између стохастичких и детерминистичких модела. Детерминистички модели користе фиксне улазне променљиве и постоји предодређена веза између унетих улаза од стране корисника и излазних променљивих. Прорачунавање помоћу таквих модела подразумева да су улазне и излазне променљиве фиксне (нпр. не подлежу грешкама), па ће тиме детерминистички модел увек давати исте излазе за исте улазе. Термин стохастички користи се да би описао неколико типова модела и често се користи са техникама „Монте Карло”. Најчешће се модел описује као стохастички уколико се користи више пута применом различитих променљивих (као што су гранични услови или параметри) за сваку примену која је одабрана из дефинисане статистичке дистрибуције и при томе даје излазе такође у облику статистичке дистрибуције.

Динамички модели су најсложенији модели, јер симулирају и просторну и временску променљивост. Улазни подаци и параметри модела мењају се током времена, као и излази модела.

Како примећује Сох (2003), терминологија коришћена да би се описали модели квалитета вода може бити збуњујућа и различити аутори могу користити исти термин да би описали различите технике. Даље усложњавање произлази из дефиниција које нису искључиве, па тиме модел може бити и стохастички и детерминистички уколико пружа могућност коришћења у више од једног „модула”. На пример, детерминистички и механистички модел може описивати хемизам кисеоника у реци кроз серију трансформација и измена укључујући фотосинтезу, дисање, процесе у седименту и нитрификацију амонијака, атмосферску реакцију и оксидацију и биолошку деградацију органске материје, или може описивати као само две првостепене константе, представљајући неограничене захтеве за кисеоником и континуирану реаерацију.

9.7. Примери познатих модела квалитета вода

Поље моделирања квалитета вода је веома широко и том проблематиком бави се велики број књига, као што су „Surface water quality modeling” (James, 1993) и „An introduction to water quality modeling” (Chapra, 1997). Поред тога, постоји обимна литература која описује индивидуалне моделе и процесе, али постоји мало упутстава о подесности појединих модела или софтвера за специфичне ситуације или примене (Сох, 2003). Horn et al. (2004) су дали преглед постојећих модела, њихове основне карактеристике, као и поређење функционалности појединих модела.

Шездесетих година прошлог века тежиште истраживања било је на одређивању губитка материја са слива. Састојци доспели са сливне површине транспортовани су кроз водно тело без било какве трансформације. Такво тежиште превладало је у већини модела, док су истраживања квалитета воде водотока имала секундаран значај. Ипак, седамдесетих година поједини модели су већ анализирали квалитет воде водотока. Други модели слива, као што су SWAT, ESWAT, или MIKE SHE, узимају у обзир питања квалитета воде, повезујући интерне или екстерне модуле квалитета вода водотокова, који су били развијени одвојено за описивање воде и динамике материје у токовима.

У последњих двадесет година, са порастом коришћења компјутера на пољу хидрологије, јавио се изванредан број значајнијих достигнућа на пољу моделирања квалитета вода, а она су резултирала у мноштву модела укључујући: SIMCAT, TOMCAT, QUAL2E, QUASAR, MIKE-11 и ISIS. Такође, постоји обимна литература која описује индивидуалне моделе и процесе, али постоји мало упутстава о

подесности појединих модела или софтвера за специфичне ситуације или примене. Да би се ствар још више закомпликовала, „модел квалитета воде” може значити било шта од једноставног емпиријског решења, преко сета једначина биланса маса, до комплексних софтвера (Сох, 2003).

Коришћење модела квалитета вода представља веома распрострањену праксу у многим земљама света, посебно Европе и САД. Литература публикована на ову тему је веома разноврсна и броји више од стотину радова објављених широм света, а посебно у последњих пет година, што говори у прилог чињеници да моделирање квалитета вода представља активно поље истраживања (Сох, 2003). Они који се баве регулативом примењују моделирање квалитета вода и као рутинску операцију, али све више и као оруђе за истраживања у планирању побољшања квалитета воде сливова. У Енглеској и Велсу Агенција за заштиту животне средине (енгл. *Environmental Agency* – ЕА) је можда најзначајнији корисник. Модели квалитета вода су у употреби у готово свим програмима где се захтева побољшање, а које спроводи ЕА током протеклих десет година. Стога, коришћење модела квалитета вода вођено је у великој мери законодавством, а у пракси према томе варира у зависности од земље као што варирају и регулаторни оквири (Shanahan et al., 1998). Модели, који су тренутно у употреби од стране ЕА за симулацију вода које нису под утицајем плиме, укључују RQP, SIMCAT, TOMCAT, ISIS, MIKE-11 и QUASAR. Многа од једноставнијих решења које је прихватила ЕА спроводе се коришћењем софтвера RQP, произведених од стране Tony Warn-а. Овај софтвер моделира појединачни испуст коришћењем статистичких техника и обезбеђује кориснику прогнозу утицаја на општу процену квалитета и друге стандарде за било коју дату супстанцу. Пошто је пројектован само за симулацију појединачних испуста, RQP софтвер није погодан за моделирање целе реке. Поједини модели које користи ЕА, као што су MIKE-11 и QUAL2E, такође су у широкој употреби у многим институцијама и у многим другим земљама, али су често модели квалитета воде специфични за једну земљу, институцију, или чак један речни слив. Већина модела који су у широкој употреби пројектовани су да симулирају традиционални сет „санитарних параметара”, као што су БПК, амонијак (NH_4^+) и РК, да би се успоставили критеријуми за ефлуенте пореклом од третираних комуналних вода и других излива органских отпада.

Највећи број радова који се односе на моделирање квалитета вода упућује на Агенцију за заштиту животне средине Сједињених Држава (енгл. *United States Environmental Protection Agency* – USEPA) и модел QUAL2E са извештајима о примени у Америци, Европи, Азији и Аустралији. Широка употреба тог модела без сумње се може повезати са чињеницом да је бесплатно доступан преко интернета заједно са обимном литературом. Његова новија верзија је модел квалитета воде QUAL2K, који је такође бесплатно доступан преко интернета. Ипак, US EPA QUAL2K тренутно представља стандард при моделирању квалитета вода река. Он је начињен тако да одговара регулативи Сједињених Држава, где се узима у обзир прерасподела оптерећења. Поред тога, QUAL2K и слични модели не покривају извештај број практичних проблема, као што су бујичне воде, расуто загађење и нестационарно течење. Поред тога, ограничења при формулацији модела утичу на способност затварања биланса маса, приказа сесилних бактерија и других процеса у бентосу.

Будући да модели имају своја ограничења, многи аутори су прибегли коришћењу упаривања модела, ради добијања прецизније анализе појединих водотока. На пример, Horn et al. (2004) наводе следеће примере:

1. Модел SWAT (Version 96.2) коришћен је заједно са QUAL2E. У наредним верзијама SWAT (Version 98.1 and 99.2) QUAL2E је радио аутоматски у

оквиру модела слива, али последња верзија модела (SWAT2000) допушта корисницима да искључе поједине параметре квалитета воде.

2. SWAT са моделом квалитета вода CE-QUAL-W2 употребљен је у случају контролисања нивоа фосфора за језеро Вако (*Waco*) у сливу реке Боск (*Bosque*) (Тексас, САД). CE-QUAL-W2 користи динамички приступ за симулацију тока воде у подужном и вертикалном правцу.
3. RWQM1 развијен је са циљем да се формулише нови стандардизовани модел, који може бити повезан са постојећим моделима активног муља (Henze et al., 2000).
4. Комерцијални модел MIKE SHE, који је део фамилије рачунарских програма MIKE, може се користити са моделом за хидрауличке прорачуне водотока MIKE11. MIKE11 сам по себи, такође, садржи различите модуле који укључују оне за симулацију адвекције-дисперзије, транспорта седимената и еутрофикације.

Коришћење појединих модела квалитета вода зависи од система који се моделира и законодавства које је на снази у тој земљи. Регулаторна тела теже да користе „испробане и тестиране” моделе који су генерално једноставни, док друге организације (као што су академске институције) често користе моделе да би истраживали више фундаменталне аспекте процеса или транспортне механизме. Ови детаљнији модели су најчешће применљиви на малим површинама, или за поједина сливна подручја и нису погодни за веће групе корисника. Применљивост се може довести у везу са ограничењем података, односно, неопходно је да се подударе комплексност модела са расположивим подацима.

Основна карактеристика већине модела из Европе, који су развијени од стране истраживачких центара, јесте да су они везани за појединачне сливове. Најважнији изузетак је фамилија рачунарских програма MIKE, коју је развио Дански институт за хидраулику (*Danish Hydraulics Institute*). Поред поменуте позната је и фамилија програма SHE (*European Hydrological System* – Европски систем за хидрологију), коју су развијали Институт за хидрологију (УК), француска консултантска фирма SOGREAH и Дански институт за хидраулику. У Енглеској се модел MIKE-11 претежно користи за Управљање урбаним загађењима (*Urban Pollution Management* – UPM). Осим њега, највише коришћени модели у Енглеској су SIMCAT и TOMCAT, који се ретко помињу у литератури, зато што нису коришћени ван Енглеске.

Од свог настанка 2000. године до данас и QUAL2K је заслужио епитет једног од водећих модела, који је у широкој употреби. Fan et al. (2009) одабрали су QUAL2K модел за процењивање квалитета воде оптерећене загађујућим материјама због његове подесности и лаке употребе. Нитрати су моделирани у истраживању спроведеном од стране, док су Ennet et al. (2008) поред нитрата моделирали и амонијум јон, укупан азот, неорганички и укупни фосфор. Према истраживањима Wogah et al. (2006), модел квалитета вода QUAL2K може се применити за прорачун TMDL-а нутријената у водотоцима. Осим тога, модел симулира амонијум јон, али као излаз даје и концентрације нејонизованог амонијака који је доказано штетан по водене организме. Наведена погодност искоришћена је у овом раду код израчунавања концентрације нејонизованог амонијака ради стицања увида у потенцијалну токсичност за рибе.

9.8. Предности коришћења модела

Моделирање има посебно значајну улогу при интегралном управљању сливовима. Коришћење модела квалитета воде је најбржи начин да се:

- симулирају ефекти различитих сценарија на квалитет воде речног басена;
- одаберу решења где и како инвестирати ради побољшања квалитета воде поређењем између различитих потреба за водом одређеног квалитета и опција инвестирања;
- процењују вредности параметара за које постоје ограничени подаци.

