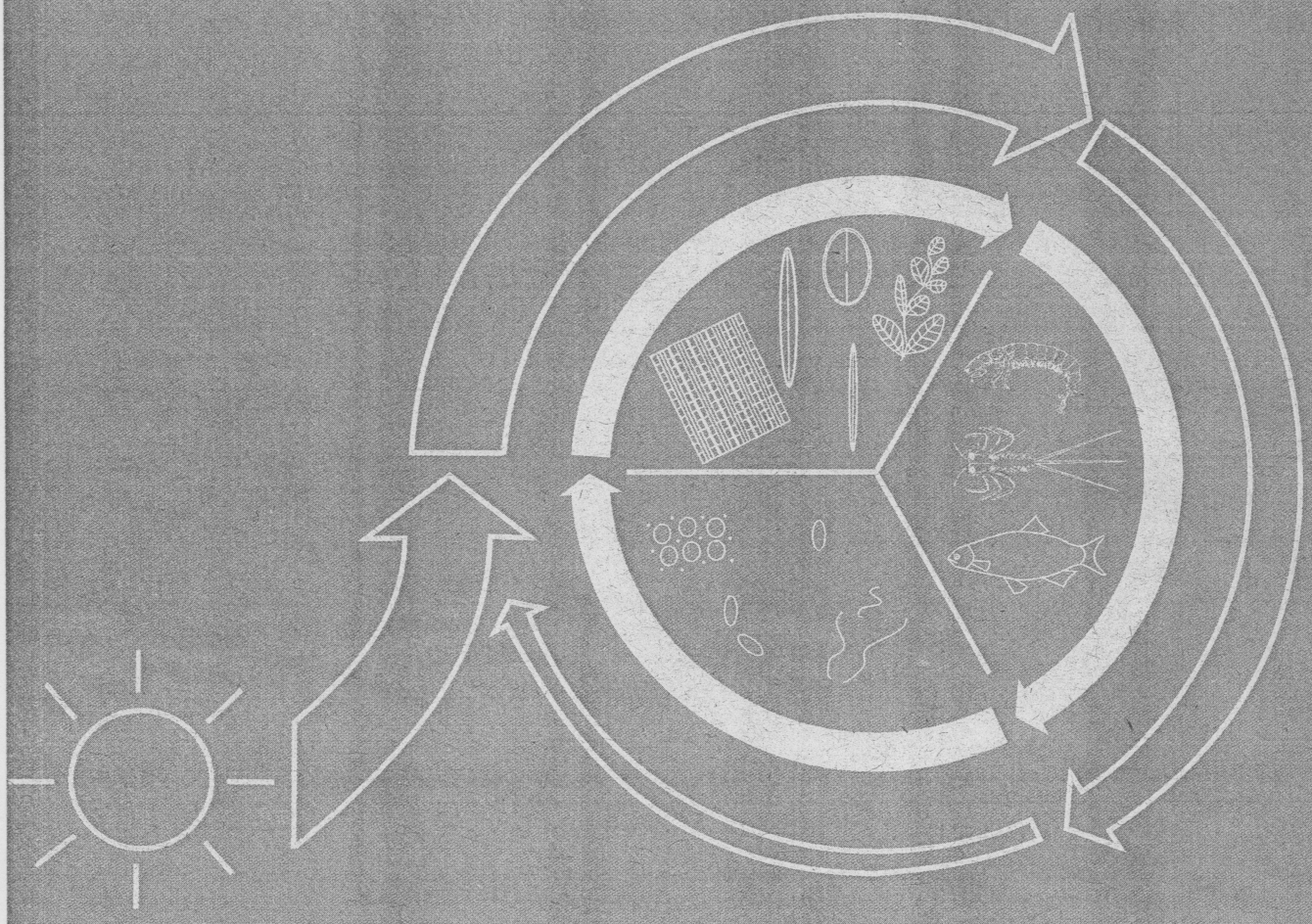
Gorazd Urbanič
Mihael J. Toman

VARSTVO CELINSKIH VODA



scripta

Gorazd Urbanič,
Mihael J. Toman

VARSTVO CELINSKIH VODA

scripta

CIP - Kataložni zapis o publikaciji
Narodna in univerzitetna knjižnica, Ljubljana

504.45.064
628.35

URBANIČ, Gorazd
Varstvo celinskih voda / Gorazd Urbanič, Mihael J. Toman. -
Ljubljana : Študentska založba, 2003. - (Knjižna zbirka Scripta)

ISBN 961-6446-16-9
1. Toman, Mihael J.
122829568

Knjižna zbirka

scripta

Odgovorni urednik:
Boštjan Resinovič

Pomočnica odgovornega urednika:
Barbara Zych

Izdajatelj:
Študentska založba
Beethovnova 9
1000 Ljubljana
tel: (01) 2510-332
fax: (01) 2522-618

Študentska založba

http://www.studentskazalozba.si

Za založbo:
Igor Brlek

Ustanovitelj Študentske založbe je
Študentska organizacija Univerze v Ljubljani.

Recenzenta:
Alenka Gaberščik, Tone Novak

Lektorica:
Milanka Trušnovec

Računalniško oblikovanje:
Marko Hercog

Naslovnica:
Gorazd Urbanič, Bojan Senjur

Tisk:
Grafika Fric

Ljubljana, 2003

© Študentska založba, 2003. Vse pravice pridržane.

Brez predhodnega pisnega dovoljenja Študentske založbe je prepovedano reproduciranje, distribuiranje, dajanje v najem, javna priobčitev, predelava ali druga uporaba tega avtorskega dela ali njegovih delov v kakršnem koli obsegu ali postopku, vključno s fotokopiranjem, tiskanjem, javnim interaktivnim dostopom ali shranitvijo v elektronski obliki.

VSEBINA

UVOD 7

I. VREDNOTENJE KAKOVOSTI VODA 8
1. HIDROMORFOLOŠKI PARAMETRI 11
1.1 Globina 12
1.2 Hitrost vodnega toka 13
1.3 Pretok 17
1.4 Substrat 20
2. FIZIKALNE IN KEMIJSKE METODE 22
2.1 Osnovni fizikalni in kemijski parametri 23
2.1.1 Temperatura 23
2.1.2 Koncentracija raztopljenega kisika 25
2.1.3 Nasičenost vode s kisikom 30
2.1.4 Elektroprevodnost 31
2.1.5 pH 32
2.1.6 Barva vode 34
2.1.7 Vonj 34
2.2 Fizikalne in kemijske analize 35
2.2.1 BPK 35
2.2.2 Nitrati 37
2.2.3 Fosfor 39
2.2.4 Sušina 42
2.2.5 Skupne raztopljene snovi (TDS) 43
2.2.6 Skupne suspendirane snovi (TSS) 46
3. BIOLOŠKE METODE 48
3.1 Biokemijske analize 49
3.1.1 Klorofil 49
3.2 Ekološke metode 52
3.2.1 Diverzitetni indeksi 54
3.2.2 Saprobni indeks 55
1) Perifiton (združba obrasti) 57
2) Makroinvertebrati (vodni nevretenčarji) 59
3.2.3 Biotski indeksi 65
1) Biotski indeks Trent (TBI) 66
2) Chandlerjev biotski seštevek (CBS) 67
3) Indeks BMWP 68

II. EKOMORFOLOŠKO VREDNOTENJE VODOTOKOV 73
1. INDEKS RCE 74

III. ČISTILNE NAPRAVE 77
1. PRIMARNA STOPNJA ČIŠČENJA 78
2. SEKUNDARNA STOPNJA ČIŠČENJA 78
2.1 Aerobno biološko čiščenje 78
2.1.1 Čistilne naprave z razpršeno biomaso 78
2.1.2 Čistilne naprave s priraslo biomaso 82
2.2 Anaerobno biološko čiščenje 84
3. TERCIARNA STOPNJA ČIŠČENJA 84
3.1. Rastlinske čistilne naprave (RČN) 84

IV. PRILOGE 86

V. LITERATURA 91

VI. SLOVAR STROKOVNIH IZRAZOV IN KRATIC 93

UVOD

V sodobni družbi pogosto prihaja do razhajanj med ekonomskimi interesi in interesi naravovarstva. Kljub temu in predvsem zaradi dejstva, da je voda nujno potrebna za obstoj in razvoj človeške družbe, se vse bolj uveljavlja spoznanje, da moramo vodne ekosisteme ohranjati. V želji po zagotavljanju zadostnih količin kakovostne vode smo oblikovali merila in postopke, s katerimi preverjamo kakovost voda in na ta način zagotavljamo neposredno kontrolo vodnih teles in njihovo uporabnost. Pomembno je spoznanje, da je kakovost vode posameznega vodnega ekosistema tesno povezana z njegovim zaledjem. Zato se je v zadnjih letih uveljavila uporaba ekomorfoloških metod vrednotenja kot podlaga za varovanje vodnih teles in zanje pomembnih prispevnih območij. Industrijski razvoj in intenzivna raba dobrin za zadovoljevanje vsakodnevnih potreb ob sedanji gostoti in nenehni rasti človeške populacije nevarno ogrožata vsa živa bitja na Zemlji. Zlasti so velikim pritiskom in vplivom izpostavljena celinska vodna telesa, zato so ukrepi za varovanje teh danes nujno potrebni. Med takšne ukrepe nedvomno sodijo biološke čistilne naprave, ki lahko v znatni meri zmanjšajo posledice onesnaževanja, povsem odpraviti pa jih ne morejo.

Prav ta problematika, poudarjena z biološkega vidika ob upoštevanju fizikalnih in kemijskih zakonitosti, je rdeča nit tega dela oz. tiste tematike, s katero se bodo študenti srečevali v okviru različnih predmetov, ki obravnavajo varovanje celinskih voda. Delo predstavlja, po najini presoji, izbor osnovnih metod, ki bi jih morali spoznati študenti različnih študijskih smeri, ki se na tak ali drugačen način ukvarjajo z vodnimi telesi. Zapisana znanja so zato namenjena študentom biologije, ki poslušajo predmet **varstvo okolja in naravne dediščine**, študentom Fakultete za gradbeništvo in geodezijo, ki v okviru programa Vodarstvo in komunalno inženirstvo pridobivajo osnovna znanja pri predmetu **osnove vodne mikrobiologije**, ter študentom Krajinske arhitekture v okviru predmeta **varstvo in urejanje voda**. Široka zasnova dela, ki je pred vami, je odraz interdisciplinarnosti okoljske problematike in vključevanja širokega kroga ljudi z različnimi znanji, ki so neposredno povezani s celinskim vodnim okoljem. Upava, da bodo predstavitev problemov, vezanih na vodno okolje, in nakazane možnosti njihovega nadziranja in reševanja uporabne tudi v praksi, ko bodo univerzitetno izobraženi strokovnjaki z različnih področij strokovno in/ali politično odločali o posegih v vodno okolje in iskali rešitve, primerne za človeško družbo in naravo. Le na tak način se bo udejanjila ideja trajnostnega razvoja.

Ljubljana, poleti 2002

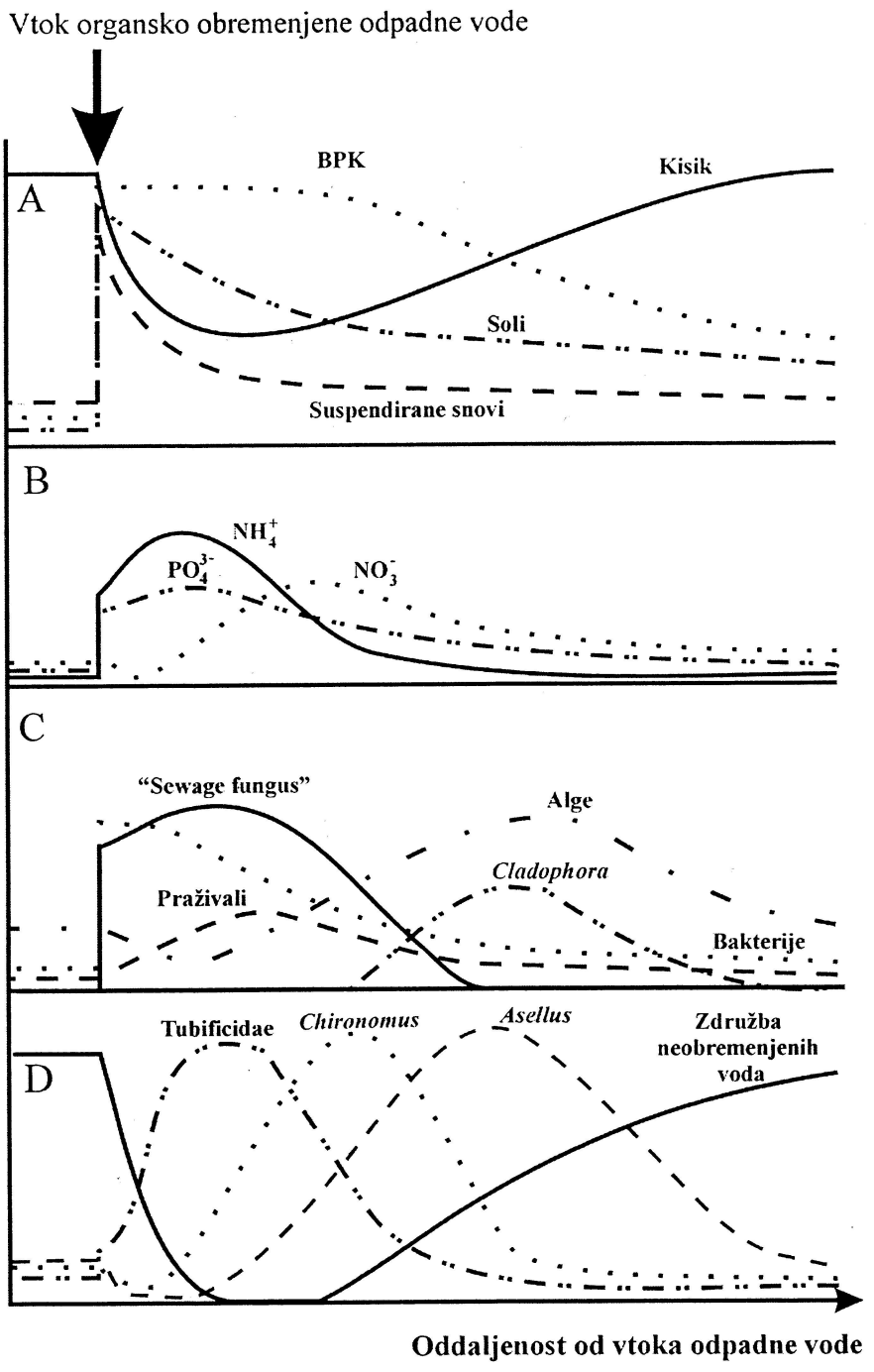
Gorazd Urbanič
Mihael J. Toman

I. Vrednotenje kakovosti voda

Kakovost voda (angl. water quality) je pojem, ki ga je z vidika kompleksnosti dejavnikov, ki kakovost določajo, in velikega števila spremenljivk, na osnovi katerega opisujemo status vodnega telesa, težko definirati. Pojem se je v svetu obdržal predvsem zaradi lažjega sporazumevanja, nanaša pa se na kakovost vodnega okolja. Razumevanje kakovosti voda se je razvijalo v zadnjem stoletju s povečanjem uporabe vode in z novimi znanji, kako meriti in razlagati značilnosti vodnega okolja. Obstajajo številne snovi, katerih učinki so v vodi potencialno nevarni za organizme. S sintetiziranjem novih se tudi število nevarnih snovi iz leta v leto povečuje, z njihovo množično proizvodnjo in komercialno uporabo pa postanejo potencialni polutanti vodnega okolja. Na osnovi značilnosti polutantov lahko onesnaževanje voda razdelimo v več skupin:

1. organsko onesnaževanje,
2. onesnaževanje s hranilnimi snovmi (dušikove, fosforjeve, mikroelementi),
3. toplotno onesnaževanje,
4. onesnaževanje s strupenimi snovmi (težke kovine, amonij, cianidi, fenoli, pesticidi),
5. onesnaževanje s suspendiranimi snovmi,
6. ekstremen pH,
7. onesnaževanje z detergenti,
8. onesnaževanje z nafto in naftnimi derivati,
9. onesnaževanje s kancerogenimi snovmi ter
10. onesnaževanje s patogenimi organizmi.