Поред тога, предности моделирања се огледају у следећем (Hession, Storm, 2000):

- помаже у разумевању комплексних процеса који се одвијају на нивоу слива;
- попуњава празнине за које не постоје подаци мониторинга;
- идентификује изворе загађења;
- прогнозира одговор система на промене;
- оцењује алтернативе које се намећу при управљању водама.

Институције које се баве водопривредом користе моделе као средства за добијање најбољих решења искоришћавања водних ресурса како на практичном, тако и на социјалном и економском плану. Једноставни модели су увек пожељнији од комплексних, све док одражавају суштину проблема. Веома комплексни модели не само да повећавају време прорачуна и цену, већ уводе и додатне неодређености уколико нису расположиви детаљни подаци.

9.9. Несигурност у примени модела

Предвиђање и управљање квалитетом вода укључује значајан степен несигурности. Нико не може предвидети која оптерећења загађивача ће се појавити у будућности, поготово уколико се ради о расутих загађењима са великих површина. Поред несигурности везаних за мерење достизања стандарда квалитета вода, постоје и несигурности у моделима који се користе у циљу одређивања извора загађења, лоцирања оптерећења загађивача и предвиђања ефективности акција предузетих у циљу постизања стандарда квалитета вода. Доступни модели који помажу управљачима да предвиде утицаје на квалитет вода су релативно једноставни у поређењу са комплексношћу у стварним воденим системима. Ова ограничења и несигурности се морају узети у обзир, јер се одлуке о управљању квалитетом вода заснивају на њиховим резултатима.

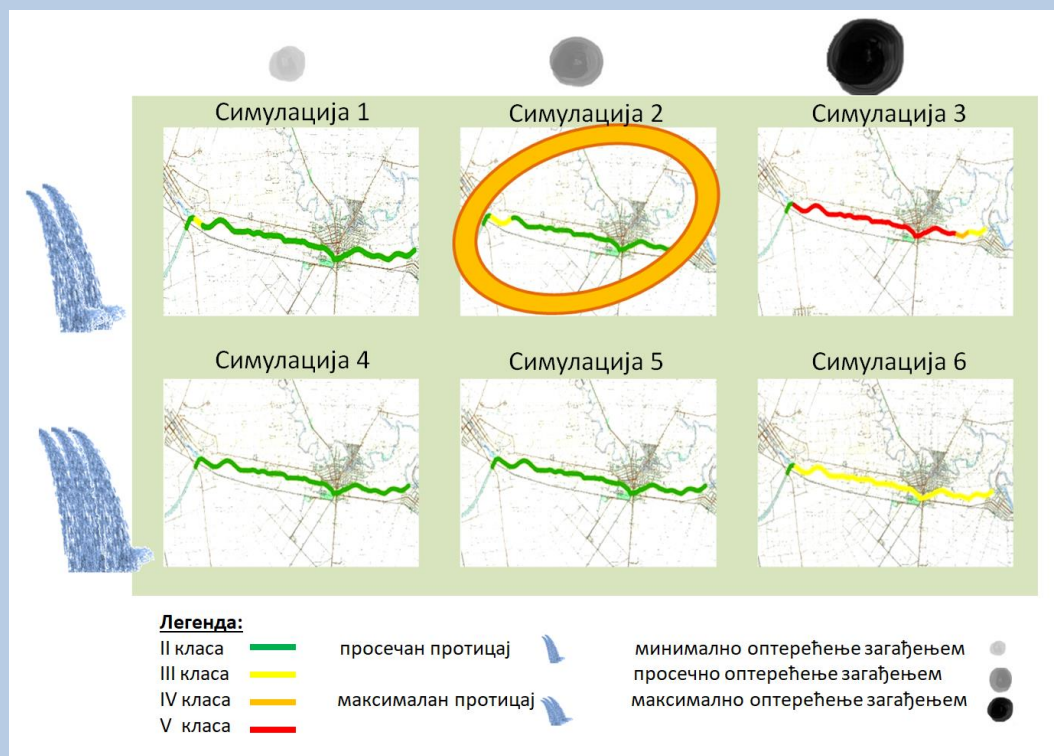
Ради лакшег визуелног уочавања транспорта и трансформација загађења, у новије време, примењује се картирање и приказ резултата симулација коришћењем ГИС (географски информациони системи) апликација. На тај начин могуће је обојити деонице водотока бојом која одговара одређеној класи квалитета воде (пример 3).

Оптерећење воде за поједине параметре се може приказати као маса у јединици времена и представља основу за одређивање максималног дневног оптерећења (нпр. kg/дан). Параметри, који се обично изражавају кроз оптерећење, укључују облике фосфора и азота, БПК, ХПК, суспендоване честице, растворене материје, патогене (нпр. бактерије и фекалне колиформе), пестициде, метале и

сулфате. Температура се може сматрати или као параметар оптерећења (оптерећење температуром), или као параметар који не изазива оптерећење.

Пример 3: Моделирање квалитета воде и приказ у ГИС-у: промене концентрације раствореног кисеоника

На слици 111 приказано је картирање и класирање истраживане деонице канала на основу резултата симулација 1–6 за растворени кисеоник. За симулације 1–2 квалитет воде се задржава само неколико километара низводно од улива оптерећене воде у трећој класи. При симулацији 3, при максималном загађењу и просечном протицају, ситуација је врло неповољна и током већег дела истраживане деонице квалитет воде је у V класи, а тек при крају деонице се поправља и прелази у IV, а затим у III класу воде, која означава умерено загађену воду. Идеалан случај представљају симулације 4 и 5, где при максималном протицају и минималном и просечном оптерећењу загађењем концентрација раствореног кисеоника остаје у другој класи квалитета воде, што означава добар квалитет. Симулација 6 такође указује на неповољнију концентрацију раствореног кисеоника (III класа). На слици 111 је заокружена симулација 2, као случај који се најчешће јавља – просечан протицај и просечна количина загађења, што указује на релативно повољан развој догађаја, пошто се најзагађенија деоница задржава у III класи квалитета воде, и већ након неколико километара се поправља и прелази у II класу квалитета воде.



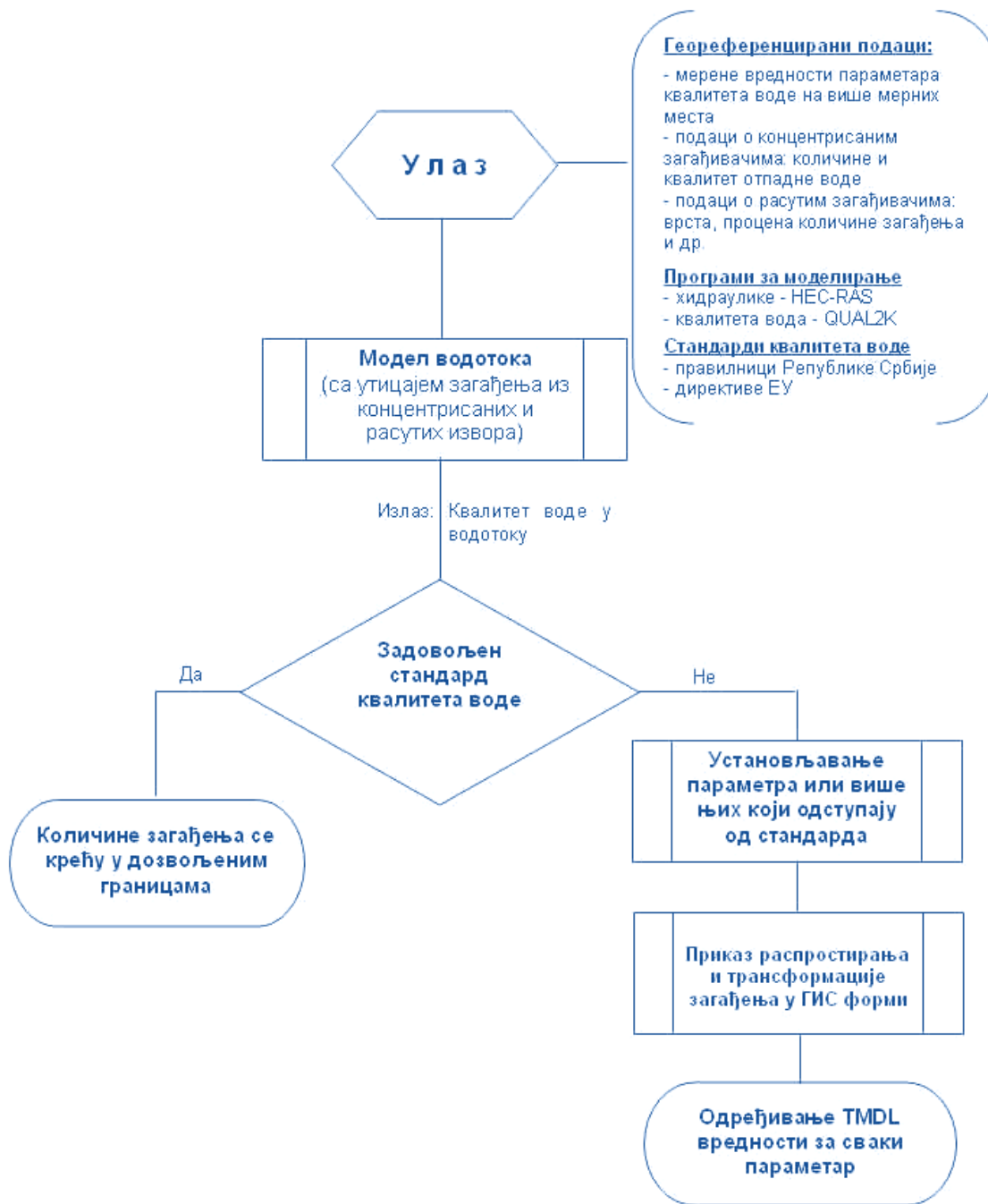
Слика 111. Симулације раствореног кисеоника на истраживаној деоници канала Бечеј–Богојево. Симулација 2 је означена као најчешћи случај.