Onesnaževanje voda je najpogosteje povezano z dotoki iz kanalizacij, čistilnih naprav, izsuševalnih kanalov in tovarn. Te vire onesnaževanja uvrščamo med **točkovne vire**, kamor so vključeni tudi številni nelegalni izpusti in izpusti, ki so posledica malomarnosti ali nesreč. Po izpustu iz točkovnega vira je koncentracija polutanta v vodotoku najvišja ob dotoku in se z oddaljevanjem od vira zmanjšuje. Posledično se z oddaljevanjem od vira onesnaženja spreminjajo tudi fizikalne, kemijske in biotske značilnosti vodotoka (slika 1). V opisanih primerih je onesnaževanje voda pogosto relativno enostavno zaznati, saj je v mnogih primerih tudi vizualno opazno. Drugače je v primeru **razpršenih (disperznih) virov**, kjer vira onesnaženja ne moremo natančno določiti. To pomeni, da polutant ne vstopa v vodno okolje samo na enem mestu, ampak na več mestih hkrati. Primer so površinski odtoki in ponikanje vode na kmetijskih območjih, kar povzroča vnos nutrientov in pesticidov v vodotoke in jezera. Nadzor in preprečevanje onesnaževanja voda je zaradi večje prepoznavnosti, lažjega spremljanja in kontroliranja, še danes osredotočen predvsem na točkovne vire. S programom načrtnega in ciljnega spremljanja kakovosti voda (monitoringa) v zadnjem obdobju kontroliramo tudi razpršene vire, vendar je njihovo vrednotenje precej težje, saj gre za širše, običajno težko določljivo območje.



Slika 1. Spremembe abiotskih in biotskih dejavnikov po vtoku organsko obremenjenih odpadnih voda

Ne glede na vir je onesnaževanje voda privedlo do potrebe po vrednotenju kakovosti voda. Vrednotenje kakovosti voda predstavlja celoten proces vrednotenja fizikalnih, kemijskih in biotskih značilnosti vode glede na človeške vplive ter predvideno rabo. Posebej je pomembna tista raba vode, ki bi lahko vplivala na zdravje ljudi in ekološko stanje celotnega vodnega sistema. Različni pristopi vrednotenja se med seboj jasno razlikujejo (tabela 1). Namen vrednotenja kakovosti voda je definirati njihovo stanje in zagotoviti osnovo za ugotavljanje trendov v spreminjanju kakovosti. Pri tem je pomembno zagotavljanje informacij, ki omogočajo ugotavljanje ekoloških vzrokov in posledic. Prav razlaga rezultatov in podajanje predlogov

za nadaljnje aktivnosti pri varstvu okolja predstavljata enega izmed pomembnejših vidikov vrednotenja.

Kakovost voda lahko vrednotimo na osnovi:
- fizikalnih in kemijskih analiz,
- bioloških analiz.

Najpopolnejšo predstavo o vodnem telesu in njegovi kakovosti dobimo z istočasno izvedenimi fizikalnimi, kemijskimi in biološkimi analizami. Pri tem fizikalne in kemijske analize prikažejo trenutno stanje voda, medtem ko z biološkimi metodami ugotavljamo posledično stanje, ki je rezultat vpliva vseh abiotskih in biotskih dejavnikov na prisotne življenjske združbe.

Tabela 1. Prednosti in slabosti različnih načinov vrednotenja kakovosti voda

Biološke analize	**Fizikalne in kemijske analize**
Prednosti	
- Dober odziv organizmov na dolgotrajno nizko obremenjevanje	- Možnost natančnega časovnega zaznavanja sprememb v vodah
- Osnova za ugotavljanje fizikalne degradacije vodnega okolja	- Možnost natančnega določanja polutantov in njihovih tokov
- Kopičenje (bioakumulacija, biomagnifikacija) v organizmih	- Uporabnost za vsa vodna telesa vključno s podtalnico
	- Možna standardizacija
Slabosti	
- Neprimerne za podtalnico	- Številne omejitve za mnoge rutinske analize (nizka detekcijska meja)
- Neuporabne za raziskave smeri toka polutantov	- Možna kontaminacija vzorcev z nekaterimi polutanti
- Omejena standardizacija	- Omejena uporaba za kontinuirane preglede
	- Dragi postopki

V Sloveniji poteka monitoring kakovosti, na osnovi katerega delimo vodotoke v štiri kakovostne razrede, določene na osnovi uporabnosti vode za pitje, kopanje, ribogojstvo in rabo v industriji (tabela 2).

S prilagajanjem slovenske zakonodaje Evropski uniji, bomo v prihodnosti tudi metodologijo in sistem vrednotenja podredili evropski zakonodaji s področja vodne politike, ki je bila podana v "*Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council, 23. Oct. 2002*".

Tabela 2. Kakovostni razredi za površinske vodotoke v Sloveniji

Razred	**Uporabnost vode**
1. razred:	vode, ki so v naravnem stanju ob morebitni dezinfekciji primerne za pitje in uporabo v živilski industriji in za gojitev plemenitih vrst rib (salmonidov)
2. razred:	vode, ki so v naravnem stanju primerne za kopanje in v rekreativne namene, za gojitev drugih vrst rib (ciprinidov), po običajni predhodni obdelavi (koagulacija, filtracija in dezinfekcija) pa tudi za pitje in v živilski industriji
3. razred:	vode, ki jih je mogoče uporabljati za namakanje, po običajnih metodah predhodne obdelave pa tudi v industriji, razen v živilski industriji
4. razred:	vode, ki jih je mogoče uporabljati za druge namene le po ustrezni obdelavi

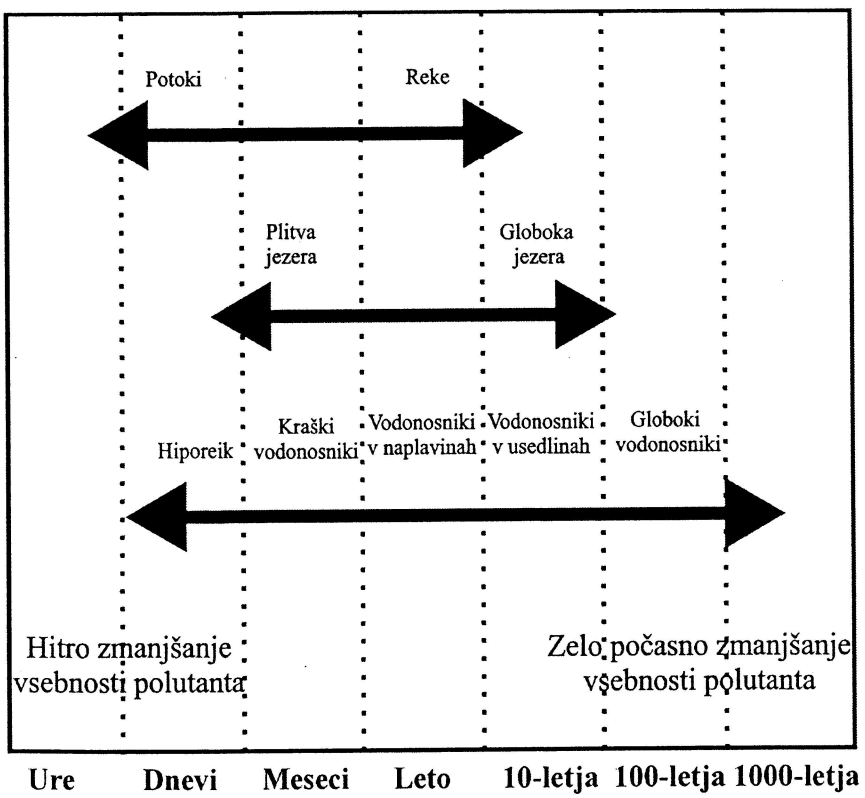
1. HIDROMORFOLOŠKI PARAMETRI

V analizah vrednotenja kakovosti voda z meritvami hidromorfoloških parametrov posredno lahko razložimo ugotovljene vrednosti nekaterih ostalih parametrov, s katerimi vrednotimo kakovost voda. Številne vrednosti fizikalnih in kemijskih parametrov ter prisotnost življenjskih združb so namreč tudi posledica hidroloških razmer. Tako se npr. spreminjajo koncentracije polutantov v odvisnosti od pretoka, zadrževalni čas vode vpliva na hitrost vključevanja polutanta v kroženje snovi v posameznem vodnem okolju oz. na zadrževalni čas polutanta v vodnem okolju in v organizmih (slika 2) itd. Od vrednosti hidromorfoloških parametrov je neposredno odvisno tudi trajanje primernega vzorčenja za zagotovitev reprezentativnosti vzorcev za analize kakovosti voda. Hidromorfološki parametri, ki jih navadno merimo pri vrednotenju kakovosti vodotokov, so:

- globina vode,
- hitrost vodnega toka,
- turbulenca,
- pretok vode in
- tip substrata.

V stoječih vodah so hidrološke razmere drugačne in običajne meritve obsegajo meritve:

- zadrževalnega časa vode,
- globine in
- plastovitosti vode.



Slika 2. Zadrževalni časi vode in hitrosti zmanjševanja vsebnosti anorganskih polutantov v celinskih vodnih telesih

1. 1 Globina

Na osnovi izmerjenih globin vode določimo vodnatost vodnega telesa. V stoječih vodnih telesih (jezerih, akumulacijah in podtalnih vodah) so te meritve pomembne za razlago kvalitativnih in kvantitativnih značilnosti vode. V tekočih vodah (rekah, potokih) lahko nizek vodostaj povzroči tok podtalnice v vodotok, medtem ko lahko visok vodostaj povzroča obraten tok; to je tok površinske vode v podtalnico (imenovano tudi bogatenje podtalnice). V primeru, da je površinska voda slabše kakovosti kot podtalna, ta izmenjava močno vpliva na poslabšanje kakovosti podtalnice. V jezerih hkrati z meritvami globine izmerimo na globino neposredno vezane parametre, kot so npr. temperatura, elektroprevodnost, kisik, pH, vsebnost nutrientov. V globokih stratificiranih jezerih z dolgim zadrževalnim časom vode je večja verjetnost, da se ob dnu pojavijo anoksične razmere, kot v plitvih nestratificiranih jezerih s kratkim zadrževalnim časom vode.

Vaja 1: Merjenje globine vode

Metodologija

Globino lahko merimo na različne načine, odvisno od globine vode in tipa vodnega telesa. V vodotokih je najpreprostejše merjenje s togim metrom.

Material

- kovinski in leseni meter
- škornji

Izvedba

1. Potopite meter do dna vodnega telesa na različnih oddaljenostih od brega in izmerite globino vode.
2. Vrednosti vpišite v tabelo.

a) Vzorčno mesto 1 (Vodotok_____,
Kraj_____)

Parameter \ Vzorčna točka	1	2	3	4	5	6	7
Datum							
Oddaljenost od desnega brega (m)							
Globina vode (m)							

b) Vzorčno mesto 2 (Vodotok_____,
Kraj_____)

Parameter \ Vzorčna točka	1	2	3	4	5	6	7
Datum							
Oddaljenost od desnega brega (m)							
Globina vode (m)							

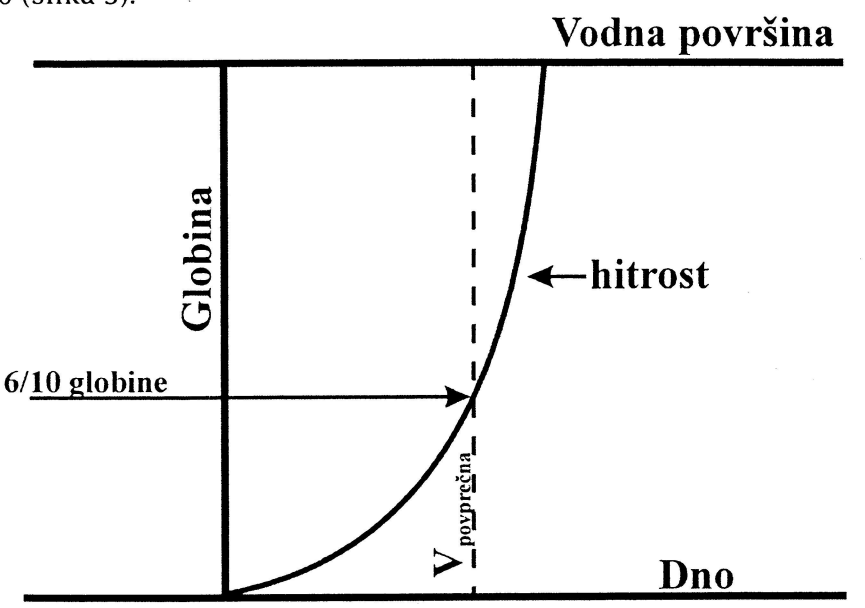
3. Narišite presek struge.

   a.) Vzorčno mesto 1

   b.) Vzorčno mesto 2

1. 2 Hitrost vodnega toka

Hitrost vodnega toka vpliva na samočistilno sposobnost vodotoka, ki predstavlja možnost asimiliranja polutantov in njihovega prenašanja po toku navzdol. Poznavanje hitrosti toka omogoča, da predvidimo trajanje potovanja polutantov, ki pritekajo v gornjem toku. V vodotokih se hitrost spreminja od leta do leta, v različnih sezonah in dnevno v odvisnosti od hidrometeoroloških vplivov in narave prispevnega območja. Zaradi tega sta pomembna čas (ura, dan) in mesto opravljanja meritev. V strugi se hitrost eksponencialno zmanjšuje od površine proti dnu in se tik ob dnu približa vrednosti 0 (slika 3).