9.10. Савремени приступи управљању квалитетом вода

Изражена деградација квалитета воде водотока у последњим деценијама двадесетог века пореклом од различитих извора, концентрисаних, али све чешће и расутих извора, довела је до развоја законских прописа чија примена тежи да очува квалитет водотока. Те мере су углавном рестриктивног карактера и најчешће ограничавају испуштање загађујућих материја у водотоке, било да се тиче квалитативног састава или квантитета. Међутим, у многим случајевима наведене мере нису довеле до захтевног квалитета вода, јер је проблем много комплекснији и превазилази границе корита водотока и уског приобаља. Решење наведеног проблема нађено је у увођењу интегралног приступа управљањем квалитета воде, који се често назива и екосистемски приступ, јер обухвата и биотичке и абиотичке елементе водотока, али и приступ сливу, јер сумира све утицаје који делују у датом сливном подручју.

У складу са поменутиим, нови трендови у свету, какви су Оквирна директива о водама ЕУ (Directive, 2000/60/EC) и амерички приступ TMDL, налажу интегрално сагледавање процеса у водотоцима, као и прецизно дефинисање локације и квалитета и квантитета отпадних вода из концентрисаних, али и из расутих извора. Стварање електронских база података о хидролошким приликама у водотоку и катастра загађивача, као и приказ података у ГИС-у, представљају императиве савременог управљања водотоцима. Амерички приступ одређивања TMDL, налаже да је за сваки водоток потребно одредити количину оптерећења загађењем коју, он може да прими и самопречисти користећи природне процесе. У ту сврху користи се низ поступака и оруђа који су приказани на слици 112. Приказани след операција јесте општи и важи за све водотоке, једино је одабир стандарда квалитета воде везан за законску регулативу земље или региона, у нашем случају то је законодавство Републике Србије и препоруке дате у ћеркама директивама Оквирне директиве о водама Европске Уније. Овај приступ обухвата неколико основних елемената:

- **Припремне радње:** Прикупљање података на терену и коришћење доступних база података о квалитету воде и актуелним концентрисаним и расутим загађивачима; одабир програма за хидраулично моделирање и моделирање квалитета воде и одабир стандарда квалитета воде, тј. граничних вредности за прописане класе квалитета воде и одабир софтвера за моделирање квалитета воде.
- **Моделирање квалитета воде:**
 - Калибрација и валидација модела квалитета воде за случај истраживаног водотока
 - Стартовање програма за моделирање и спровођење потребног броја итерација до добијања поклапања излазних резултата модела са задатим вредностима о минималном квалитету воде који се захтева на основу законских норми.
- **Мапирање добијених резултата и приказ у ГИС форми,** ради лакшег визуелног уочавања промена квалитета воде дуж водотока.
- **Одређивање бројчаних вредности за TMDL за сваки параметар квалитета воде** за који је утврђено да је одговоран за погоршање квалитета воде у истраживаном водотоку.



Слика 112. След радњи које је потребно спровести ради одређивања TMDL за појединачан водоток

Примена модела квалитета вода, у земљама у којима су они у широкој употреби, представља део једне шире концепције, где се поред одређивања граничних вредности за поједине ефлуенте налаже спровођење и других мера на нивоу слива ради постизања жељеног квалитета водотока. Планови за одрживим управљањем квалитетом водотока би требало да интегришу абиотичке, биотичке и антропогене чиниоце (социо-економске), уз коришћење модела квалитета воде и ГИС технологија.

Пример 4: Одређивање TMDL вредности на основу резултата моделирања

Симулација квалитета воде рађена је за деоницу канала КЦ-3, од упуштања излива отпадних вода свињогојске фарме „Farmasoop” до улива у канала ОКМ Бездан–Врбас. Примењен је QUAL2K – математички модел распрострањања и трансформације загађења. Након извршене симулације одређене су вредности за укупно максимално дневно оптерећење (Total Maximum Daily Load – TMDL) отпадне воде, односно максимално дозвољене концентрације појединих анализираних параметара. Добијене вредности за TMDL израчунате су за измерени протицај воде $Q=0,296 \text{ m}^3/\text{s}$, мерен узводно од излива отпадне воде, и за количину отпадне воде од $Q=0,047 \text{ m}^3/\text{s}$ (Табела 8).

Табела 8. Укупно максимално дневно оптерећење (TMDL) на деоници канала КЦ-3

Параметар	Чиста вода	Отпадна вода	TMDL	Напомена: за прорачунате вредности TMDL-а
Нитрати $\text{NO}_3\text{-N}$ [mgN/l]	5,29	0,46	0,46	Оптерећење потиче од узводне каналске воде
pH - вредност	8,3	7,9	7,9	I класа
Неорганске суспендоване материје [mg/l]	30	130	30	Са овом вредношћу вода остаје у II класи
ВПК ₅ [mgO ₂ /l]	1,0	150	10	Са овом вредношћу вода остаје у I класи
Растворени кисеоник [mgO ₂ /l]	8,1	0	-	Са вредностима свих параметара TMDL вода остаје у I класи

На основу добијених резултата симулације могу се извести следећи закључци:

- Садржај нитрата и pH вредност, у овом случају првенствено зависи од карактеристике воде изнад уливног места отпадне воде, односно отпадна вода нема значајног утицаја.
- За неорганске суспендоване материје, прорачуната максимално дозвољена концентрација износи 30 mg/l, односно дозвољено је упуштати количину од 121,8 kg/дан.
- За БПК₅, прорачуната максимално дозвољена концентрација износи 10 mgO₂/l, односно дозвољено је упуштати отпадну воду чија је биохемијска потрошња кисеоника 609,12 kgO₂/дан.
- Са вредностима горњих параметара растворени кисеоник, при прорачунатим – TMDL вредностима, каналска вода је у првој класи.

10. ОДРЖИВО УПРАВЉАЊЕ ВОДОТОЦИМА НА ЗАШТИЋЕНИМ ПРИРОДНИМ ДОБРИМА⁵

Утицај човека на пејзаж је толико изражен да данас области где доминира изворна вегетација или водна тела која нису модификована, представљају праву реткост. Примера ради, у АП Војводини је под различитим режимима заштите обухваћено само око 8% површина, те се с правом може рећи да оне представљају острва биодиверзитета у антропогенизованом пејзажу. Ипак, иако су услед прописаних мера заштите ограничене активности човека, ипак она нису у потпуности изолована од утицаја који долазе ван граница заштите. Таква су атмосферска загађења, али и доспевање штетних материја путем површинских или подземних вода. На пример, уколико постоје транзитни водотоци, чији квалитет воде није одговарајући на уласку у подручје под заштитом, то у великој мери може угрозити живи свет. На сличан начин може утицати и спирање водом нутријента у вишку, остатака агрохемикалија и неких тешких метала, са околних обрадивих површина или уливање мелирационих канала у подручје заштите. У сваком случају водни режим има кључну улогу у функционисању и одржавању здравља екосистема који су под заштитом. Осим тога, вода представља и значајан фактор њиховог одрживог развоја, што подразумева проналажење одговарајућег начина управљања, будући да је на већини заштићених подручја присутан антропогени утицај. На жалост, бројне мере спровођене изван заштићених подручја протеклих деценија доводиле су до таквих последица које су се најчешће негативно одражавале на живи свет у оквиру граница заштите. Неке од таквих активности спровођене на територији Војводине су следеће:

- загађивање упуштањем воде неодговарајућег квалитета;
- негативни ефекти постојеће каналске мреже за одводњавање на заштићеним подручјима;
- продубљивање корита постојећих канала измуљивањем;
- ископ нових канала;
- изградња обалоутврда, путева, хидротехничких објеката и др.;
- експлоатација песка и шљунка;
- управљање водостајем у корист привредних субјеката;
- замуљивање услед ерозије обала.

Термин **одрживост** се најчешће користи када се говори о одрживом развоју. Чини се да таквом термину нема места када се говори о заштићеним природним добрима, јер се подразумева да је на заштићеним подручјима све препуштено природи да реши сама. Ипак, у већини случајева се ради о релативно малим површинама на које околна подручја могу имати значајан утицај, а посебно када се говори о водотоцима чији је режим диригован, те је одрживо управљање

⁵ Поглавље је приређено на основу рада ауторки Бошњак и Пиперски (2009). Пиперски је пређашње презиме ауторке овог уџбеника.

неопходно. У последње време све чешће је у употреби примена активних мера заштите, која подразумева предузимање неких активности како би се заштитио постојећи биодиверзитет подручја. Најчешће су то мере које су усмерене на контролу инвазивних биљних и животињских организама. Поред тога, актуелне климатске промене, које изазивају све веће притиске на водне ресурсе, условљавају примену активних мера и у погледу управљања водним режимом. У практичном смислу то се огледа у изналажењу начина да се вода задржи у пределу, било да се ради на проширивању постојећих површинских водних тела, или на пројектовању и конструисању нових малих водених површина, нпр. барица, језераца и сл.

На територији Војводине на заштићеним подручјима водни режим је угрожен у различитој мери. Када се говори о водном режиму мисли се на два аспекта, на квалитет воде и количину воде. У том смислу угроженост се јавља услед нарушене природне динамике воде, било да се јавља њен недостатак или је у питању вода неодговарајућег квалитета. Често се појављују оба проблема истовремено. На пример, у летњим месецима услед природно ниског нивоа воде, малих количина воде, јавља се и погоршање квалитета воде. Мале количине воде, низак водени стуб, и високе температуре лети доводе до дефицита раствореног кисеоника, повишене концентрације суспендованих материја, повишене концентрације амонијака и др.

Док поједина заштићена подручја карактерише проблем трајно лошег водног режима, на другима се периодично јавља неповољно стање, што зависи од хидролошких прилика и годишњег доба. Поред тога, постоје и случајеви када је довољно извршити мале интервенције у циљу постизања одрживог управљања. У општем случају недостатак воде или њен лош квалитет се негативно одражавају на животне заједнице. Такво стање се може одразити на слабење организама и смањење њихове животне способности, чинећи их подложнијим болестима и осетљивијим на утицаје других чинилаца (нпр. недостатак хране), али и до смањивања њихове репродуктивне способности.