Slika 3. Vertikalni gradient hitrosti (v) v vodotoku

Povprečna hitrosti je bila empirično določena in je v večini vodotokov enaka hitrosti na 6/10 globine. Ob poznavanju globine se približek povprečne hitrosti lahko izračuna tudi na podlagi meritev hitrosti na površini:

$$V_{pov}\ (m/s) = V_{por} \times K_p$$

V_{pov} - povprečna hitrost (m/s)
V_{por} - hitrost na površini (m/s)
K_p - koeficient soodvisnosti površinske hitrosti in globine vode (tabela 3)

Tabela 3. Vrednosti koeficienta K_p v odvisnosti od globine vode

Globina vode (m)	Koeficient K_p
0,5	0,67
1,0	0,70
2,0	0,76
3,0	0,77
5,0	0,79
6,0 in več	0,80

Hitrost vodnega toka se spreminja od površine proti dnu in od bregov proti sredini struge. Največja je v matici struge, medtem ko se zaradi trenja proti bregovoma približuje vrednosti nič.

Vaja 2: Merjenje hitrosti vodnega toka v strugi

Metodologija

Zaradi neenakomerne hitrosti vodnega toka v preseku struge, opravljamo meritve hitrosti na več točkah. Običajno strugo v preseku razdelimo na 5-10 vertikalnih profilov. Meritve hitrosti vodnega toka lahko izvajamo s hidrometričnim krilom ali s plovci.

1) Meritve s hidrometričnim krilom

Hidrometrično krilo je zasnovano na soodvisnosti med številom obratov vijaka in hitrostjo vodnega toka oziroma hidrodinamičnih lastnosti krila. Uporabnost posameznega krila je odvisna od njegovih značilnosti, večina omogoča merjenje hitrosti med 0,05 in 10 m/s.

Material

- hidrometrično krilo
- elektronski števec
- meter
- škornji

Izvedba

Hitrost merite na istih točkah kot ste merili globino vode.

1. Hidrometrično krilo nastavite na izbrano globino (6/10 globine vode) in ga usmerite proti vodnemu toku.
2. Določite povprečno hitrost vodnega toka v določenem časovnem intervalu (npr. 1 min).
   Vrednosti vpišite v tabelo.

a) Vzorčno mesto 1 (Vodotok_____,
Kraj_____)

Parameter \ Vzorčna točka	1	2	3	4	5	6	7
Datum							
Oddaljenost od desnega brega (m)							
Globina vode (m)							
6/10 globine vode (m)							
Hitrost vodnega toka na 6/10 globine (m/s)							

b) Vzorčno mesto 2 (Vodotok_____,
Kraj_____)

Parameter \ Vzorčna točka	1	2	3	4	5	6	7
Datum							
Oddaljenost od desnega brega (m)							
Globina vode (m)							
6/10 globine vode (m)							
Hitrost vodnega toka na 6/10 globine (m/s)							

2) Meritve s plovci

Plovci so uporabni predvsem za merjenje hitrosti vode na površini. Uporabljamo lahko stiropor, pomaranče ali posebej za to izdelane priprave. Metoda je uporabna, kadar nimamo na voljo merilca hitrosti ali pa so hitrosti premajhne. Meritve s plovci, posebno pri nizkih hitrostih, lahko moti veter.

Material

- več kosov stiropora enake velikosti (1 x 3 x 5 cm)
- štoparica
- kovinski meter
- škornji

Izvedba

1. V strugi izmerite razdaljo 5 m.
2. Izmerite trajanje potovanja plovca na tej razdalji.
3. Postopek ponovite vsaj 5-krat in izračunajte povprečno vrednost.
4. Izračunajte povprečno hitrost vodnega toka na površini:

$$V_{por}\ (m/s) = l / t$$

V_{por} - hitrost vodnega toka na površini (m/s)
l - dolžina potovanja plovca (m)
t - trajanje potovanja plovca (s)

5. Vrednosti vpišite v tabelo.

a) Vzorčno mesto 1 (Vodotok_____,
Kraj_____)

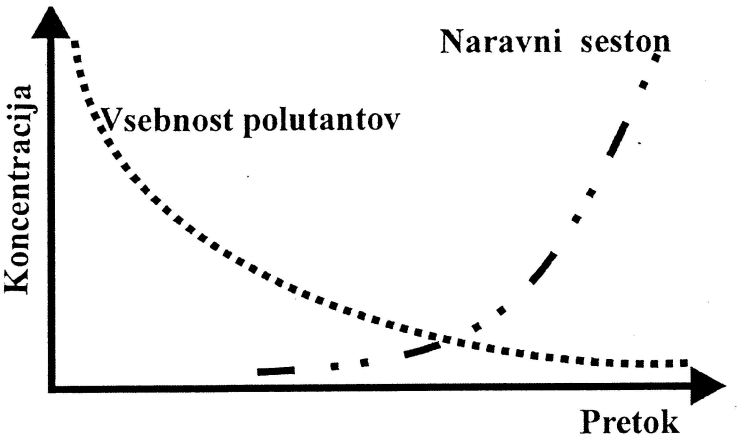
Vzorčna točka / Parameter	1	2	3	4	5	6	7
Datum							
Oddaljenost od desnega brega (m)							
Dolžina potovanja plovca (m)							
Trajanje potovanja plovca (s)							
Povprečno trajanje potovanja plovca (s)							
Hitrost vodnega toka na površini (m/s)							
Povprečna hitrost vodnega toka (m/s)							

b) Vzorčno mesto 2 (Vodotok_____,
Kraj_____)

Vzorčna točka / Parameter	1	2	3	4	5	6	7
Datum							
Oddaljenost od desnega brega (m)							
Dolžina potovanja plovca (m)							
Trajanje potovanja plovca (s)							
Povprečno trajanje potovanja plovca (s)							
Hitrost vodnega toka na površini (m/s)							
Povprečna hitrost vodnega toka (m/s)							

1. 3 Pretok

S pretokom je podana količina vode, ki v enoti časa preteče skozi določen prečni prerez struge vodotoka. Enota je m^3/s. Od pretoka vode je odvisna tudi količina suspendiranih in raztopljenih snovi v vodi. Količina sestona, ki so rezultat večje erozije (predvsem rečnih brežin) se s povečevanjem pretoka eksponencialno povečuje, medtem ko se imisijska vrednost snovi, ki v vodotok prihajajo z odpadnimi vodami ali iz razpršenih virov, s povečanim pretokom zmanjšuje (slika 4). Pretok je pomemben parameter za oceno toka polutantov in njihovega razširjanja.



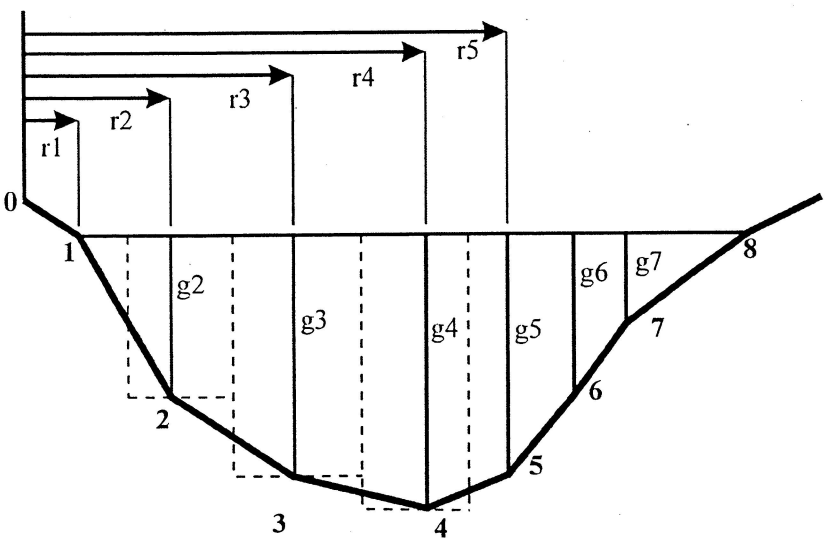
Slika 4. Spreminjanje vsebnosti naravnega sestona in polutantov v odvisnosti od pretoka

Vaja 3: Merjenje pretoka vode

Metodologija

1) Izračun pretoka na osnovi produkta izmerjene hitrosti in površine prečnega prereza struge

Meritve globine v preseku struge uporabimo za izračun približne površine prečnega prereza (slika 5).



Slika 5. Prečni prerez struge in parametri za izračun pretoka

Material

- lesen meter
- več kosov stiropora enake velikosti (1 x 3 x 5 cm)
- kovinski meter
- štoparica
- škornji

Izvedba

1. Izmerite globino struge na različnih oddaljenostih od brega.
2. Na istih točkah izmerite povprečno hitrosti vode na 6/10 globine vode.
3. Izračunajte delne površine prečnega prereza po enačbi:

$$a_n = g_n \times (r_{n+1} - r_{n-1})/2$$

a_n - površina n-tega dela prečnega prereza struge (m^2)
r_n - oddaljenost vzorčne točke "n" od brega (m)
g_n - globina vode na vzorčni točki "n" (m)

4. Izračunajte delne pretoke po enačbah:

$$Q_n = a_n \times V_{pov(n)}, \; n = 1,2,3,4...$$

Q_n - pretok skozi n-ti del prečnega prereza (m^3/s)
$V_{pov(n)}$ - povprečna hitrost vodnega toka na vzorčni točki "n" (m/s)

5. Izračunajte skupni pretok po enačbi:

$$Q_t = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + \ldots + Q_{(n-r)} + Q_n$$

Q_t - skupni pretok (m^3/s)

6. Vrednosti vpišite v tabelo.

a) Vzorčno mesto 1 (Vodotok_____,
Kraj_____)

Parameter \ Vzorčna točka	1	2	3	4	5	6	7
Datum							
Oddaljenost od desnega brega (m)							
Globina vode (m)							
Hitrost na 6/10 globine (m/s)							
Delne površine prečnega prereza (m^2)							
Delni pretok - Qn (m^3/s)							
Skupni pretok - Qt (m^3/s)							

b) Vzorčno mesto 2 (Vodotok_____,
Kraj_____)

Parameter / Vzorčna točka	1	2	3	4	5	6	7
Datum							
Oddaljenost od desnega brega (m)							
Globina vode (m)							
Hitrost na 6/10 globine (m/s)							
Delne površine prečnega prereza (m^2)							
Delni pretok - Qn (m^3/s)							
Skupni pretok - Qt (m^3/s)							

2) Meritve pretoka s sledili

Po tej metodi merimo pretok na osnovi hitrosti potovanja sledila v vodotoku. Ta metoda je manj priporočljiva, kajti sledila lahko reagirajo s snovmi, raztopljenimi v vodi, in vplivajo na kakovost vode, mnoga sledila so draga ali pa je njihova uporaba zapletena. Ena izmed preprostih in relativno nenevarnih metod je metoda s kuhinjsko soljo (NaCl).

Material

- kovinski meter
- 1 kg kuhinjske soli
- konduktometer
- vedro prostornine 10 l
- štoparica

Izvedba

1. Pripravite 10 litrov raztopine NaCl s prevodnostjo 48.000 mS/cm (sledilo).
2. Na izbranem vzorčnem mestu odmerite 30 m dolg odsek struge.
3. Razlijte sledilo čez celoten presek struge čimbolj enakomerno in sočasno pričnite meriti prevodnost vode 30 m pod mestom razlitja sledila.
4. Prevodnost odčitavajte v časovnih razmikih 5 s, dokler ponovno ne izmerite prevodnosti, ki je enaka začetni vrednosti pred razlitjem sledila.
5. Narišite krivuljo spreminjanja prevodnosti v odvisnosti od časa.

6. Izračunajte pretok po enačbi:

$$Q\,(m^3/s) = (V \times 48.000) / a$$

Q - pretok (m^3/s)
V - volumen sledila (l)
a - površina pod krivuljo spreminjanja prevodnosti v odvisnosti od časa ($\mu S/cm \cdot s$)

7. Vrednosti vpišite v tabelo.

Vzorčno mesto / Parameter				
Datum				
Pretok (m^3/s)				

1. 4 Substrat

Substrat ima v vodnih ekosistemih pomembno vlogo v kroženju elementov. Vpliva na transport številnih nutrientov in odpadnih snovi in sodeluje pri izmenjavi snovi z vodo. Poznavanje velikosti delcev omogoča razumevanje transporta, izvora in ekološkega vpliva substrata v vodnih okoljih. Substrat delimo v dve osnovni skupini: anorganski in organski.

1) Anorganski (mineralni) substrat

Velikost mineralnih delcev v vodnih telesih lahko klasificiramo na različne načine. Razdelitev, ki jo uporabljajo pri ekološkem vrednotenju vodotokov v Evropski uniji, je predstavljena v tabeli 4.

Tabela 4. Razvrstitev anorganskega substrata po velikosti delcev (po AQEM 2002)

Kategorija	Opis	Premer delcev (cm)
Megalital	Skale, živa skala	>40
Makrolital	Veliki kamni	20 - 40
Mezolital	Majhni kamni	6 - 20
Mikrolital	Veliki prodniki	2 - 6
Akal	Majhni in srednji prodniki	0,2 - 2
Psamal	Pesek in blato	0,006 - 0,2
Agrilal	Mulj, glina	<0,006

2) Organski substrat

Med organski substrat uvrščamo različno velike organske ostanke, ki so po izvoru iz terestričnih ali vodnih ekosistemov. V širšem pomenu besede predstavljajo substrat tudi živi organizmi v vod-

nem okolju. Razdelitev, ki se uporablja za ekološko vrednotenje vodotokov v državah Evropske unije, je predstavljena v tabeli 5.

Tabela 5. Razdelitev organskih substratov (prilagojeno po AQEM 2002)

Kategorija	Opis
Alge	Nitaste alge, kosmi alg
Potopljeni makrofiti	Cvetnice, hare, mahovi
Emergentni makrofiti	Šaši, trst, rogoz, ježki itd.
Živi deli kopenskih rastlin	Majhne korenine, plavajoči deli obrežne vegetacije
Ksilal (les)	Debla, veje, odmrle korenine
Večji odmrli organski delci (CPOM)	Delci >1 mm; npr. odpadlo listje, iglice
Manjši odmrli organski delci (FPOM)	Delci v velikosti od 0,45 µm do 1 mm
»Sewage fungus«	Heterotrofne saprofitske bakterije (*Sphaerotilus, Beggiatoa, Thiothrix*) in glive (*Leptomitus*)

Vrsto in velikost mineralnega ter dela organskega substrata v tekočih površinskih vodnih telesih določajo poleg hidroloških razmer tudi erozijski procesi. Del organske komponente (predvsem živi del) pa je prisoten zaradi biotske aktivnosti v vodnem telesu.

Vaja 4: Določanje deležev substrata

Metodologija

Za vzorčenje anorganskih usedlin in odmrlega organskega substrata so v uporabi različni vzorčevalniki (grabilci, korerji itd.), odvisno od globine vodnega telesa. Vzorčenju sledi sejanje skozi sita in filtre z okenci različnih velikosti ter določanje deležev substrata. Za določanje živega substrata uporabljamo metodo subjektivnega vrednotenja deležev na osnovi opazovanja. Metoda je subjektivna in uporabna v plitvih vodotokih z vidnim dnom, z določitvijo deležev živega substrata pa ocenimo vrednosti na nekaj odstotkov natančno.

Material

- tabele razdelitve substrata v velikostne razrede

Izvedba

1. Ocenite odstotke posameznih tipov anorganskega substrata po tabeli 4.
2. Ocenite odstotke posameznih živih sestavin organskega substrata po tabeli 5.
3. Vrednosti vpišite v tabelo.

Vzorčno mesto Parameter			
Datum			
Anorganski substrat (%)			
• **Megalital**			
• **Makrolital**			
• **Mezolital**			
• **Mikrolital**			
• **Akal**			
• **Psamal**			
• **Agrilal**			
Organski substrat (%)			
• **Alge**			
• **Potopljeni makrofiti**			
• **Emergentni makrofiti**			
• **Živi deli kopenskih rastlin**			
• **Ksilal (les)**			
• **Večji organski delci (CPOM)**			
• **Manjši organski delci (FPOM)**			
• **»Sewage fungus«**			

2. FIZIKALNE IN KEMIJSKE METODE

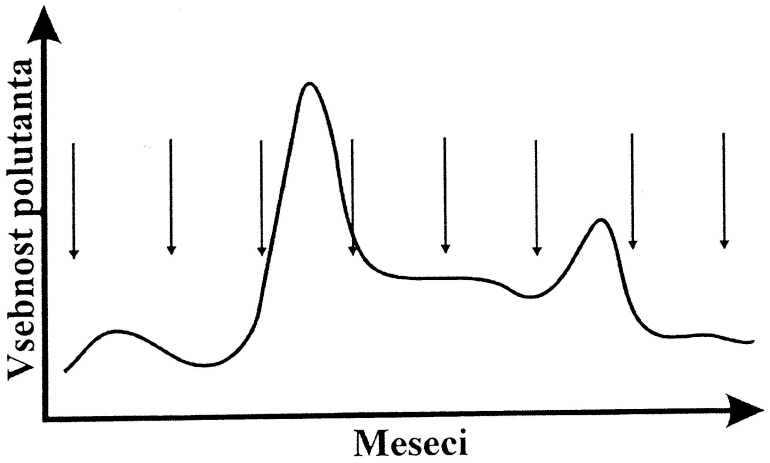
Vrednotenje stanja in razdelitev vodotokov na osnovi fizikalnih in kemijskih parametrov je z vidika kakovosti voda ena najpogostejših metod. Skupaj z biološkimi analizami jo uporabljajo v ZDA in v evropskih državah. Pri tem vrednotenju kakovosti izvajamo analize vode in usedlin, katerih stanje je posledica naravnih značilnosti vodotoka, prispevnega območja in antropogenih vplivov.

Najpogosteje izvajamo meritve in analize naslednjih fizikalnih in kemijskih parametrov:

- pH,
- temperatura,
- koncentracija (vsebnost) raztopljenega kisika,
- nasičenost vode s kisikom,
- BPK_5 in KPK,
- vsebnosti nitratov, nitritov in amonija,
- ortofosfat,
- suspendirane snovi,
- vsebnost organskih snovi in
- vsebnost anorganskih snovi.

Omejitev pri tem vrednotenju je ta, da so dobljeni rezultati odraz trenutnega stanja, saj se fizikalne in kemijske značilnosti v vodotoku lahko hitro spreminjajo, tudi med dnevom. Za prikaz dejanskih

razmer je potrebno pravilno in predvsem dovolj pogosto vzorčenje (slika 6). Najpopolnejše podatke dobimo s kontinuiranim merjenjem sprememb vsaj nekaterih parametrov.



Slika 6. Primer za nezadostno vzorčenje abiotskih parametrov, pri katerem so kljub relativni pogostosti neevidentirane maksimalne vsebnosti

2. 1 Osnovni fizikalni in kemijski parametri

2. 1. 1 Temperatura

Temperaturne spremembe v vodnih telesih so odraz klimatskih sprememb, ki se pojavljajo sezonsko, za nekatera vodna telesa pa so značilne tudi dnevno-nočne spremembe. Na temperaturo v vodotokih vplivajo še površinski odtoki in dotoki ter talna voda. V vseh vodnih okoljih na spremembo temperature najpomembneje vpliva neposredna absorpcija sončevega sevanja. Snovi, ki to direktno sevanje absorbirajo, so voda, v vodi raztopljene organske snovi in suspendirani delci. Manj pomembna vira sta še oddajanje toplote iz usedlin in zraka. Temperatura vode neposredno vpliva na fizikalne, kemijske in biotske procese v vodnih telesih in posledično na vrednosti mnogih spremenljivk. Ob zviševanju temperature se kemijske reakcije in izhlapevanje pospešijo. Zmanjša se topnost nekaterih plinov v vodi, npr. O_2, CO_2, N_2, CH_4. Tudi metabolna aktivnost organizmov je povezana s temperaturo. V toplejši vodi zvišana stopnja respiracije vodi v povečano privzemanje kisika in pospešeno dekompozicijo organskih snovi. Zviša se stopnja rasti (najbolj opazna pri bakterijah in fitoplanktonskih organizmih, ki se hitro množijo), zaradi tega se poveča motnost vode. Makrofiti hitreje rastejo in kadar je na voljo dovoj nutrientov, se pojavi tudi cvetenje alg. Temperatura talne vode je stalna in je ob površinskih izvirih približno enaka povprečni letni zračni temperaturi kraja. Izjema so zelo globoki vodnjaki, na katere vpliva tudi globinski termalni gradient. V Sloveniji imajo površinske netermalne vode običajno temperaturo med 0 in 30 °C. Temperature se spreminjajo sezonsko, z minimumom v zimskem in maksimumom v poletnem obdobju. Neznačilno visoke temperature se lahko pojavijo ob izpustih hladilnih vod (npr. iz nuklear-

nih elektrarn, termoelektrarn) in takrat govorimo o termalnem onesnaženju. Ker temperatura močno vpliva na mnoge pomembne dejavnike in procese v vodi, je zelo pomemben parameter pri določanju kakovosti voda. Za natančnejše razumevanje biotskih in kemijskih procesov v vodnem telesu je pogosto potrebno vzorčenje v različnih obdobjih leta, še posebej v jezerih in akumulacijah v času stratifikacije.

Vaja 5: Merjenje temperature vode

Metodologija

Meritve temperature v vodotokih morajo biti opravljene *in situ*, to je na mestu vzorčenja, v jezerih pa lahko s potopno črpalko vzamemo vzorec vode iz izbrane globine in izmerimo temperaturo takoj po odvzemu. Temperatura naj bo izmerjena na 0,1 °C natančno. Meritve temperature vode so lahko izvedene s termometri ali s termistorji.

1) Merjenje s termometri

Za meritve uporabljamo:
a) živosrebrne termometre,
b) alkoholne termometre.

2) Merjenje s termistorji

Običajno so del naprav za merjenje drugih parametrov, ki so temperaturno odvisni (npr. elektroprevodnost, pH, koncentracija kisika itd.).

Material

- termometer (alkoholni ali živosrebrni)
- naprava z vgrajenim termistorjem

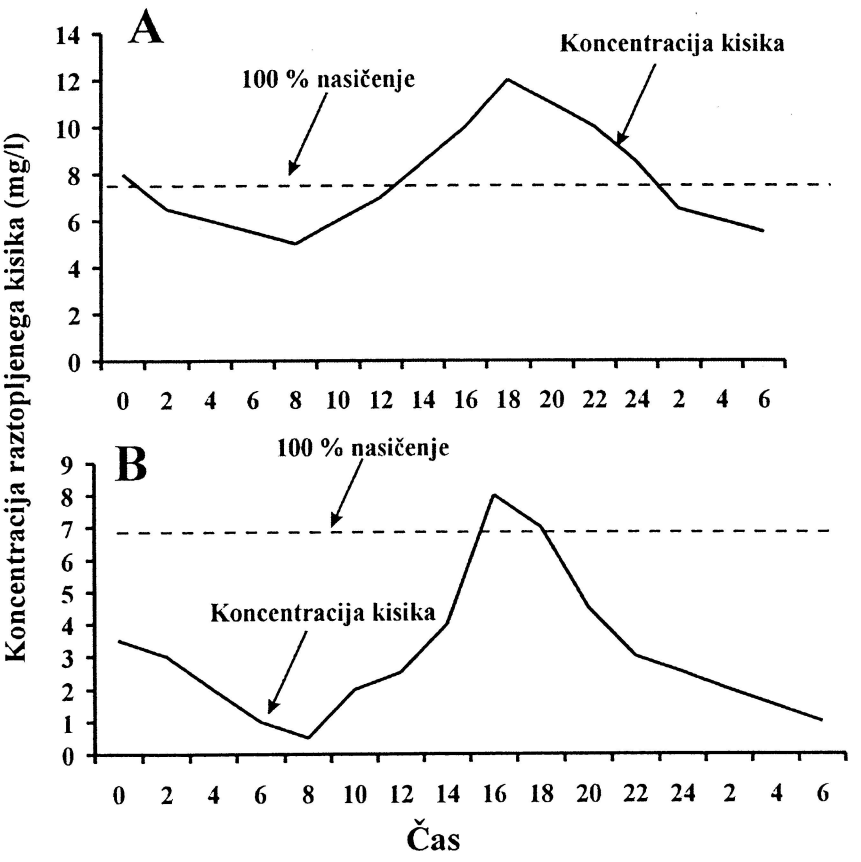
Izvedba

1. Termometer oz. termistor potopite v vodo in počakajte, dokler se temperatura ne ustali.
2. Vrednost izmerjene temperature odčitajte z ekrana na 0,1 °C natančno, pri čemer mora biti termometer oz. elektroda s termistorjem potopljena v vodo.
3. Vrednosti vpišite v tabelo.

Vzorčno mesto / Parameter				
Datum				
Ura				
Vreme				
Temperatura vode (°C)				

2. 1. 2 Koncentracija raztopljenega kisika

Prosti kisik v vodi je bistven za vse aerobne organizme. Koncentracija kisika je odvisna od fizikalnih, kemijskih in biotskih procesov v vodi. Spreminja se v odvisnosti od temperature in atmosferskega tlaka, slanosti, turbulence, fotosintezne aktivnosti primarnih producentov in respiratorne aktivnosti življenjske združbe. Z višanjem temperature in slanosti vode se topnost kisika zmanjša, medtem ko z večanjem turbulence narašča. Čeprav imajo fizikalni in kemijski procesi ključno vlogo pri raztapljanju kisika v vodi, na njegovo končno koncentracijo in razporeditev v vodnem stolpcu bistveno vplivata primarna produkcija zelenih rastlin in razgradni procesi saprofitskih bakterij. S fotosintezno aktivnostjo se koncentracija kisika povečuje, medtem ko respiracijska aktivnost organizmov zmanjšuje vsebnost raztopljenega kisika. V neobremenjenih sistemih so spremembe v koncentraciji kisika sezonske in tudi dnevne v odvisnosti od temperature in aktivnosti organizmov. Na mestih izpustov odpadnih voda, bogatih z organskimi snovmi, so zaradi povečane mikrobne aktivnosti koncentracije kisika nižje v primerjavi z neobremenjenimi sistemi, razlike pa so tudi v nihanjih koncentracij preko dneva (slika 7).



Slika 7. Dnevno-nočno spreminjanje vsebnosti kisika v organsko neobremenjenem (A) in organsko obremenjenem (B) vodotoku

Pri ekstremnem zmanjšanju koncentracije kisika se pojavijo anoksične razmere, še posebej v coni izmenjave med usedlinami in vodo, kjer prihaja do razgradnje organskih usedlin. V celinskih vodah niha koncentracija med 15 mg/l pri 0 °C in 8 mg/l pri 25 °C,

čeprav se v primeru močnega biogenega prezračevanja vrednosti lahko povzpnejo čez 20 mg/l.

Določanje koncentracije kisika je bistveno za oceno kakovosti vode, saj vpliva na skoraj vse biotske procese in kemijske reakcije v vodnih telesih. Spremembe v koncentraciji kisika so lahko zgodnji pokazatelj spremenjenih razmer v vodnih telesih. Koncentracije pod 5 mg/l negativno vplivajo na delovanje in preživetje mnogih organizmov in so vzrok za spremembe združb. Vrednosti pod 2 mg/l povzročajo smrt rib in nekaterih drugih organizmov. Meritve koncentracije raztopljenega kisika so uporabne za ugotavljanje stopnje organske onesnaženosti vodnih teles, razpada organskih snovi in za določanje samočistilne sposobnosti vodnih teles. Kot pokazatelj onesnaženosti podtalnice pa je količina raztopljenega kisika manj primeren parameter.