10.1. Специјални резерват природе „Стари Бегеј – Царска бара”

Најзначајнију хидролошку вредност за СРП „Стари Бегеј – Царска бара” представља водоток Стари Бегеј од места где је приликом регулације реке Бегеј пресечен меандар, па до уставе којом се регулише упуштање воде из Старог Бегеја у Канал Бегеј и обрнуто. Водни режим резервата условљен је највећим делом водним режимом у рибањацима, који преко изловне јаме испуштају воду у Стари Бегеј, а мањим делом путем атмосферских талога и подземних вода. Царска бара, која се налази уз Стари Бегеј, у контакту је са овим водотоком преко два канала: узводног (тзв. „Турски Бегеј”) и низводног дужине око 30 m.

Лимногеолошким истраживањима изведеним 2005. године (Јовановић, Рудић, 2004) констатована је изразита замуљеност (93,5%) на месту где се улива вода из рибањака „Ечка” у Стари Бегеј, настала услед великог прилива суспендованих честица из рибањака приликом оплићавања језера ради излова рибе. Услед смањења снаге тока после испуштања воде, долази до таложења муља до 11. km, као и на крајњем 6. km испред уставе и улива Старог Бегеја у Канал Бегеј.

Због велике замуљености корита Старог Бегеја (нарочито 15–13 km), ствара се неодговарајући водни режим. Преоптерећеност Старог Бегеја органским материјама, угрожава и Царску бару с обзиром да се она из њега снабдева водом. На основу резултата хемијске анализе воде, оцењено је да испитивани узорак воде у

Царској бари према Уредби о класификацији вода (Сл. гл. СРС бр. 5/68) припада класи IV, а док вода Старог Бегеја и Царске баре по својим сапробиолошким карактеристикама припада II – III класи са тенденцијом сталног погоршања.

Иако је током 2008. године извршено измуљење најкритичнијег дела корита Старог Бегеја, преостаје још измуљење дела канала, тзв. „Турског Бегеја”, који снабдева водом Царску бару, коришћење таложника воде приликом испуштања воде из рибњака током излова, као и праћење свих наведених активности, њихових резултата и утицаја на ЗПД.

10.2. Парк природе „Јегричка”

До радикалних промена у водном режиму Јегричке дошло је након изградње Хидросистема Дунав–Тиса–Дунав шездесетих и седамдесетих година прошлог века, када је Јегричка постала његов интегрални део. Природно стање Јегричке измењено је изградњом канала Мали Стапар–Нови Сад (1871–1875. године), који је испресецао њене узводне краке.

Водни режим је унутар читавог хидросистема диригован и одржава се путем синхронизованог маневрисања регулационим уставама и црпним станицама. На Јегричкој су то: устава Деспотово, преливни праг код Змајева, устава Жабал код Жабља, и црпна станица на самом уливу Јегричке у Тису. Осим тога, саставни део водотока Јегричка испред улива у Тису чини рибњак „Јегричка”. У управљању водним режимом Јегричке, издваја се неколико фаза:

1. У фази снабдевања водом вода се захвата из канала Нови Сад–Савино Село преко устава Деспотово и транспортује корисницима у ниже басене. Количина воде која се захвата одређена је техничким карактеристикама објеката, хидролошком ситуацијом на систему и потребама корисника. Максимална потрошња воде је пројектована на $11 \text{ m}^3/\text{s}$.
2. Фаза одводњавања наступа у периоду са вишком унутрашње воде у сливу. Тада је устава Деспотово притворена или потпуно затворена, а Јегричка прима и одводи само воде са свога слива. Максимални прилив на уливу у Тису може износити до $23 \text{ m}^3/\text{s}$. Евакуација воде у Тису се може одвијати слободним падом или пумпањем.
3. Фаза одбране од поплава наступа када је ниво воде у реци Тиса на уливу Јегричке код Жабља виши од нивоа воде у водотоку Јегричка. Тада се затвара устава Деспотово, а вишак воде се препумпава помоћу црпне станице Жабал капацитета $16 \text{ m}^3/\text{s}$.
4. Фаза излова рибе у рибњаку „Јегричка” траје у периоду од средине октобра до децембра када се врши годишњи излов у рибњаку и тада се водни режим прилагођава захтевима корисника.

Код последње наведене фазе се најчешће јавља проблем, јер се испуњавајући захтеве привредних корисника, односно рибњака, током дужег временског периода занемарују основне потребе за минималном количином воде у узводном делу водотока. Поред тога, не треба занемарити квалитет воде, на који у највећој мери утичу отпадне воде из насеља уз Јегричку и насеља која су каналима повезана са Јегричком, али и расуто загађење са пољопривредног земљишта у окружењу.

10.3. Парк природе „Палић” и Специјални резерват природе „Лудашко језеро”

Северни део Бачке се у прошлости одликовао постојањем бројних сталних и привремених водотока, који су се због малог нагиба терена пружали у облику вијугавих мочвара и редовно се исушивали у летњем периоду. Пре регулације водотокова, влажна подручја су била коришћена као кошанице или пашњаци.

На додиру леса и песка настала су бројна језера од којих и Палићко, Крваво, Слано и Лудашко језеро. Палићко, Крваво и Слано су била плитка слатинска језера, као и јужни део Лудашког језера који је такође био сланог карактера. Пре урбанизације, вода Келебијског језера и све површинске воде уливале су се у **Палићко језеро** преко Јоси баре, Млаке и плитког Александровачког рита. Развојем града Суботице оптерећење отпадним водама је деградирало језеро што је захтевало санацију у другој половини седамдестеих година прошлог века. За време санације Палићког језера ископан је нови канал, који је отпадне воде града Суботице одводио у Лудашко језеро. Као последица тога, данас трећину корита Лудашког језера испуњава муљ. Палићко језеро је постало вештачки екосистем еутрофног карактера (слика 113), којим се плански управља у циљу усаглашавања функције пријемника воде са градског пречистача и очувања традиционалне туристичке улоге. Дно језера је релативно замуљено, а дубина се креће око 1,5–2 m. Пољопривредне површине се пружају све до језера, због чега је изворна вегетација опстала само на малим површинама.



Слика 113. Изражени еутрофни процеси у води Палићког језера. Поред карактеристичне зелене боје воде, на површини се могу наћи скраме алги, остаци биљног и животињског порекла (а), пена (б) и уинули организми (в) (а–в Палићко језеро; јун 2021)

Постизање задовољавајуће доброг квалитета воде Палићког језера је веома захтеван процес и постепено се спроводи, а циљ је да се екосистем постепено враћа у равнотежу. Поступак је комплексан и захтева више активности које би требало симултано спроводити елиминишући узрок – превелику количину нутријената. У складу са тим потребно је **обезбедити ниске концентрације нутријената у језеру. Овај циљ се може постићи кроз следеће три мере:**

1. Пошто највећи део воде у језеру обезбеђује излив из пречистача отпадних вода, квалитету ефлуента се поклања посебна пажња. Од 2009. године постројење за третман отпадних вода је надограђено, како би се обезбедило

да након пречишћавања вода буде у складу са захтевима Директиве ЕУ о урбаним отпадним водама (Directive, 91/271/ЕЕС). Постигнут је циљ да се након пречишћавања обезбеди концентрација укупног фосфора нижа од 1,0 mg/l. Ипак, како је ово основни прилив воде у језеро потребно је спустити концентрацију укупног фосфора на око 0,5 mg/l, да би се избегао развој еутрофних процеса. Решење се види у даљем унапређењу процеса пречишћавања отпадних вода.

2. У насељу Палић нису сва домаћинства прикључена на канализациону мрежу, већ поседују септичке јаме. Ова решења нису најсигурнија, пошто већина септичких јама нису водонепропусне, тако да отпадна вода долази у контакт са подземном, а одатле досеже до Палићког језера. Као решење се види прикључивање свих домаћинстава на канализацију.
3. Пољопривредне парцеле које досежу до саме обале језера узроковале су површинско спирање седимената, али и расуто загађење путем инфилтрације ђубрива и других агрохемикалија у подземље, а одатле у језеро. Решење: започето је са успостављањем заштитног појаса уз обале, ширине око 20 m сачињеног од траве, жбуња и дрвећа. У тој зони планиран је и прилазни пут и бицикличка стаза.

Поред поменутог, **потребно је спроводити биоманипулацију** изловом непожељних и прекобројних количина алохтоне врсте риба бабушке-сребрног караша (*Carassius auratus gibelio*). Наиме, изловом се износе и нутријенти које је риба својом исхраном унела, те се на тај начин језеро растеређује нутријентата. До сада је у периоду од 2019. до 2022. године укупно изловљено преко 240 kg бабушке (слика 114).



Слика 114. Примена биоманипулације на Палићком језеру кроз излов алохтоне врсте риба – бабушке (*Carassius auratus gibelio*) (www.subotica.com)

Најважнија притока **Лудашког језера** у прошлости је био водоток Киреш, који је био повезан са језером преко свог плавног подручја, а при високим водостајима одводио сувишну воду. Повезаност са Кирешом је била од пресудног значаја за квалитет воде језера. Регулацијом тока Киреша 1958. године, нестаје језеро на поплавном подручју Киреша, а на његовом месту се развијају влажне ливаде. Поплаве Киреша се смањују. Киреш се улива у језеро у свом канализованом кориту и излази из језера преко устава код Носе.

Ниво језера се регулише уставом, са максималном вредношћу на коти 97,57 m у складу са потребама водопривреде. Регулацијом вода 1973. године на целом простору водозавхвата Киреша ствара се каналска мрежа за одводњавање. Ниво

подземне воде на широком плавном подручју званом Переш преко којег је Киреш био повезан са језером, се смањује за 1,5 m, што доводи до изумирања флористичких реткости овог локалитета. На Перешу почиње експлоатација нафте и изграђује се сабирна станица. Изградњом асфалтног пута између Хајдукова и Носе уз обалу језера, на насипу, Переш се физички одваја од језера.