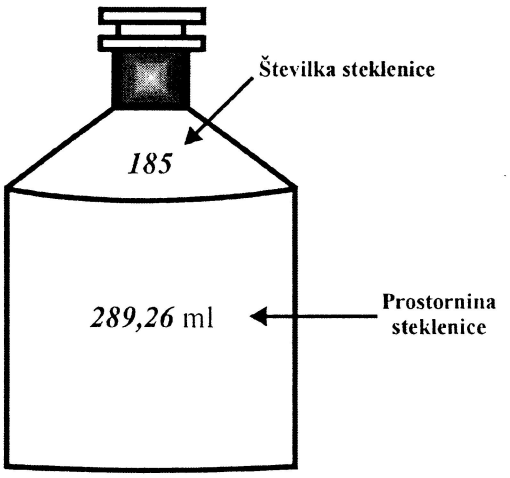
Vaja 6: Merjenje vsebnosti v vodi raztopljenega kisika

Metodologija

Obstajata dve osnovni metodi merjenja koncentracije prostega kisika v vodi, titracijska in elektrometrična.

1) Titracijska (Winklerjeva) metoda

Osnova te metode je kemijska fiksacija prostega kisika v vzorcu vode, zajetem v Winklerjevo steklenico (slika 8). Fiksacijo izvedemo na terenu, titracijo pa v laboratoriju.



Slika 8. Winklerjeva steklenica

Winklerjeva metoda temelji na oksidaciji manganovega hidroksida (oz. Mn^{2+}) s kisikom, raztopljenim v vodi, pri čemer nastanejo štirivalentne manganove spojine. Med reakcijo se v kislem mediju iz dodanega KJ sprošča prosti jod. Količina prostega joda je kemijsko enaka količini raztopljenega kisika, prisotnega v vzorcu. Določimo jo s titracijo z natrijevim tiosulfatom. Metoda je primerna za določanje kisika v koncentracijah, višjih od 0,5 mg/l.

Reakcije ob dodatku reagentov so naslednje:

1. Manganov diklorid reagira z raztopino natrijevega hidroksida in kalijevega jodida, pri čemer se tvori oborina manganovega hidroksida:

$$MnCl_2 + 2\ NaOH \rightarrow Mn(OH)_2 + 2\ NaCl$$

2. Oborina bele barve v vzorcu nakazuje odsotnost raztopljenega kisika. Rjava oborina je znak za prisotnost kisika, ki reagira z manganovim hidroksidom in tvori manganov oksid:

$$2\ Mn(OH)_2 + O_2 \rightarrow 2\ MnO(OH)_2$$

3. Ob dodatku koncentrirane žveplove (VI) kisline se oborina raztopi, pri čemer se tvori manganov sulfat:

$$2\ MnO(OH)_2 + 4\ H_2SO_4 \rightarrow 2\ Mn(SO_4)_2 + 6\ H_2O$$

4. Takoj zatem poteče reakcija med manganovim sulfatom in kalijevim jodidom, pri čemer pride do sproščanja joda in tipičnega temnega obarvanja raztopine:

$$2\ Mn(SO_4)_2 + 4\ KI \rightarrow 2\ MnSO_4 + 2\ K_2SO_4 + 2\ I_2$$

5. Število molov joda, sproščenega v tej reakciji, je enako številu molov prostega kisika, prisotnega v vzorcu. Količino joda določimo s titracijo raztopine z raztopino natrijevega tiosulfata:

$$4\ Na_2S_2O_3 + 2\ I_2 \rightarrow 2\ Na_2S_4O_6 + 4\ NaI$$

Material

- Winklerjeve steklenice prostornine 250 - 300 ml, po dve za vsako vzorčno mesto
- termometer
- pipete prostornine 10 ml (za vsak reagent posebej)
- nastavki za pipetiranje

Reagenti

- obarjalna raztopina (360 g NaOH, 200 g KI in 5 g NaN_3, raztopljenih v 1000 ml destilirane vode)
- raztopina manganovega (II) klorida (800 g $MnCl_2 \cdot 2H_2O$, raztopljenih v 1000 ml destilirane vode)
- koncentrirana žveplova (VI) kislina (H_2SO_4)
- 0,01 N raztopina natrijevega tiosulfata ($Na_2S_2O_3$)
- škrobovica (5 g škroba, raztopljenega v 500 ml destilirane vode z dodatkom 30 ml ocetne kisline)

Izvedba

I) Teren

1. Na vzorčnem mestu izmerite temperaturo vode.
2. Winklerjevo steklenico do vrha napolnite z vzorcem vode (pazite, da v steklenici ni zračnih mehurčkov!) in jo zamašite z originalnim steklenim zamaškom.
3. Steklenico ponovno odmašite in s pipeto, dodajte 2 ml raztopine NaOH-KI ter z drugo pipeto 2 ml raztopine $MnCl_2$. Steklenico ponovno zamašite.
4. Vzorec v steklenici premešajte z večkratnim (vsaj 10-kratnim) obračanjem steklenice.

II) Laboratorij

5. Počakajte, da se oborina usede na dno. Nato 2/3 bistre raztopine (supernatanta) previdno odstranite s pipeto (pazite, da ne odstranite tudi oborine!).
6. Dodajte 5 ml koncentrirane H_2SO_4.
7. Steklenico ponovno zaprite in vsebino dobro premešajte (s stresanjem steklenice), da se oborina popolnoma raztopi.
8. Dodajte 1 ml škrobovice.
9. Titrirajte z 0,01 N $Na_2S_2O_3$ do razbarvanja vzorca (razbarvanje mora biti enakomerno v celotnem vzorcu).
10. Izračunajte vsebnost raztopljenega kisika po enačbi:

$$O_2\ (mg/l) = (A \times N \times 8 \times 1000) / (B - C)$$

A - volumen porabljene raztopine $Na_2S_2O_3$ (ml)
B - volumen Winklerjeve steklenice (ml)
C - volumen dodanih reagentov (NaOH - KI in $MnCl_2$) (ml)
N - normaliteta raztopine $Na_2S_2O_3$

11. Vrednosti vpišite v tabelo.

Številka steklenice / Parameter				
Vzorčno mesto				
Datum				
Ura				
Vreme				
Volumen steklenice (ml)				
Prostornina porabljene raztopine $Na_2S_2O_3$ (ml)				
Koncentracija kisika (mg/l)				

2) Določanje koncentracije kisika z oksimetrom (elektrometrična metoda)

To metodo izberemo, kadar je potrebno na terenu opraviti veliko število meritev. Z oksimetrom dejansko merimo parcialni tlak kisika v vodi, vgrajeni termosenzor pa omogoča upoštevanje temperature vode v času meritve.

Pri potopu kisikove elektrode v vodo raztopljeni kisik v vodi potuje skozi polprepustno hidrofobno membrano v kamrico z zlato katodo in srebrno anodo. Kamrica je zapolnjena z elektrolitom KCl, med elektrodama pa je konstantna napetostna razlika 800 mV. Na zlati katodi se kisikovi atomi reducirajo v hidroksidne ione, ki se s kalijem iz elektrolita vežejo v KOH. Zaradi izrabe elektrolita je nujna občasna zamenjava elektrolita. Na srebrni anodi poteče oksidacija: $Ag \rightarrow Ag^+$, pri čemer se Ag^+ veže s Cl^- in nastane $AgCl_2$, ki se obarja na anodi. Debelina oborine se počasi veča in moti meritve, zato moramo anodo občasno mehansko očistiti. Podobno kot kisik reagirajo tudi nekateri drugi plini, vendar je selektivnost meritve delno regulirana z napetostno razliko med elektrodama (drugi plini se reducirajo pri večji napetostni razliki). Večje napake povzroča le prosti plinasti klor (Cl_2) v vodi, ker se reducira tudi pri nižjem potencialu. Pri merjenju vsebnosti kisika z elektrodo v vodi s prostim klorom so torej rezultati napačni.

Reakcije

Skupna reakcija: $Ag^+ + 2\ OH^- + 2\ KCl \rightarrow AgCl_2 + 2KOH$

Anoda: $Ag \rightarrow Ag^+$

Katoda: $O_2 \rightarrow OH^-$

Material

- oksimeter

Izvedba

1. Oksimeter pred uporabo umerite:
   a) oksimeter vključite s pritiskom na tipko "on":
   b) preklopite na funkcijo "umerjanje" oz. pritisnite tipki "CAL" in nato "RUN/ENTER",
   c) počakajte, da se na ekranu pojavi število oz. da oznaka "AR" neha utripati (v primeru okvare elektrode se na ekranu pokaže črka "E").
2. Preklopite na funkcijo koncentracija kisika.
3. Snemite kalibrirno komoro in elektrodo potopite v vodo.
4. Počakajte, da se število na ekranu ustali in odčitajte koncentracijo raztopljenega kisika (na ekranu se sočasno pokaže tudi temperatura vode).
5. Vrednosti vpišite v tabelo.

Vzorčno mesto / Parameter				
Datum				
Ura				
Vreme				
Koncentracija kisika (mg/l)				

6. Oksimeter izklopite ter ponovno namestite kalibrirno komoro.

2. 1. 3 Nasičenost vode s kisikom

Nasičenost vode s kisikom je odvisna od temperature, zračnega tlaka in koncentracije ionov. 100 % nasičenost pomeni najvišjo možno nasičenost vode ob danem zračnem tlaku in temperaturi. Kljub temu nasičenost lahko čez dan presega 100 %, če je primarna produkcija v vodi večja od respiracije. Takrat govorimo o biogenem prezračevanju. Vrednosti pod 100 % nakazujejo višjo respiracijsko aktivnost od fotosintetske. Pitna voda ima ob vrednostih pod 80 % slab vonj in okus.

Tabela 6. Koncentracija v vodi raztopljenega kisika pri 100 % nasičenosti v odvisnosti od temperature

T (°C)	0,00	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90
0	14,16	14,12	14,08	14,04	14,00	13,97	13,93	13,89	13,85	13,81
1	13,77	13,74	13,70	13,66	13,63	13,59	13,55	13,51	13,48	13,44
2	13,40	13,37	13,33	13,30	13,26	13,22	13,19	13,15	13,12	13,08
3	13,05	13,01	12,98	12,94	12,91	12,87	12,84	12,81	12,77	12,74
4	12,70	12,67	12,64	12,60	12,57	12,54	12,51	12,47	12,44	12,41
5	12,37	12,34	12,31	12,28	12,25	12,22	12,18	12,15	12,12	12,09
6	12,06	12,03	12,00	11,97	11,94	11,91	11,88	11,85	11,82	11,79
7	11,76	11,73	11,70	11,67	11,64	11,61	11,58	11,55	11,52	11,50
8	11,47	11,44	11,41	11,38	11,36	11,33	11,30	11,27	11,25	11,22
9	11,19	11,16	11,14	11,11	11,08	11,06	11,03	11,00	10,98	10,95
10	10,92	10,90	10,87	10,85	10,82	10,80	10,77	10,75	10,73	10,70
11	10,67	10,65	10,62	10,60	10,57	10,55	10,53	10,50	10,48	10,45
12	10,43	10,40	10,38	10,36	10,34	10,31	10,29	10,27	10,24	10,22
13	10,20	10,17	10,15	10,13	10,11	10,08	10,06	10,04	10,02	10,00
14	9,98	9,95	9,93	9,91	9,89	9,87	9,85	9,83	9,81	9,78
15	9,76	9,74	9,72	9,70	9,68	9,66	9,64	9,62	9,60	9,58
16	9,56	9,54	9,52	9,50	9,48	9,46	9,45	9,43	9,41	9,39
17	9,37	9,35	9,33	9,31	9,3	9,28	9,26	9,24	9,22	9,20
18	9,18	9,17	9,15	9,13	9,12	9,10	9,08	9,06	9,04	9,03
19	9,01	8,99	8,98	8,96	8,94	8,93	8,91	8,89	8,88	8,86
20	8,84	8,83	8,81	8,79	8,78	8,76	8,75	8,74	8,71	8,70
21	8,68	8,67	8,65	8,64	8,62	8,61	8,59	8,58	8,56	8,55
22	8,53	8,52	8,50	8,49	8,47	8,46	8,44	8,43	8,41	8,40
23	8,38	8,37	8,36	8,34	8,33	8,32	8,30	8,29	8,27	8,26
24	8,25	8,23	8,22	8,21	8,19	8,18	8,17	8,15	8,14	8,13
25	8,11	8,10	8,09	8,07	8,06	8,05	8,04	8,02	8,01	8,00
26	7,99	7,97	7,96	7,95	7,94	7,92	7,91	7,90	7,89	7,88
27	7,86	7,85	7,84	7,83	7,82	7,81	7,79	7,78	7,77	7,76
28	7,75	7,74	7,72	7,71	7,7	7,69	7,68	7,67	7,66	7,65
29	7,64	7,62	7,61	7,60	7,59	7,58	7,57	7,56	7,55	7,54
30	7,53	7,52	7,51	7,50	7,48	7,47	7,46	7,45	7,44	7,43

Vaja 7: Merjenje nasičenosti vode s kisikom

Metodologija

1) Določanje na osnovi izmerjene koncentracije kisika in temperature

Material

- termometer
- material, potreben za določanje koncentracije kisika (glej vajo 6)
- tabela vrednosti koncentracij kisika pri 100 % nasičenosti v odvisnosti od temperature (tabela 6)

Reagenti

- reagenti potrebni za določanje koncentracije kisika (glej vajo 6)

Izvedba

1. Izmerite temperaturo vode.
2. Določite koncentracijo raztopljenega kisika po Winklerju.
3. Odčitajte iz tabele 6 koncentracijo kisika ob 100 % nasičenost pri dani temperaturi in izračunajte deficit ali suficit kisika.
4. Vrednosti vpišite v tabelo.