Једини коридор између влажних ливада и језера је канализовано ушће Киреша. Крајем осамдесетих година прошлог века, као резултат успешног одводњавања региона, принос воде Киреша се смањује, а главни извор воде за језеро постаје канал Палић–Лудаш. До почетка деведесетих година XX века језеро је изгубило своју најважнију притоку воде Киреш, њену природну динамику и двојни карактер језерске воде. Тренутно, главни прилив воде обезбеђује канал из Палићког језера, који му доводи делимично пречишћене отпадне воде града Суботице, и непречишћене отпадне воде из све шире канализационе мреже насеља Палић. Живи свет језера је осиромашео. Осетљивији водени организми су ишчезли, или су се повукли у део Киреша узводно од језера. Загушеност муљем и вештачки одржавани високи водостај узроковао је одумирање тршњака у северном делу и његово ширење у јужном (слика 115), као и губљење заслањеног карактера воде.



Слика 115. Јужни део Лудашког језера (јул 2017)

10.4. Парк природе „Зобнатица“

Данашња Криваја је канализовани водоток са знатно измењеним особинама у односу на некадашње природно стање. Подаци о природним хидролошким карактеристикама, који потичу из архивских докумената и карата указују да се у прошлости количина воде у водотоку Криваја мењала у функцији падавина, са знатним разликама између влажних и сувих година. На основу расположивих података можемо предпоставити да је корито Криваје било плитко и покривено мочварном вегетацијом. Количина воде је показивала знатне сезонске осцилације тако да су у летњем периоду само дубљи делови корита били под водом. Од друге половине XIX века започело се са бушењем артеских бунара у насељима и на пашњацима у самој долини. Стални проток воде из бунара је повећавао количину

воде у Криваји. Током друге половине XX века у свим долинама су ископани канали за одводњавање што је омогућило преоравање долињских ливада и убрзало смањење степских остатака на падинама. Развојем привреде и изградњом канализације у насељима Криваја је постала пријемник непречишћених отпадних вода.

Стварањем Зобнатичке акумулације стање дела долине Криваје је у потпуности измењено. Дубина насталог језера је знатно већа од плитких степских језера региона. Већина животних заједница вештачког језера не може да се сматра аутохтоним за уже подручје природног добра. Развој мочварне вегетације омогућен је само у приобалним деловима акумулације. Наводњавање из акумулације узрокује појачане осцилације: кота прелива је 98,00 m, а утврђени биолошки минимум је на коти од 96,00 m, после чега није дозвољено црпљење воде. Велике осцилације делују неповољно на формирање појаса мочварне вегетације.

Северно од насипа пута за Карађорђево акумулација је знатно плића. Под утицајем акумулације долина је замочварена све до границе Општине Суботица. Задржавање воде у долини је омогућило обнављање и ширење малих остатака некадашње мочварне вегетације.

10.5. Специјални резерват природе „Обедска бара”

Ово заштићено добро представља најстарију територију стављену под заштиту на просторима које данас обухвата наша земља, пошто заштита датира из 1874. године.

Уже подручје Обедске баре представља одсечен меандар реке Саве, а везу између реке Саве и Обедске баре чини канал Вок кроз који се, у време високог водостаја Саве, пуни Обедска бара, а у време ниског водостаја из ње вода одводи у Саву. У сушном периоду меандар остаје ван хидрографске функције. Због засипања и зарастања баре, површина се мења. Обедска бара је на западу преко баре Ревенице повезана са низом других бара, а на истоку каналом Вок са коритом Саве. Корито баре је муљевито и замочварено, зарасло у трску и траву. Дубљи делови баре имају воде током целе године и називају се **окнима** (слика 116). Обедска бара се снабдева водом притицањем подземних вода са лесне терасе, површинским сливањем атмосферских вода са околног вишег земљишта и притицањем воде из реке Саве за време високих водостаја. Преливање воде из Саве врши се прво у западне делове у низ бара између Грабоваца и Обрежа чије се воде преко Ревенице преливају у Обедску бару и кроз канал Дубока Думача, ископан према кориту реке. У исто време, у источни део баре продире вода кроз канал Вок. Обедска бара воду губи подземно за време ниских водостаја реке Саве, а одводњава се каналом Вок. За време сушних година окна потпуно пресуше.



Слика 116. Обедска бара – Крстоношића окно које никада не пресушује током године, са ободима обраслим трском и врбом (јул 2018)

10.6. Национални парк „Фрушка Гора”

Брдско-планинске пределе углавном карактерише мноштво водотока, са сталним или повременим течењем. Тако и масив Фрушке горе обилује водом и до сада је регистровано преко 80 водотока. Њихова величина и значај варирају, од већих речних токова са разгранатом мрежом притока, до мањих кратких потока без притока. Количина воде у њима варира током године, а највеће протицаје дотижу у пролеће, што је типичан образац за бујичне водотоке. Морфологија терена и разлике у нагибу северних и јужних падина одражавају се и на хидролошке карактеристике водотока. Наиме, водотоци северних падина су краћи, нагиб је стрмији и непосредно се уливају у Дунав. Насупрот њима, водотоци на јужним падинама су дужи, падови су мањи, режим течења је мирнији и гравитирају према Сави. Код поменутих водотока, при ниским водостајима у средњим и доњим деловима тока је отицање веома споро. Из тог разлога, вода се задржава и формира баре и стално замочварене зоне, нпр. код потока какви су Мутаљ, Борковачки, Нештински и Манђелоски поток, затим Чалме, Шицина и др. Средњи и доњи делови водотока јужних падина углавном су модификовани и врше функцију мелиорационих канала. Они протичу кроз Равни Срема и дренирају подручје са мање или више успеха. Током године, највећи број водотока има сталну воду, али су те количине променљиве. Нису ретки ни случајеви понирања, нпр. код потока Мутаљ, Санча, Чесмин До, Шљивар До, Липик, Врбара и др. С обзиром на бујични карактер водотока, а како би се извршила заштита од таквих вода, на Фрушкој гори изграђене су многе акумулације. Поред примарне улоге, одбране од бујичних вода, акумулације имају и бројне друге улоге, нпр. акумулисање воде ради наводњавања пољопривредних култура, рекреације и туризма, рибогојства, гушчарства, индустрије итд.

На жалост, у великом броју случајева, управљање акумулацијама данас је препуштено случају, а већина акумулација није никад напунила свој корисни акумулациони простор. Најчешћи разлози виде се у лошој процени биланса вода

при пројектовању, или непланском испуштање воде, у случају када се акумулација користи за рибарство. Осим тога, неке од њих су пројектоване да се пуне из подсистема за снабдевање водом Срема, који још није изграђен. Изградња брана и акумулација, али и других хидротехничких грађевина, као што су уставе, искључиво са инжењерског аспекта, узроковала значајне промене природног хидролошког режима, које се могу окарактерисати чак и као драстичне промене. Неке од негативних модификација водотока су каналисање и фиксирање неприродних облика водотока, одвајање отворених водотока од њихових плавлених површина и др. С обзиром на наведено, јавиле су се негативне последице по животну средину, а одсликале су се, у првом реду, у губитку природних станишта, што је последично довело и до смањења биодиверзитета и биопродукције (Вонаси, 2003).

На готово свим заштићеним подручјима у Војводини водни режим је озбиљно угрожен услед неадекватног управљања. Проблем је комплексан и захтева комплексно сагледавање. Да би се постигло одрживо управљање водним режимом на сваком појединачном заштићеном подручју је потребно спровести систематски мониторинг, а потом приступити изради интегралног плана укључивањем и усклађивањем мишљења стручњака из више дисциплина и институција, као и све заинтересоване стране.

Уколико се установи да је неопходно извршити одређене хидротехничке захвате, применити решења која су што сличнија природним – натуралном уређењу водотока. Поштовање и уврштавање смерница Оквирне директиве о водама ЕУ обавезно би требало применити. Посебно се то односи на примену интегралног планирања на нивоу речних сливова. Коришћење савремених техника, нпр. моделирања квалитета вода, као и примене концепта укупног максималног дозвољеног оптерећења, развијеног од стране Агенције заштити животне средине САД-а, допринеће добијању адекватнијих и поузданијих решења при планирању водног режима на заштићеном подручју. С обзиром да свако заштићено подручје има своје специфичности неопходно је сачинити интегралан план за управљањем сваког добра.

11. ИНТЕГРАЛНО УПРАВЉАЊЕ ВОДАМА

Вода јесте битан чинилац одрживог развоја. Кључна планска јединица је слив, па је исти неопходно користити као основну јединицу простора при планирању и управљању водним ресурсима.

Водени екосистеми су изложени различитим притисцима изазваним људским активностима. У Европској унији сва питања вода покрива Оквирна директива о водама (Directive 2000/60/EC), која успоставља нови законски оквир постављајући захтевне циљеве за квалитетом и заштитом вода и ослањајући се на приступ управљања водом сагледавајући читава сливна подручја. Ова директива обједињује и усклађује спровођење бројних поддиректива (ћерки) директива које се односе на појединачне аспекте коришћења воде. Новина у односу на претходне приступе је у томе што се захтева не само добар хемијски статус (који обухвата физичко-хемијске параметре квалитета воде), већи и добар еколошки статус (односи се на еколошке елементе квалитета). Поред тога, посебна пажња се поклања и очувању биодиверзитета кроз Директиву о очувању природних станишта дивље флоре и фауне (92/43/ЕЕС) и Директиву о заштити дивљих птица (79/409/ЕЕС). Крајњи циљ према Оквирној директиви о водама јесте постизање доброг квалитета воде свих водних тела на територији земаља чланица.

Сличан приступ по питању ширег разумевања процеса на нивоу водотока, али и слива има и Агенција за заштиту животне средине САД-а. Интегрално сагледавање и решавање питања водних ресурса захтева се према Закону о чистој води из 1972. године допуњеног Секцијом 303 (д). По њему се за сваки водоток, чији је квалитет угрожен, захтева утврђивање укупног максималног дневног оптерећења загађењем (*Total Maximum Daily Load – TMDL*). То је количина оптерећења загађењем које свако водно тело може да прими, а да при томе прописани стандарди квалитета воде не буду нарушени. У овом процесу незаменљиву улогу имају модели квалитета вода при симулацији могућих сценарија међузависности количине оптерећења загађењем и квалитета воде.