Vzorčno mesto / Parameter				
Datum				
Ura				
Vreme				
Nasičenost vode s kisikom (%)				

2) Meritve z oksimetrom

Material

- oksimeter

Izvedba

1. Oksimeter pred vsako uporabo umerite (glej izvedbo pri merjenju koncentracije kisika pri vaji 6).
2. Snemite kalibrirno komoro in elektrodo potopite v vodo.
3. Na oksimetru nastavite funkcijo "nasičenost s kisikom".
4. Počakajte, da se število na ekranu ustali in odčitajte nasičenost vode s kisikom.
5. Vrednosti vpišite v tabelo.

Vzorčno mesto / Parameter				
Datum				
Ura				
Vreme				
Nasičenost vode s kisikom (%)				

6. Oksimeter izklopite ter ponovno namestite kalibrirno komoro.

2. 1. 4 Elektroprevodnost

Sposobnost vode, da prevaja električni tok, je opredeljena kot elektroprevodnost, skrajšano prevodnost. Odvisna je od temperature raztopine in koncentracije ionov v raztopini ter njihovih značilnosti:

- stopnje disociiranosti snovi v ione,
- električnega naboja posameznih ionov in
- mobilnosti ionov.

Izražena je v mikrosiemensih na centimeter (μS/cm). Bolj ko je vodno telo obremenjeno s hranili, tem višja je prevodnost, saj se z dotokom hranil praviloma poveča količina nabitih delcev. V letnem ciklu so vrednosti najvišje jeseni, ko prihaja do intenztivne razgradnje (dekompozicije) odpadlega listja, izgradnja (bioprodukcija) pa je zaradi nizkih temperatur in nizke intenzitete svetlobe relativno nizka. Padavine zaradi učinka redčenja zmanjšujejo koncentracije ionov, saj dežnica običajno vsebuje nizke koncentracije ionov. V večini celinskih voda je prevodnost med 10 in 1000 μS/cm, v zelo obremenjenih in mineralnih vodah pa je ta vrednost presežena.

Vaja 8: Merjenje prevodnosti vode

Metodologija

1) S konduktometrom

Material

- konduktometer

Izvedba

1. Konduktometer vključite s pritiskom na tipko "on".
2. S tipko "χ" nastavite funkcijo prevodnost.
3. Elektrodo konduktometra potopite v vodo.
4. Počakajte, da se število na ekranu ustali (pribl. 1 min), in odčitajte prevodnost.
5. Vrednosti vpišite v tabelo.

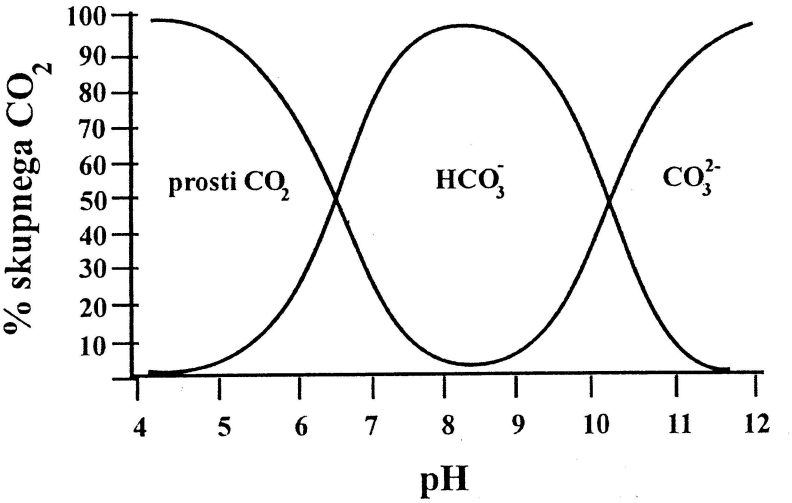
Vzorčno mesto / Parameter				
Datum				
Ura				
Elektroprevodnost (μS/cm)				

6. Konduktometer izklopite s pritiskom na tipko "off".

2. 1. 5 pH

pH vpliva na mnoge biotske in kemijske procese v vodi. Definiran je kot negativni desetiški logaritem H^+ ionov ($pH = - \log_{10} H^+$). Vrednosti se lahko nahajajo med 0 (zelo kislo) in 14 (zelo bazično), pri čemer pH = 7 predstavlja nevtralno območje. V neonesnaženih vodah je pH pretežno odvisen od ravnotežja med CO_2, HCO_3^- in CO_3^{2-} in tudi od drugih naravnih spojin, kot so huminske in fulvo kisline (slika 9). Na naravno karbonatno ravnotežje lahko vplivajo industrijski efluenti in atmosfersko obremenjevanje s kislimi snovmi. Spremembe v pH so lahko odraz prisotnosti efluentov, še zlasti če je z meritvami ugotovljena tudi povišana prevodnost. Dnevno nihanje pH je lahko rezultat fotosintetske aktivnosti in respiracije primarnih producentov. Veliko pomanjkanje CO_2 zaradi fotosintetske aktivnosti poruši karbonatno ravnotežje. pH večine naravnih voda

znaša med 6,0 in 8,5. Nižje vrednosti se lahko pojavijo v vodah, bogatih z raztopljenimi organskimi snovmi (npr. barjanske vode, vode na silikatih), medtem ko so višje vrednosti pogoste v evtrofnih sistemih.



Slika 9. Razmerje med različnimi anorganskimi spojinami ogljika glede na pH vode

Vaja 9: Merjenje pH vode

Metodologija

1) Merjenje z uporabo barvnih indikatorjev

Nekatere organske snovi spremenijo barvo ob različnih pH vrednostih raztopine. Pri teh meritvah je potrebno uporabljati barvne tabele z označenimi pH vrednostmi in upoštevati območje delovanja različnih indikatorjev.

2) Merjenje s pH-metrom

Material

- termometer
- pH-meter
- pufri z različnimi pH vrednostmi

Izvedba

1. Po potrebi pH-meter pred uporabo umerite s pufri z znanimi pH vrednostmi.
2. pH-meter vključite s pritiskom na tipko "on".
3. S termometrom izmerite temperaturo vode in vrednost vtipkajte v pH-meter.
4. Izberite funkcijo "pH" in elektrodo pH-metra potopite v vodo.
5. Počakajte, da se število na ekranu ustali in odčitajte pH.

6. Vrednosti vpišite v tabelo.

Vzorčno mesto / Parameter				
Datum				
Ura				
pH				

7. pH-meter izklopite s pritiskom na tipko "off".

2. 1. 6 Barva vode

Od barve in motnosti vode je odvisna globina, do katere prodre svetloba, zato vplivata na fotosintetsko aktivnost oz. primarno produkcijo. Barva vode je rezultat valovnih dolžin svetlobe, ki jih voda ne absorbira, ali raztopljenih oz. partikulatnih snovi. Naravni minerali, kot so železov hidroksid in raztopljene organske snovi, npr. huminske kisline, dajejo vodi naravno barvo. Dejanska barva je barva, merjena po filtraciji ali centrifugiranju vode. Navidezna barva je posledica prisotnih obarvanih delcev in rezultat loma žarkov in odboja svetlobe od suspendiranih delcev. Močno onesnažene vode imajo lahko intenzivno navidezno barvo. Različne vrste fito- in zooplanktontov dajejo vodi navidezno barvo. Temno ali modrozelena barva je lahko rezultat prisotnosti cianobakterij, rumenorjava diatomej ali dinoflagelatov in rdeča zooplanktontov, kot so *Daphnia* spp. in ceponožci.

Metodologija

Barvo vode lahko merimo z različnimi metodami. Z eno izmed njih (metoda skupne absorbirane barve, TAC) merimo sestavljeno absorpcijo filtriranega vzorca med 400 in 700 nm. Prava barva je določena z meritvijo absorpcije pri 465 nm. Ker delci, ki dajejo vodi barvo, niso stabilni, morajo biti meritve opravljene najkasneje dve uri po odvzemu vzorca.

2. 1. 7 Vonj

Vonj vode je običajno rezultat nestabilnih hlapnih organskih snovi, ki jih proizvajajo fitoplanktonti, makrofiti ali pa nastajajo pri razgradnji organskih snovi, in nakazuje povečano anaerobno biotsko aktivnost. Povišana temperatura lahko pospeši produkcijo nekaterih metabolnih snovi, ki dajo vodi neprijeten vonj, npr. H_2S. Tudi industrijske in komunalne odplake lahko povzročajo vonj, neposredno ali pa kot posledica pospešene biološke aktivnosti. Organske komponente, anorganske kemikalije, nafta in plini lahko dajo vodi značilen vonj, ki pa ni dokaz za prisotnost raztopljenih škodljivih snovi.

Metodologija

Vonj določamo tako, da vzorec vode redčimo in označimo tisto redčenje, pri katerem zaznamo še minimalen vonj. Metoda je zelo odvisna od individualnih sposobnosti zaznavanja vonja in subjektivne presoje.

2. 2 Fizikalne in kemijske analize

2. 2. 1 BPK

Biokemijska poraba kisika (BPK) je mera za količino biokemijsko razgradljivih organskih snovi, prisotnih v vodnem vzorcu, in je enaka količini kisika, potrebnega za aerobno razgradnjo organskih snovi v stabilne anorganske. Za biokemijsko razgradnjo organskih snovi, ki so za heterotrofne mikroorganizme vir ogljika, ti izrabljajo v vodi raztopljen kisik. Poleg porabe kisika heterotrofnih mikroorganizmov vplivajo na izmerjene vrednosti BPK tudi mnogi drugi dejavniki. Med pomembnimi so poraba kisika zaradi respiracije prisotnih alg, poraba za nitrifikacijo ter za oksidacijo amonija in drugih spojin z reduciranim dušikom. BPK test je biokemijska metoda, ki pa jo zaradi neposredne povezanosti s fizikalnimi in kemijskimi analizami obravnavamo v tem poglavju.

Osnovni test BPK je bil razvit v Angliji kot absorpcijski test za določanje raztopljenega kisika oz. stopnje biokemijske oksidacije v vodotokih, za izpusti komunalnih odpadnih voda. Vendar je za predvidevanje vpliva odpadnih voda na vodno okolje treba upoštevati še mnoge druge dejavnike, kot so:

- temperatura vode,
- hitrost, pretok in turbulentnost,
- sončna svetloba,
- količina raztopljenega kisika,
- populacije (alge in makrofiti) in
- vpliv usedanja odpadnih snovi na dno.

Kot standardna metoda je bila sprejeta 5-dnevna inkubacija v temi, pri 20 °C, čeprav so v določenih primerih uporabne tudi druge inkubacijske dobe, npr. 10 dni, 20 dni itd. Vrednosti BPK_5 v neobremenjenih vodotokih znašajo <2 mg/l. V vodotokih z vtokom odpadnih vod dosegajo vrednosti 10 mg/l, na mestu izpusta pa so lahko tudi višje (do 50 mg/l). Vrednosti BPK_5 neočiščenih odpadnih voda so med 100 in 600 mg/l, v prehrambni industriji pa tudi do 25.000 mg/l. S procesi čiščenja se vrednosti v čistilni napravi znižajo na 20 do 100 mg/l v odvisnosti od metodologije in uspešnosti čiščenja.

Vaja 10: Določanje BPK_5

Metodologija

Z analizo BPK je potrebno pričeti čim prej po odvzemu vzorcev. V primeru, da so vzorci dlje časa izpostavljeni sobni temperaturi, se vrednosti BPK lahko zelo spremenijo. Kadar analize ne morejo biti

opravljene takoj po odvzemu vzorcev, po standardni metodi vzorce shranimo pri temperaturi do 5 °C. V nobenem primeru pa z analizo ne pričnemo več kot 24 ur po zajetju vzorca. Kisik v vzorcu mora biti prisoten v vsej inkubacijski dobi in po 5 dneh mora ostati v vzorcu vsaj 30 % kisika. Zaradi tega je v primerih organsko močno obremenjenih in odpadnih voda potrebno vzorce redčiti s čisto, s kisikom nasičeno vodo. Razmerje redčenja je odvisno od lastnosti vzorca. V razredčevalno vodo običajno dodajamo tudi hranilne snovi (dušik, fosfor, mikroelemente) za nemoteno rast bakterij. Prav tako moramo v vzorcu zagotoviti zadostno količino teh organizmov, zato jih v nekaterih primerih dodamo kot cepivo. To je lahko odpadna komunalna voda po sedimentaciji, biološko očiščena odpadna voda ali bolj obremenjena voda iz vodotoka. Pri tem moramo paziti, da v njej ni strupenih snovi.

Material

- enako kot za določanje kisika po Winklerju (glej vajo 6)

Izvedba

I) Teren

1. Winklerjeve steklenice sperite na vzorčnem mestu z vzorčevano vodo.
2. Na posameznem vzorčnem mestu napolnite štiri Winklerjeve steklenice z vzorcem vode.

II) Laboratorij

3. V dveh steklenicah takoj določite raztopljeni kisik po Winklerju.
4. Ostali dve steklenici inkubirajte 5 dni v temi pri temperaturi 20 °C.
5. Po petih dneh določite raztopljeni kisik po Winklerju (glej vajo 6).
6. Izračunajte vrednosti BPK_5 po enačbi:

$$BPK_5\ (mg/l) = K_z - K_k$$

BPK_5 - biokemijska potreba po kisiku v 5 dneh (mg/l)
K_z - koncentracija raztopljenega kisika v vzorcu pred inkubacijo (mg/l)
K_k - koncentracija raztopljenega kisika v vzorcu po inkubaciji (mg/l)

7. Vrednosti vpišite v tabelo.

Vzorčno mesto / Parameter				
Datum				
BPK_5 (mg/l)				

2. 2. 2 Nitrati

Nitratni ioni (NO_3^-) so pogosto prisotni v naravnih vodnih telesih, ker so končni produkt aerobne razgradnje organskih dušikovih spojin. Nitratni ion je potrebna hranilna snov za fotoavtotrofne organizme, saj ga le-ti asimilirajo in vgrajujejo v lastne celične proteine. Naravni viri nitratov v površinskih vodah so spiranje površin, odmrli deli rastlin in živali ter vulkanske kamnine. V neonesnaženih vodah so sezonske spremembe nitratov posledica primarne produkcije in odmiranja organizmov, vendar vrednosti običajno ne presegajo 1 mg/l. Koncentracije nad to mejo so posledica spiranja gnojenih kmetijskih površin, zato so v predelih z večjim deležem kmetijskih površin ob vodotoku večje tudi količine nitratov v vodi. Vrednosti običajno ne presegajo 10 mg/l. Prisotnost višjih koncentracij nitratov v vodnem okolju nakazuje prisotnost komunalnih in industrijskih odpadnih voda. Vrednosti dosegajo 25 mg/l, v primerih ekstremnega onesnaževanja pa tudi 900 mg/l. V jezerih vrednosti nad 1 mg/l stimulirajo rast alg, kar nakazuje možne probleme, povezane z evtrofnostjo. Odmiranje alg, ki sledi, povzroča sekundarne spremembe kakovosti vode, predvsem znižanje koncentracije raztopljenega kisika in povečanje števila bakterij, tudi patogenih.