Генерално, савремено планирање управљања водама мора бити пре свега засновано на систематском мониторингу. Поред тога, потребно је применити интегрални и мултидисциплинарни приступ, али и обавити консултације са свим корисницима (водопривредне организације, локалне самоуправе, научне институције, али и невладине организације и др.). Према Закону о заштити вода члан 23. „воде се могу користити и оптерећивати, а отпадне воде испуштати у воде уз примену одговарајућег третмана, на начин и до нивоа који не представља опасност за природне процесе или за обнову квалитета и количине воде и који не умањује могућност њиховог вишенаменског коришћења. Заштита и коришћење вода остварује се у оквиру интегралног управљања водама спровођењем мера за очување површинских и подземних вода и њихових резерви, квалитета и количина, као и заштитом корита, обалних подручја и сливова, у складу са посебним законом.”

Концепт натуралног уређења водотока, односно концепт рестаурације раније уређених водотока се у новије време уводи у област уређења водотока. Овај концепт подразумева решења при којима се хидролошко-хидрауличке, псамолошке и морфолошке карактеристике водотока доводе у приближно природно стање, да би се постигао диверзитет биоценоза у основном кориту, рукавцима, спрудовима, ранијим инундацијама и ретензијама. Натуралним уређењем се постиже склад између функционалних, безбедносних, еколошких, естетских, социјалних и других критеријума.

Осим наведеног, неопходно је подстицати усаглашавање закона о пољопривреди, водопривреди, шумарству и другим активностима (лов, риболов, рибарство) када је у питању управљање водним режимом. Садашње хаотично стање отежава, понекад чак и онемогућава, остваривање законом предвиђених циљева заштите природе. Заштита природе захтева решавање хидролошких проблема подручја, али истовремено нуди и потпуно нове могућности водопривреди. Моделирања било које врсте треба усмерити на то да дају стварне процене могућих последица, које ће настати услед предузимања пројектованих хидротехничких и/или других активности.

Литература

- Bartram, J., Ballance, R. (eds) (1996). *Water quality monitoring : a practical guide to the design and implementation of freshwater quality studies and monitoring programs*. World Health Organization & United Nations Environment Programme. E & FN Spon. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/41851>
- Behar, S. (1997). *Testing the Waters: Chemical and Physical Vital Signs of a River*. River Watch Network, Montpelier, VT.
- Belić S., Bezdan A., Salvai, A. (2007). Propusna moć glavnog kanala sistema za odvodnjavanje Plavna. *Melioracije 07: stanje i perspektive*, Poljoprivredni fakultet, Novi Sad, 98–103.
- Bonacci O. (2003). *Ekohidrologija vodnih resursa i otvorenih vodotoka*. Split: Građevinsko-arhitektonski fakultet Sveučilišta, Zagreb: Institut građevinarstva Hrvatske.
- Borah D. K., Yagow G., Saleh A., Barnes P. L., Rosenthal W., Krug E. C., Hauck L. M. (2006). Sediment and nutrient modeling for TMDL development and implementation. *Transactions of the ASABE* 49(4): 967–986.
- Botts, L., B. Krushelnicki. 1988. The Great Lakes: An Environmental Atlas and Resource Book. Available from: Great Lakes National Program Office, U.S. EPA, 230S. Dearborn St., Chicago, IL 60604.
- Bošnjak T., Piperski J. (2009). Održivo upravljanje vodnim režimom na zaštićenim prirodnim dobrima. *Zaštita prirode* 60 (1–2): 107–117.
- Boulton A. J. (2000). River Ecosystem Health Down Under: Assessing Ecological Condition in Riverine Groundwater Zones in Australia. *Ecosystem Health* 6 (2): 108–118.
- Boyacioglu, H., Alpaslan, M. N. (2008). Total maximum daily load (TMDL) based sustainable basin growth and management strategy. *Environmental monitoring and assessment* 146: 411–421.
- Bricker, S.B., C.G. Clement, D.E. Pirhalla, S.P. Orlando, D.R.G. Farrow (1999). National Estuarine Eutrophication Assessment: Effects of Nutrient Enrichment in the Nation's Estuaries. NOAA National Ocean Service Special Projects Office and the National Centers for Coastal Ocean Science. Silver Spring, MD. 71 pp.
- Buchsbaum R. M., Buchsbaum M. (1957). *Basic Ecology*. Pittsburgh, Pennx Boxwood Press.
- Chapra S. C. (1997). *Surface Water-Quality Modeling*, McGraw-Hill International editions, Boston, MA.
- Chapra, S. C., Pelletier, G. J. and Tao, H. (2006). *QUAL2K: A Modeling Framework for Simulating River and Stream Water Quality, Version 2.04: Documentation and Users Manual*, Civil And Environmental Engineering Dept., Tufts University, Medford, MA.
- Committee on Review of Methods for Establishing Instream Flows for Texas Rivers, National Research Council (2005). An Introduction to Instream Flow Science and Programs, in *The science of instream Flow: A Review of the Texas Instream Flow Program* http://www.nap.edu/openbook.php?record_id=11197&page=32
- Council 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 OJ L 327, 22. 12. 2000: 1–73.
- Council Directive 79/409/EEC of 2 April 1979 on the conservation of wild birds, OJ L 103, 25. 4. 1979: 1.
- Council Directive 91/271/EEC of 21 May 1991 concerning urban waste-water treatment. OJ L 135, 30. 5. 1991: 40–52.
- Council Directive 92/43/EEC of 21 May 1992 on the conservation of natural habitats and of wild fauna and flora, OJ L 206, 22. 7. 1992: 0007–0050.
- Cox, B. A. (2003). A review of currently available in-stream water-quality models and their applicability for simulating dissolved oxygen in lowland rivers. *Science of the total environment* 314: 335–377.
- Crouzet P., Leonard J., Nixon S., Rees Y., Parr W., Laffon L., Bøgestrand J., Kristensen P., Lallana C., Izzo G., Bokn T., Back J., Lack T. J. (1999). Nutrients in European Ecosystems, *Environmental assessment report 4*, European Environment Agency, Luxembourg: Office for

- Official Publications of the European Communities, Copenhagen: 77. <http://reports.eea.europa.eu/ENVIASSRP04/en/enviassrp04.pdf>
- de Zwart, D. (1995). Biomonitoring, in *Monitoring Water Quality in the Future*, Vol. 3. Ministry of Housing, Spatial Planning and the Environment (VROM). The Hague.
- Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau e.V. (1996). *Fluß und Landschaft - Ökologische Entwicklungskonzepte*. Kommissionsvertrieb Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser mbH, Bonn.
- Directive 2006/44/EC of the European Parliament and of the Council of 6 September 2006 on the quality of fresh waters needing protection or improvement in order to support fish life, OJ L 264, 25. 9. 2006: 20–31.
- Đukić N., Maletin S. (1998). *Poljoprivredna zoologija sa ekologijom*. Poljoprivredni fakultet Univerziteta u Novom Sadu.
- Dunbar, M. J., & Acreman, M. C. (2001). Applied hydro-ecological science for the twenty-first century. *Hydro-ecology: linking hydrology and aquatic ecology*: 1–18. Engineering Dept., Tufts University, Medford, MA.
- Ennet P., Pachel K., Viies V., Jürimägi L., Elken R. (2008). Estimating Water Quality in River Basins Using Linked Models and Databases. *Estonian Journal of Ecology* 57 (2): 83–99.
- Fan, C., Ko, C. H., Wang, W. S. (2009). An innovative modeling approach using Qual2K and HEC-RAS integration to assess the impact of tidal effect on River Water quality simulation. *Journal of environmental management* 90 (5): 1824–1832.
- Federal Interagency Stream Restoration Working Group (US) – [FISRWG US] (1998). *Stream corridor restoration: Principles, processes, and practices*. National Technical Info Svc.
- Ffolliott P. F., De Bano L. F., Neary D. G., Baker M. B. (2003). *Riparian areas of the Southwestern United States: Hydrology, ecology, and management*. CRC Press.
- Fread, D. L., Smith, G. F. (1978). Calibration technique for 1-D unsteady flow models. *Journal of the Hydraulics Division* 104 (7): 1027–1044.
- Grabić, J. (2012). Procena uticaja različitih faktora na promene kvaliteta vode u kanalskoj mreži. Doktorska disertacija, Poljoprivredni fakultet, Univerzitet u Novom Sadu, Novi Sad.
- Grginčević, M., Pujin, V. (1998). *Hidrobiologija: priručnik za studente i poslediplomce*. Ekološki pokret Grada Novog Sada, Novi Sad.
- Hambrook Berkman, J.A., Canova, M.G. (2007). Algal biomass indicators (ver. 1.0): *U.S. Geological Survey Techniques of Water-Resources Investigations*, book 9, chap. A7, section 7.4. Available online only from <http://pubs.water.usgs.gov/twri9A/>.
- Hannah, D. M., Wood, P. J., & Sadler, J. P. (2004). Ecohydrology and hydroecology: a ‘new paradigm’?. *Hydrological processes* 18 (17): 3439–3445.
- Hession, W. C., Storm, D. E. (2000). Watershed-level uncertainties: Implications for phosphorus management and eutrophication. *Journal of Environmental Quality*, 29(4): 1172–1179.
- Horn, A. L., Rueda, F. J., Hörmann, G., & Fohrer, N. (2004). Implementing river water quality modelling issues in mesoscale watershed models for water policy demands : an overview on current concepts, deficits, and future tasks. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 29 (11–12): 725–737. <https://doi.org/10.1016/B978-012370626-3.00115-0>.
- Hynes, H.B.N. (1960): *The Biology of polluted waters*. Liverpool University Press, Liverpool: 202.
- IPCC (1996). Climate change 1995: Impacts, adaptations and mitigation of climate change: scientific-technical analyses. Contribution of Working Group II to the Second Assessment Report. Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge.
- James A. (1993). *An Introduction to Water Quality Modelling*. John Wiley & Sons: 11.
- Jarell, W. M. (1999). *Getting Started with TMDL's*. Environmental Products Group. YSI Incorporated.
- Jovanović M., Rudić S. (2004). *Aneks Projektu „Limnogeološka istraživanja na području prirodnog rezervata „Stari Begej – Carska bara” u cilju zaštite životne sredine za 2005. godinu”*, D. P. Geozavod – Nemetali, Beograd.
- Kalff, J. (2002). *Limnology – Inland water ecosystems*. Prentice Hall.
- Kern K., Nadolny I. (1986). *Naturnahe Umgestaltung ausgebauter Fließgewässer*, Universität Fridericiana zu Karlsruhe.