V podtalnici so nitrati rezultat spiranja iz tal. Na nekaterih območjih se višje vrednosti koncentracije nitratov v pitni vodi pojavljajo zaradi intenzivnejšega gnojenja kmetijskih površin z mineralnimi gnojili v zadnjih 30 letih. Visoke koncentracije v pitni vodi predstavljajo nevarnost predvsem za dojenčke, mlajše od 3 mesecev. pH v njihovem želodcu je višji kot pri odraslih ljudeh in favorizira mikrobno redukcijo nitratov v nitrite. Nitriti se transportirajo v kri. Nitritni ion se veže na hemoglobin in tvori methemoglobin, ki pa ni prenašalec kisika. Sprememba hemoglobina v methemoglobin ni edina nevarnost za ljudi, saj nitrit v želodcu reagira tudi z amini in tvori potencialno kancerogene snovi. Med njimi so najnevarnejši nitrozamini. Zaradi potencialne nevarnosti nitratov v pitni vodi Svetovna zdravstvena organizacija (WHO) priporoča 50 mg/l za zgornjo mejo vsebnosti nitratov v pitni vodi. V Sloveniji so te vrednosti občasno presežene na nekaterih območjih z intenzivnim kmetijstvom in visokim nivojem podtalnice (npr. Prekmurje, Mursko, Apaško in Dravsko polje, Vipavska dolina).

Vaja 11: Določanje koncentracije nitratnih ionov

Metodologija

Določanje koncentracije nitratnih ionov je težavno zaradi kompleksnosti postopkov določanja, visoke verjetnosti, da so v vzorcu prisotne interferirajoče substance (ki jih je še posebej veliko v odpadnih vodah) in omejenega območja detekcije. Določanje nitratnih ionov se mora začeti takoj po odvzemu vode. Kadar to ni mogoče, je treba vzorce do začetka analize hraniti v vzorčevalnih posodah pri temperaturi 0 °C.

1) Metoda z natrijevim salicilatom

Nitratni ioni tvorijo v mediju brezvodne žveplene kisline z natrijevim salicilatom rumeno obarvano nitrosalicilno kislino, ki jo določimo fotometrično. Določanje motijo koloidne obarvane snovi ter težke kovine. Odstranimo jih lahko z dodatkom 5 ml raztopine aluminijevega sulfata na vsakih 100 ml vzorca ter raztopine natrijevega karbonata in natrijevega hidroksida do nevtralne reakcije in nastanka oborine, ki jo odfiltriramo. Vzorec moramo filtrirati skozi stekleni filter, tudi če obarvane snovi niso prisotne, saj meritve v vzorcu motijo vsi prisotni delci. Metoda je uporabna za določanje nitratnih ionov v koncentracijah od 0,1 do 20,0 mg/l. Vzorce, ki vsebujejo višje koncentracije, moramo ustrezno redčiti. Rezultate analize podajamo v mg NO_3^-/l na 0,1 mg/l natančno za vrednosti pod 10 mg/l in na 1 mg/l natančno za višje vrednosti. Če rezultat koncentracije nitratnih ionov pomnožimo z 0,226, dobimo koncentracijo nitratnega dušika v mg/l.

Material

- čaše volumna 100 ml (dve za vsak vzorec in ena za umerjanje spektrofotometra)
- merilna buča volumna 100 ml
- merilna buča volumna 1000 ml
- sušilnik
- steklene ali polietilenske posode volumna 1 l
- merilni valj volumna 100 ml
- pipete in nastavki za pipetiranje
- stekleni filter
- spektrofotometer

Reagenti

- raztopina natrijevega salicilata ($C_7H_5NaO_3$)
- žveplova (VI) kislina (H_2SO_4)
- natrijev hidroksid (NaOH)
- kalij-natrijev tartrat ($C_4H_4KNaO_6 \cdot 6H_2O$)
- destilirana voda

Izvedba

I) Teren

1. Posodo sperite na mestu vzorčenja z vzorčevano vodo.
2. Posodo napolnite do vrha z vzorcem vode.

II) Laboratorij

3. Pripravite raztopino Na-salicilata: 0,5 g Na-salicilata v merilni bučki dolijte do 100 ml destilirane vode (raztopina je obstojna 1 dan).
4. Pripravite raztopino natrijevega hidroksida-kalij natrijevega tartrata: 400 g NaOH in 60 g kalij-natrijevega tartrata raztopite v destilirani vodi in dopolnite z destilirano vodo v merilni buči do 1000 ml (ohlajeno shranite v polietilenski posodi).
5. Vzorec vode prefiltrirajte skozi stekleni filter.
6. V dve stekleni čaši nalijte v vsako po 20 ml vzorca vode.

7. V tretjo čašo nalijte 20 ml destilirane vode (vzorec za umerjanje spektrofotometra).
8. V vsako čašo dodajte 1 ml Na-salicilata.
9. Sušite 24 ur pri temperaturi 105 °C.
10. Ohlajeni sušini dodajte 2 ml koncentrirane H_2SO_4.
11. Po 10 minutah dodajte 15 ml destilirane vode.
12. Dodajte 15 ml raztopine NaOH-KNa tartrata.
13. Termostatirajte 10 minut pri temperaturi 25 °C (raztopina se obarva rumeno).
14. Umerite spektrofotometer:
    a) na spektrofotometru izberite (z gumbom) valovno dolžino 430 nm;
    b) spektrofotometer umerite na 100 % prepustnost z vzorcem za umerjanje;
    c) spektrofotometer preklopite na ekstinkcijo (vzorec za umerjanje ima vrednost ekstinkcije ≈ 0,000).
15. Določite ekstinkcijo pri valovni dolžini 430 nm (najkasneje pol ure po obarvanju).
16. Izmerite vrednosti ekstinkcij ostalih vzorcev.
17. Izračunajte povprečno vrednost ekstinkcije po enačbi:

$$E_{pov} = (E1 + E2) / 2$$

E_{pov} - povprečna vrednost ekstinkcije
E1 - vrednost ekstinkcije vzorca v prvi paralelki
E2 - vrednost ekstinkcije vzorca v drugi paralelki

18. Izračunajte koncentracije nitratov v vzorcu po enačbi:

$$NO_3^- (mg/l) = E_{pov} \times 9{,}63$$

19. Vrednosti vpišite v tabelo.

Vzorčno mesto / Parameter				
Datum				
Ekstinkcija E1				
Ekstinkcija E2				
Ekstinkcija E_{pov}				
NO_3^- (mg/l)				

2. 2. 3 Fosfor

Fosfor je esencielen nutrient za žive organizme in omejujoč dejavnik rasti rastlin, vključno s cianobakterijami, od njega je odvisna primarna produkcija v vodnih telesih. V vodah je fosfor prisoten predvsem vezan v raztopljenih ortofosfatu in polifosfatu ter v trdnih organskih spojinah. Pretvorbe med temi spojinami v vodnih telesih potekajo kontinuirano v odvisnosti od razgradnje in sinteze

organskih spojin ter oksidacije anorganskih spojin. Naravni viri fosforja so preperele kamnine, ki vsebujejo fosfor, in razgrajene organske snovi. V vodi je fosfor redko prisoten v višjih koncentracijah, predvsem zaradi aktivnega privzemanja primarnih producentov. V neobremenjenih vodnih telesih koncentracije ne presegajo vrednosti 0,1 mg/l. Kmetijske površine prispevajo k povišanim koncentracijam v vodotokih. V vodotokih, ki tečejo skozi ekstenzivna kmetijska območja, se vrednosti povzpnejo na 0,25 mg/l, povišanje pa povzročijo komunalne in industrijske odpadne vode. V anoksičnih razmerah se fosfor iz usedlin sprošča v sloje stoječe vode tik ob dnu, zato so tam njegove koncentracije višje.

Ker je fosfor bistvena komponenta kroženja med živo in neživo naravo v vodnih telesih, je vključen v vrednotenje trofičnega stanja vodnih teles in program monitoringa. Visoke koncentracije v vodnih telesih nakazujejo prisotnost polutantov. V teh primerih povečane koncentracije pospešujejo produktivnost alg in evtrofikacijske procese. Zviševanje koncentracij fosforja kot posledica človeške aktivnosti velja za osnovni vzrok evtrofikacije.

Vaja 12: Določanje koncentracije ortofosfatnih ionov

Metodologija

Koncentracijo fosforja v vodah običajno določamo kot ortofosfat, celotni anorganski fosfor ali celotni fosfor. Fosfor v vodotopnih spojinah določimo po filtriranju skozi stekleni filter z odprtinami 0,45 µm, in sicer takoj po vzorčenju ali najkasneje 2 uri po odvzemu vzorcev, če jih hranimo pri temperaturi 5 °C.

1) Metoda s kositrovim (II) kloridom

Amonmolibdat tvori v kislem mediju fosformolibdat, ki ga reduciramo s kositrovim (II) kloridom v intenzivno modro obarvan kompleks. Določevanje motijo koloidne obarvane snovi ter težke kovine, ki pa jih lahko odstranimo z dodatkom različnih raztopin (glej metodologijo pri nitratih). Vzorec vode moramo filtrirati skozi stekleni filter, tudi če obarvane snovi niso prisotne, saj meritve motijo vsi delci, prisotni v vzorcu. Metoda je uporabna za določanje ortofosfatnih ionov v koncentracijah od 0,01 do 6,0 mg PO_4^{3-}/l in v območju pH vrednosti med 4 in 10. V veljavi sta dve različici iste metode določanja koncentracije ortofosfatnih ionov, odvisno od njihove koncentracije v vzorcu.

a) Prva različica

Z različico, ki je opisana v nadaljevanju, lahko izmerimo koncentracije ortofosfatov v območju med 0,1 in 1,5 mg/l. Postopki so enostavnejši, ekstinkcijo vzorcev pa fotometriramo pri valovni dolžini 690 nm.

b) Druga različica (ekstrakcija)

Drugo različico uporabljamo, kadar želimo izmeriti koncentracije ortofosfatov v vzorcih, v katerih so koncentracije med 0,01 in

6,0 mg/l, ali pa se želimo izogniti interferencam z motečimi snovmi. Za ekstrakcijo ortofosfatov iz vzorca uporabimo mešanico benzena in izobutanola ter določimo ekstinkcijo pri valovni dolžini 625 nm. Ta izvedba je kompleksnejša, vendar ima širše območje zaznavanja.

Material

- čaše volumna 100 ml (dve za vsak vzorec in ena za umerjanje spektrofotometra)
- merilna buča volumna 100 ml
- merilna buča volumna 1000 ml
- sušilnik
- vzorčevalne posode volumna 1 l
- merilni valj volumna 100 ml
- kapalka
- spektrofotometer

Reagenti

- raztopina amonmolibdata
- raztopina kositrovega (II) klorida v glicerolu

Izvedba

I) Teren

1. Vzorčevalno posodo sperite na mestu vzorčenja z vzorčevano vodo.
2. Vzorčevalno posodo napolnite do vrha z vzorcem vode.

II) Laboratorij

3. Pripravite raztopino amonmolibdata:
   a) Raztopina A: 25 g $(NH_4)_6Mo_7O_{24} . 4H_2O$ raztopite v 175 ml destilirane vode.
   b) Raztopina B: 280 ml konc. H_2SO_4 dodajte v 400 ml destilirane vode in počakajte, da se ohladi.
   c) Raztopino B previdno dodajte raztopini A ter dopolnite z destilirano vodo do 1000 ml.
4. Pripravite raztopino kositrovega (II) klorida v glicerolu: 2,5 g $SnCl_2 \cdot H_2O$ raztopite v 100 ml glicerola.
5. Vzorec vode prefiltrirajte skozi stekleni filter.
6. V dve stekleni čaši nalijte po 100 ml vzorca vode.
7. V tretjo čašo nalijte 100 ml destilirane vode (vzorec za umerjanje spektrofotometra).
8. V vsako čašo dodajte 4 ml amonmolibdata in 5 kapljic kositrovega (II) klorida v glicerolu ter premešajte.
9. Termostatirajte 10 minut pri temperaturi 25 °C (vzorec se obarva modro).
10. Umerite spektrofotometer:
    a) na spektrofotometru izberite (z gumbom) valovno dolžino 690 nm;
    b) spektrofotometer umerite na 100 % prepustnost z vzorcem za umerjanje;
    c) spektrofotometer preklopite na ekstinkcijo (vzorec za umerjanje ima vrednost ekstinkcije $\approx$ 0,000).

11. Določite ekstinkcijo pri valovni dolžini 690 nm (najkasneje pol ure po obarvanju).
12. Izmerite in zapišite vrednosti ekstinkcij ostalih vzorcev.
13. Izračunajte povprečno vrednost ekstinkcije:

$$E_{pov} = (E1 + E2) / 2$$

E_{pov} - povprečna vrednost ekstinkcije
E1 - vrednost ekstinkcije vzorca v prvi paralelki
E2 - vrednost ekstinkcije vzorca v drugi paralelki

14. Izračunajte koncentracije ortofosfatov v vzorcu:

$$PO_4^{3-} \text{ (mg/l)} = E_{pov} \times 1{,}38$$

15. Vrednosti vpišite v tabelo.

Vzorčno mesto / Parameter				
Datum				
Ekstinkcija E1				
Ekstinkcija E2				
Ekstinkcija E_{pov}				
PO_4^{3-} (mg/l)				

2. 2. 4 Sušina

Izraz sušina uporabljamo za snovi, ki ostanejo v posodi po sušenju pri temperaturi 105 °C. Sušino sestavljajo skupne suspendirane snovi (TSS), in skupne raztopljene snovi (TDS). Dobljena vrednost je le približno enaka skupni količini raztopljenih in suspendiranih snovi v vodi, saj se del karbonatov med sušenjem spremeni v CO_2.

Vaja 13: Določanje sušine

Metodologija

Vzorci vode morajo biti shranjeni v steklenih posodah; polietilenske posode so uporabne le, če se suspendirani delci ne oprijemajo stene posode. Posode naj bodo napolnjene do vrha, analize pa opravljene v čim krajšem času po vzorčenju.