- Kirchner, J. W., Dillon, P. J., Lazerte, B. D. (1993). Separating hydrological and geochemical influences on runoff acidification in spatially heterogeneous catchments. *Water resources research* 29 (12): 3903–3916.
- Kronvang, B., Borgvang, S. A., Barkved, L. J. (2009). Towards European harmonised procedures for quantification of nutrient losses from diffuse sources – the EUROHARP project. *Journal of Environmental Monitoring* 11 (3): 503–505.
- Kye H., Kim J., Ju S., Lee J., Lim C., Yoon Y. (2023). *Microplastics in water systems: A review of their impacts on the environment and their potential hazards*. Heliyon.
- Lampert W., and Sommer U. (2007). *Limnoecology: the ecology of lakes and streams*. Oxford University Press, USA.
- Lung W. (2001). *Water Quality Modeling for Waste Load Allocations and TMDLs*, John Wiley & Sons, Inc. USA: 10.
- Malcolm I. A., Youngson A. F., Soulsby C. (2003). Survival of salmonid eggs in a degraded gravel-bed stream: effects of groundwater – surface water interactions. *River Research and Applications* 19 (4): 303–316.
- Marić, D., Rakočević, J. (2009). Okeani i mora, u *Hidrobiologija*. Pobjeda a.d. Podgorica, 242-343.
- National Estuarine Eutrophication Assessment: Effects of Nutrient Enrichment in the Nation's Estuaries. NOAA, National Ocean Service, Special Projects Office and the National Centers for Coastal Ocean Science. Silver Spring, MD: 71.
- NOAA. How far does light travel in the ocean? National Ocean Service website, https://oceanservice.noaa.gov/facts/light_travel.html, accessed on 30/09/23.
- Novak, R. (2016). *Final EPA-USGS technical report: protecting aquatic life from effects of hydrologic alteration*. US Department of the Interior, US Geological Survey.
- Novak, R., et al. (2016). Final EPA-USGS Technical Report: Protecting Aquatic Life from Effects of Hydrologic Alteration. U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2016–5164, U.S. Environmental Protection Agency EPA Report 822-R-156-007, 156 p., <http://pubs.usgs.gov/sir/2015/5160/> and <http://www2.epa.gov/wqc/aquatic-life-ambient-water-quality-criteria>
- Odigie J., Olomukoro J. (2019). Cyclomorphosis: The Adaptive Mechanism of Zooplankton in the Aquatic Ecosystem. *American Journal of Biomedical Sciences* 11: 22–30. Doi: 10.5099/aj190100022.
- Palmer M. A., and Bernhardt E. S. (2006). Hydroecology and river restoration: Ripe for research and synthesis. *Water Resources Research* 42, W03S07, doi:10.1029/2005WR004354.
- Park, S. S., Lee, Y. S. (2002). A water quality modeling study of the Nakdong River, Korea. *Ecological Modelling* 152 (1): 65–75.
- Petts G. E., Calow P. (1996). The Nature of Rivers, in Petts, G.E. and Calow, P., eds., *River Restoration*, Blackwell Scientific Publications, Oxford: 1–6.
- Poff N.L., et al. (1997). The Natural Flow Regime. *BioScience* 47 (11): 769–784. <https://doi.org/10.2307/1313099>
- Posudin Y. (2014). Measurement of Water Quality Parameters, in *Methods of Measuring Environmental Parameters*, Y. Posudin (Ed.). <https://doi.org/10.1002/9781118914236.ch20>
- Pravilnik o parametrima ekološkog i hemijskog statusa površinskih voda i parametrima hemijskog i kvantitativnog statusa podzemnih voda. Sl. glasnik RS, br. 74/2011.
- Ratnayaka D. D., Brandt M.J., Johnson K.M. (2009). CHAPTER 6: Chemistry, Microbiology and Biology of Water. *Water Supply (Sixth Edition)*[Internet], 195-266.
- Refsgaard, J. C., Storm, B., Refsgaard, A. (1995). Recent developments of the Systeme Hydrologique Europeen (SHE) towards the MIKE SHE. International Association of Hydrological Sciences, Publication, 231: 427–434.
- RHMZ – Republički hidrometeorološki zavod RS (2023). Hidrološki godišnjak. 1. Površinske vode 2022. https://www.hidmet.gov.rs/latin/hidrologija/povrsinske_godisnjaci.php
- River Water Quality Model No. 1, Scientific and Technical Report No. 12, IWA Publishing, London, England
- Robinson, A. P., Duursma, R. A., Marshall, J. D. (2005). A regression-based equivalence test for model validation: shifting the burden of proof. *Tree physiology* 25 (7): 903–913.

- Rykiel Jr, E. J. (1996). Testing ecological models: the meaning of validation. *Ecological modelling*, 90(3): 229–244.
- Salvai A. (1994). Savremen pristup problematici naturalnog uređenja inundacionih područja vodotoka, *Vodoprivreda*, str.150-152, Beograd.
- Salvai A. (1998). Strujanje vode u otvorenim tokovima složenog preseka. Doktorska disertacija, Poljoprivredni fakultet, Novi Sad.
- Salvai A., Bezdán A. (2007). Primena matematičkog modela QUAL2K, Melioracije 07, Stanje i perspektive, Poljoprivredni fakultet, str. 10-17, Novi Sad.
- Salvai A., Bezdán A. (2007). The Application of Water Quality Model QUAL2K. *XI International Eco-Conference on Environmental Protection of Urban and Suburban Settlements*, 26–29 September, Novi Sad: 181–188.
- Salvai A., Josimov-Dunđerski J. (2007). Oblikovanje reka i kanala. Održive melioracije, Poljoprivredni fakultet, str. 54-75, Novi Sad.
- Salvai A., Piperski J., Bezdán A. (2009). Modeliranje kvaliteta vode reke Brzave, Melioracije 09, Poljoprivredni fakultet, Departman za uređenje voda, Novi Sad.
- Schumm S.A. (1988). Variability of the fluvial system in space and time, in *Scales and Global Change*, Rosswall T., Woodmansee R. G., Risser P. G. (eds.). John Wiley & Sons, Chichester: 225–250.
- Sectoral use of water in regions of Europe*, Last modified 29 Nov 2012. <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/sectoral-use-of-water-in-regions-of-europe>
- Shanahan, P., Henze, M., Koncsos, L., Rauch, W., Reichert, P., Somlyódy, L., & Vanrolleghem, P. (1998). River water quality modelling: II. Problems of *the art*. *Water Science and Technology* 38 (11): 245–252.
- Shiklomanov I. A., Rodda J. C. eds (2004). *World Water Resources at the Beginning of the Twenty-First Century*, Cambridge, UK: Cambridge University Press: 449.
- Simić S., Simić V. (2012). Ekologija kopnenih voda, u *Hidrobiologija 1*. Biološki fakultet, Beograd; Prirodno-matematički fakultet, Kragujevac.
- Søndergaard M. (2009). Redox Potential. Gene E. Likens (ed.), *Encyclopedia of Inland Waters*. Academic Press, Elsevier, Amsterdam: 852–859.
- Stark M.S., Harrison J.T.H., Anastasi C. (1996). Formation of nitrogen oxides by electrical discharges and implications for atmospheric lightning. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 101 (D3): 6963–6969.
- Statistica (2023). Number of operational, shutdown, and planned nuclear reactors in European countries as of May 2022, <https://www.statista.com/statistics/792589/operational-nuclear-reactors-european-union-eu-28/>
- Streeter H.W., Phelps E.B. (1925). A study of the pollution and natural purification of the Ohio River. III Factors concerned in the phenomena of oxidation and reaeration. *US Public Health Serv, Public Health Bull* 1925;146: 75.
- U.S. Environmental Protection Agency - [US EPA] (2001). Protocol for Developing Pathogen TMDLs. EPA 841-R-00-002. Office of Water (4503F), United States Environmental Protection Agency, Washington, DC.: 132.
- Uredba o graničnim vrednostima zagađujućih materija u površinskim i podzemnim vodama i sedimentu i rokovima za njihovo dostizanje*. Sl. glasnik RS, br. 50/2012.
- US EPA - U.S. Environmental Protection Agency (1995). QUAL2E Windows Interface User's Guide. EPA 823B95003, Office of Water, Washington, DC.
- US EPA - United States Environmental Protection Agency (1999). Protocol for developing nutrient TMDL's. EPA 841-B-99-007. Office of Water (4503F) United States Environmental Protection Agency, Washington, DC.
- Vannote R.L., Minshall G.W., Cummins K.W., Sedell J.R., Cushing C.E. (1980). The River Continuum Concept. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 37 (1): 130–137. doi:10.1139/f80-017
- VICAIRE - Virtual campus in hydrology and water resources, Module 2 Qualitative Hydrology, Chapter 9 Water Quality Modelling, Modified: March 9th, 2006, <http://echo.epfl.ch/VICAIRE/>

- Vidal, J. P., Moisan, S., Faure, J. B., Dartus, D. (2007). River model calibration, from guidelines to operational support tools. *Environmental Modelling & Software* 22 (11): 1628-1640.
- WHO: Drinking water – Key facts. Pristupljeno 21. 3. 2022. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>
- Winter T. C., Harvey J. W., Franke O. L., Alley W. M. (1998). Ground water and surface water : a single resource. *U. S. Geological Survey Circular* 1139: 79.
- WHO Regional Office for Europe (2002). Eutrophication and Health, Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities.
- WWAP (2006). The State of the Resource, in *World Water Development Report 2*. World Water Assessment Programme, United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, Paris. Pristupljeno: 31. 3. 2007. http://www.unesco.org/water/wwap/wwdr2/pdf/wwdr2_ch_4.pdf
- Yang, X. E., Wu, X., Hao, H. L., He, Z. L. (2008). Mechanisms and assessment of water eutrophication. *Journal of Zhejiang University Science B* 9: 197–209.
- Zakon o vodama*, Sl. glasnik Republike Srbije, br. 46/91, 53/93, 67/93, 48/94, 54/96
- Zakon o zaštiti životne sredine*, Sl. glasnik Republike Srbije, br. 135/2004.

Речник појмова⁶

адултни организам – одрасла јединка, полно зрела јединка

аквапоник систем – представља вид пољопривреде, који комбинује узгој риба у таковима/басенима са узгојем биљака у супстрату без земљишта (хидропоник); рецикулацијом се обезбеђује проток воде између воде у узгоју рибе и хидропонског узгоја биљака.

акватична средина – водена средина

аквифер – потповршински слој или слојеви стенске масе или других геолошких средина довољне порозности и пропусности да омогући квантитативно значајан проток подземне воде или захватање значајних количина подземне воде

алохтоне врсте – стране врсте за неко географско подручје, врсте које су унете у неко подручје

анадроме врсте – врсте које живе у сланим водама, али мигрирају у слатке воде ради размножавања (нпр. лосос)

аутотрофи – организми који су способни да сами синтетишу своју храну, (нпр. фотосинтетички и хемосинтетички организми)

аутохтоне врсте – врсте које изворно насељавају одређено географско подручје и добро су прилагођене условима који ту владају

биодиверзитет – биолошка разноврсност живих организама; може се односити на разноврсност гена (генетички диверзитет), разноврсност врста (специјски диверзитет) и разноврсност екосистема (екосистемски диверзитет)

бујични ток, бујица – повремени или стални ток у коме, услед интензивних атмосферских падавина или брзог топљења снега, долази до нагле измене водног режима у виду високих поплавних таласа и могућег угрожавања живота и здравља људи и њихове имовине, као и амбијентних вредности

вештачко водно тело – тело површинске воде, створено људском активношћу

вода за купање – вода која се користи у спортске и рекреативне сврхе, а део је водног тела површинске воде или се налази у отвореном или затвореном базену

вода за пиће, пијаћа вода – вода која се користи за пиће, прераду и производњу хране и предмета опште употребе, као и за остале потребе људи

водни биланс – квантитативни и квалитативни однос расположивих и потребних количина површинских и подземних вода на одређеном простору и у одређеном времену

водни режим – природно и/или људским активностима проузроковано квантитативно и/или квалитативно стање подземних и површинских вода на одређеном простору и у одређеном времену;

водни ресурси – све површинске и подземне воде, по количини и квалитету;

водни систем – све воде, водна земљишта и водни објекти на одређеном простору

водно тело површинске воде – 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 – посебна запремина подземне воде унутар једног или више водоносних слојева

водоток – 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)

⁶ Део дефиниција појмова из области копнених вода преузет је из Закона о водама (Сл. гласник РС, бр. 30/10 од 07.05.2010.).

гранична вредност емисије – обухвата масу, изражену одређеним специфичним параметрима, концентрацију и/или ниво емисије који не могу бити прекорачени у току једног временског периода или више

детритус – истрошен камен, производ распадања, рушења; у билошком смислу, а везано за водене средине, најчешће се односи на честице које настају труљењем и распадањем живих организама и таложене се на дну

добар еколошки потенцијал – статус значајно измењеног или вештачког водног тела, класификован у складу са посебним прописом

добар еколошки статус – статус водног тела површинске воде, класификован у складу са посебним прописом

добар хемијски статус површинске воде – хемијски статус који мора бити у складу са прописаним циљевима животне средине за површинске воде, односно хемијски статус водног тела површинске воде такав да концентрација загађујућих супстанци не прекорачује стандарде квалитета животне средине, у складу са посебним прописом

дренирати – одводити сувишну воду са неке површине

ex situ [екс ситу] – одређивање/посматрање ван дате локације

екологија – наука која се бави односима организама и њихове животне средине, као и односима који организми остварују међусобно

еколошки потенцијал – ниво квалитета воде вештачког површинског водног тела

еколошки статус – ниво квалитета воде природног површинског водног тела

еколошки статус – обухвата квалитет структуре и функционисања акватичног екосистема придруженог површинским водама, класификован у складу са посебним прописом

екскремент – излучевине које организам избацује у спољашњу средину; поред фекалија ту се убрајају и зној и различити секретари

екстра акватично – изван воде

екстраховати – издвајање саставних делова неког природног производа или смеше

ексцитација (пигмента) – побуђивање пигмента

епифит – биљка или животиња која расте причвршћена за неку другу биљку и притом не паразитира на њој

еолски – онај који је настао радом ветра

ерозионо подручје – подручје на коме, услед дејства воде, настају појаве спирања, јаружања, браздања, подривања и клижења, земљиште које може постати подложно овим утицајима због промена начина коришћења (сеча шума, деградација ливада, изградња објеката на нестабилним падинама и друго), као и земљиште рудничких и индустријских јаловишта

ефемерно – краткотрајно, пролазно

ефлуент – истицање, одлив; често означава отпадне воде (пречишћене или непречишћене) које се изливају у природна водна тела

животна средина – средина у којој организам живи, може бити водена или ваздушна

загађивање – 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 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 – свака супстанца која узрокује загађивање, а чија се листа утврђује посебним прописом

значајно измењено водно тело – тело површинске воде које је, као резултат физичких измена услед људске активности, битно измењено по својим карактеристикама и разврстано у складу са посебним прописом;

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

инвазивне врсте – стране (алохтоне) врсте које су унете у нова станишта, на која су добро прилагођена и ту се успешно размножавају и шире, потискујући домаће (аутохтоне) врсте

инкрустација – нагомилавање кречњака на подлози сачињеној од органских или неорганских материја, карактеристично за крашке облике рељефа

***in situ* [ин ситу]** – одређивање/посматрање на датој локацији, на лицу места

језеро – тело стајаће површинске воде

карниворни организми – месоједи, организми који конзумирају месну храну

копнене воде – све стајаће или текуће воде на површини земље и све подземне воде;

корито за велику воду – корито и простор који плави велика вода повратног периода једном у 100 година

корито за малу воду – јесте удубљење кроз које теку мале и средње воде водотока, односно удубљење које је стално покривено водама природних језера и других површинских вода

лентички, стагантни – водени системи које одликује одсуство кретања воде или веома споро кретање

лотички – водени системи у којима се вода креће

макрофите – водене биљке, биљке које расту у води или обрастају обале

мелирациони/мелиоративни канал – наменски прокопан канал чија је примарна улога одвођења сувишне воде, најчешће са обрадиве површине

минимални одрживи проток – проток који се низводно од водозавхвата мора обезбедити у водотоку за опстанак и развој низводних биоценоза и задовољавање потреба низводних корисника

моделирање, моделовање – уобличавање, обликовање, израђивање и сл.; информатички, квалитет вода – процес развоја математичких модела који ће представљати што вернији приказ процеса и појава у водном телу, ради даљег изучавања и предвиђања могућих сценарија

мониторинг – то је дугорочно стандардизовано праћење квалитета акватичне средине које се проводи у циљу одређивања њеног статуса и промена/трендова

обала – појас земљишта (ширине до 10 m), који се налази непосредно уз корито водотока, језера, акумулација и других површинских вода

одрживи развој – развој друштва, и његов привредни напредак, при чему се природни ресурси одговорно троше имајући у виду њихову обновљивост, тј. развој друштва који не угрожава природне екосистеме и животну средину, чиме се осигурава дугорочно постојање људског друштва и његовог окружења

паразити – организми који се хране готовим органским материјама, али на рачун живих организама

површинске воде – текуће и стајаће воде на површини земље, изузев подземних вода

подземне воде – све воде које су испод површине земље у зони засићења и у додиру са површином земље или потповршинским слојем;

подслив – област са које се сав површински отицај слива мрежом потока, река, а могуће и језером, према одређеној тачки водотока

поплаве спољним водама – поплаве настале изливањем вода из корита водотока

поплаве унутрашњим водама – поплаве настале од сувишних атмосферских и подземних вода

поплавно подручје – подручје које вода повремено плави, услед изливања водотока или сувишних унутрашњих вода

примарни продуценти – аутотрофни организми; организми способни да синтетишу органску материју из неорганске. Уколико се овај процес обавља посредством Сунчеве енергије, такви организми се називају фотосинтетичким организмима. Поред поменутих постоје и хемосинтетички организми (хемоаутотрофи), који врше синтезу органске материје користећи енергију насталу услед хемијских реакција (оксидације неких хемијских једињења).

протозое – праживотиње, примитивни сапрофитни организми – претеча животињских организама

пуфер – раствор који се опире променама рН вредности када му се додају киселина или база

река – тело копнене воде које највећим делом тече по површини земље, али може тећи подземно у једном делу свог тока

реципијент (пријемник) – природни и вештачки водотоци, језера, акумулације и земљиште, у које се испуштају отпадне и атмосферске воде

речни наноси – трајни или привремени наноси река и бујица (песак, шљунак и слично), који се налазе на водном земљишту

речни слив – област са кога се сав површински отицај слива мрежом потока, река, а могуће и језером, према ушћу, естуару или делти реке у море

сапрофити – организми који се хране на готовим органским материјама пореклом од одумрлих организама

стајаће воде – природна језера, рибњаци, баре, мочваре и други „сакупљачи” вода, који имају сталан или повремени доток или дотицање текућих или подземних вода

текуће воде – природни водотоци са сталним или повременим током, као и вештачки водотоци

троглобионти – организми који стално настањују пећине и адаптирани су на недостатак светлости

троглофили – организмима које је понорница унела у подземље

унутрашње воде – подземне воде, нпр. висок ниво унутрашњих вода може негативно да утиче на усеве, и на друге привредне активности

фитофилне врсте – животињске врсте које преферирају биљну храну

флувијални процес – процес који се одвија у рекама, услед кога настају облици рељефа (акумулативни или ерозивни) деловањем линијског тока реке; обликован речном водом

флувијални нанос – речни нанос

хазардне супстанце – супстанце или групе супстанци које су токсичне, постојане и подложне биоакумулирању и друге супстанце или групе супстанци које дају повод за одговарајући ниво забринутости, чија се листа утврђује посебним прописом

хетеротрофи – организми који се хране готовим органским материјама које производе други организми

хигрофите – копнене биљке које захтевају станишта где влада висока влажност

хидробионти – водени организми, организми који живе у води

хидрокологија – наука која се бави односима организама и њихове животне средине, која је у овом случају вода, као и односима које организми остварују међусобно

хидрологија – наука која се бави кретањем воде

хидрофите – копнене биљке које расту на влажним стаништима