Material

- vzorčevalne posode volumna 1 l
- lončki
- sušilnik
- eksikator
- tehtnica

Izvedba

I) Teren

1. Vzorčevalno posodo sperite na mestu vzorčenja z vzorčevano vodo.
2. Vzorčevalno posodo napolnite do vrha z vzorcem vode.

II) Laboratorij

3. Lončke sušite v sušilniku pri temperaturi 105 °C do konstantne temperature.
4. Po sušenju prenesite lončke v eksikator, da se ohladijo.
5. Ohlajene stehtajte.
6. V lončke nalijte po 100 ml vzorca vode in jih 24 ur sušite pri temperaturi 105 °C.
7. Lončke dajte ponovno v eksikator in jih ohlajene stehtajte.
8. Izračunajte vrednosti sušin po enačbi:

$$\text{sušina (mg/l)} = (B - A)/C$$

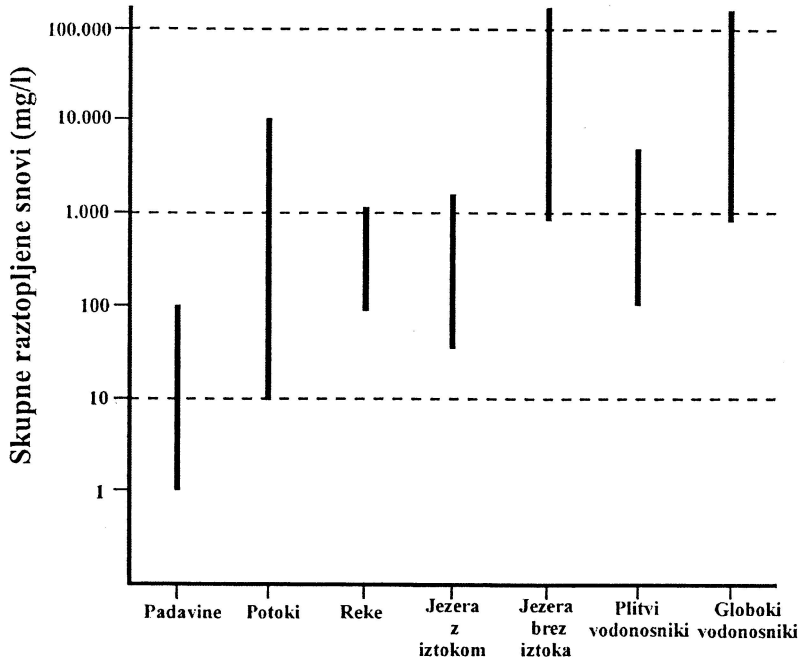
A - masa praznega lončka (mg)
B - masa lončka + sušina (mg)
C - volumen sušenega vzorca (l)

9. Vrednosti vpišite v tabelo.

Številka lončka / Parameter				
Vzorčno mesto				
Datum				
Volumen vzorca (ml)				
Masa praznega lončka (mg)				
Masa lončka + suha snov (mg)				
Suha snov (mg)				
Sušina (mg/l)				

2. 2. 5 Skupne raztopljene snovi (TDS)

Raztopljene snovi v vodi so tiste, ki po filtriranju vode skozi stekleni filter ostanejo v vodi. V naravi vrednosti TDS zelo nihajo v odvisnosti od tipa vodnega telesa in vira vode (slika 10). Z zviševanjem koncentracije teh snovi se zmanjšuje tudi uporabnost vode za različne namene. Tako so v številnih industrijskih panogah zaradi tehnoloških ali higienskih razlogov zelo mineralizirane vode manj uporabne. Vode z visokimi količinami raztopljenih snovi so uporabne kot pitna voda le, če so koncentracije teh snovi v fizioloških mejah, ker sicer izzovejo nezaželene fiziološke reakcije. Zgornja meja dovoljenih raztopljenih snovi v pitni vodi je 500 mg/l.



Slika 10. Vsebnost skupnih raztopljenih snovi v celinskih vodah

Vaja 14: Določanje skupnih raztopljenih snovi (TDS)

Metodologija

Skupne raztopljene snovi lahko določamo na dva načina, s tehtanjem in s konduktometrom.

1) Določanje TDS s tehtanjem

Vzorci vode morajo biti shranjeni tako kot vzorci za določanje sušine (glej vaja 13).

Material

- vzorčevalne posode volumna 1 l
- lončki
- sušilnik
- eksikator
- tehtnica
- stekleni filter
- merilni valj

Izvedba

I) Teren

1. Vzorčevalno posodo sperite na vzorčnem mestu z vzorčevano vodo.
2. Vzorčevalno posodo napolnite do vrha z vzorcem vode.

II) Laboratorij

3. Filter in lončke sušite v sušilniku pri temperaturi 180 °C do konstantne mase.
4. Po sušenju prenesite lončke v eksikator, da se ohladijo.
5. Ohlajene stehtajte.
6. Prefiltrirajte 1 l dobro premešanega vodnega vzorca skozi

posušen filter.

7. V lončke nalijte 100 ml vzorca vode in jih 24 ur sušite pri temperaturi 180 °C.
8. Lončke dajte ponovno v eksikator.
9. Ohlajene stehtajte.
10. Izračunajte vrednosti skupnih raztopljenih snovi po enačbi:

skupne raztopljene snovi (mg/l) = (B - A) / C

A - masa praznega lončka (mg)
B - masa lončka + raztopljene snovi (mg)
C - volumen vzorca (l)

11. Vrednosti vpišite v tabelo.

Številka lončka / Parameter				
Vzorčno mesto				
Datum				
Volumen vzorca (ml)				
Masa praznega lončka (mg)				
Masa lončka + raztopljenih snovi (mg)				
Raztopljene snovi (mg)				
TDS (mg/l)				

2) Določanje TDS s konduktometrom

Material
- konduktometer

Izvedba
1. Konduktometer vključite s pritiskom na tipko "on".
2. S tipko "χ" nastavite funkcijo TDS in elektrodo potopite v vodo.
3. Počakajte, da se številka na ekranu ustali (približno 1 min) in odčitajte količino skupnih raztopljenih snovi v vodi.
4. Vrednosti vpišite v tabelo.

Vzorčno mesto / Parameter				
Datum				
Ura				
TDS (mg/l)				

5. Konduktometer izključite s pritiskom na tipko "off".

2. 2. 6 Skupne suspendirane snovi (TSS)

Izraz skupne suspendirane snovi se nanaša na suho maso snovi, ki jih s filtracijo skozi stekleni filter odstranimo iz znanega volumna vodnega vzorca. Vode, ki vsebujejo velike količine suspendiranih snovi, so neuporabne za kopanje predvsem zaradi estetskega videza, omejena pa je tudi njihova uporaba v industriji, predvsem živilski. Prisotnost velikih količin anorganskih delcev negativno deluje tudi na organizme v vodi. Prihaja do trenja med organizmi in delci in zato do poškodb vitalnih delov organizmov, npr. dihalnih organov, kože itd. Glivične okužbe se hitreje razvijajo, zato številni vodni organizmi hitreje odmrejo. Poleg omenjenega neposrednega delovanja pa suspendirane snovi vplivajo na organizme tudi posredno s povečanjem kalnosti vode in z usedanjem. Zmanjšata se primarna produkcija in izraba nutrientov, kar vodi v povečano verjetnost evtrofnih procesov v stoječih telesih (povečan je t. i. evtrofni potencial vodotoka). Najpomembnejši viri anorganskih suspendiranih snovi so kamnolomi in rudniške odplake ter spiranja površin ob nalivih. Za razliko od anorganskih predstavljajo organske suspendirane snovi za heterotrofne organizme vir hrane, povečana je respiratorna aktivnost, posledica pa je zniževanje koncentracije raztopljenega kisika in slabšanje kakovosti vode.

Vaja 15: Določanje skupnih suspendiranih snovi (TSS)

Metodologija

Vzorci vode morajo biti shranjeni tako kot vzorci za določanje sušine (glej vaja 13).

Material

- vzorčevalne posode volumna 1 l
- sušilnik
- eksikator
- tehtnica
- stekleni filter
- merilni valj

Izvedba

I) Teren

1. Vzorčevalno posodo sperite na mestu vzorčenja z vzorčevano vodo.
2. Vzorčevalno posodo napolnite do vrha z vzorcem vode.

II) Laboratorij

3. Filter sušite v sušilniku pri temperaturi 105 °C do konstantne mase.
4. Po sušenju prenesite filter v eksikator, da se ohladi.
5. Ohlajenega stehtajte.
6. Prefiltrirajte 1 l dobro premešanega vodnega vzorca skozi posušen filter.
7. Filter ponovno sušite 2 uri pri 105 °C.
8. Po sušenju prenesite filter v eksikator, da se ohladi.

9. Ohlajenega stehtajte.
10. Izračunajte vrednosti skupnih suspendiranih snovi po enačbi:

skupne suspendirane snovi (mg/l) = (B - A) /C

A - masa praznega filtra (mg)
B - masa filtra + suspendirane snovi (mg)
C - volumen prefiltriranega vzorca (l)

11. Vrednosti vpišite v tabelo.

Številka filtra / Parameter				
Vzorčno mesto				
Datum				
Masa praznega filtra (mg)				
Masa filtra + suspendirane snovi (mg)				
Suspendirane snovi (mg)				
TSS (mg/l)				

Vaja 16: Določanje kakovosti voda na osnovi fizikalnih in kemijskih parametrov

Izvedba

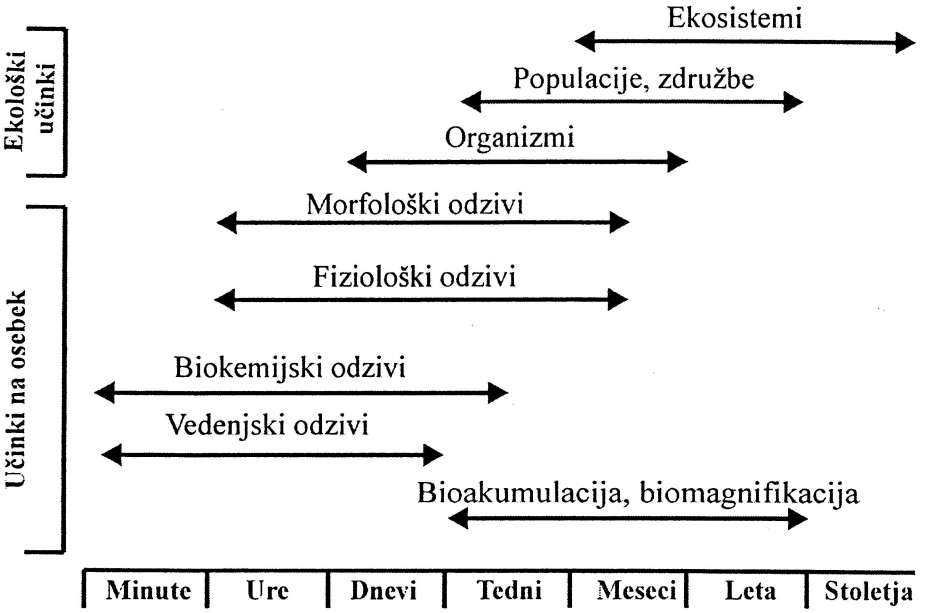
1. V tabelo vpišite v prejšnjih vajah izmerjene vrednosti in določite kakovostni razred vodotoka (priloga 1).

Vzorčno mesto / Parameter			
Datum			
Širina struge (m)			
Najvišja hitrost toka (m/s)			
Pretok (m^3/s)			
Temperatura vode (°C)			
pH			
Elektroprevodnost (µS/cm)			
Koncentracija kisika (mg/l)			
Nasičenost vode s kisikom (%)			
Skupne suspendirane snovi (mg/l)			
Skupne raztopljene snovi (mg/l)			
Sušina (mg/l)			
BPK_5 (mg/l)			
Nitrati (mg NO_3^-/l)			
Ortofosfati (mg PO_4^{3-}/l)			
Kakovostni razred			

3. BIOLOŠKE ANALIZE

Kakovost voda ovrednotimo s fizikalnimi, kemijskimi in biotskimi značilnostmi vodnega okolja. Čeprav biologi že desetletja raziskujejo vplive človeških aktivnosti na vodne ekosisteme, so bile njihove ugotovitve šele v zadnjih treh desetletjih uvedene v metode, primerne za spremljanje kakovosti voda. Umetne (antropogeno spremenjene), v nekaterih primerih pa tudi naravne spremembe fizikalnih in kemijskih značilnosti v vodnih telesih privedejo do različnih biotskih sprememb. Te nakazujejo, da so ekosistemi in njihovi organizmi v stresu ali da je ekosistem postal neuravnotežen. Kakovost vode je spremenjena, tako da je voda neuporabna za različne potrebe, lahko pa je ogroženo tudi zdravje ljudi. Večina vodnih organizmov je občutljiva na naravne ali antropogeno pogojene spremembe v svojem okolju. Različni organizmi se odzivajo na različne načine. Najopaznejši odzivi so smrt organizmov ali njihove migracije v druge habitate. Manj opazni so odzivi, kakršna sta zmanjšanje reprodukcije in nenormalen metabolizem. Tisti organizmi, ki se izrazito odzivajo na določeno spremembo, so uporabni za vrednotenje kakovosti voda.

Nekatere biološke metode so uporabne za delo na terenu, medtem ko so druge laboratorijske. Razlike med njimi niso samo v številu organizmov, ki jih opazujemo, ampak tudi v tem, kako hitro se ti odzovejo na spremembe določenih ekoloških dejavnikov (slika 11). Organizmi, ki jih uporabljamo za vrednotenje na terenu (in situ), odražajo skupen učinek vseh vplivov v vodnem telesu in so uporabni za primerjanje kakovosti vode med vzorčnimi mesti ali med različnimi časovnimi obdobji. Laboratorijske metode, standardizirani biotesti, so vir informacij o intenziteti škodljivih efektov zaradi določenih antropogenih vplivov. Različne biološke metode odražajo delovanje več polutantov in drugih stresnih okoljskih dejavnikov hkrati in njihove skupne posledice v vodnem okolju. Relativno popolna presoja naravnih sprememb in človeških vplivov v vodnem telesu je mogoča le z upoštevanjem obojega, terenskih ekoloških metod in laboratorijskih biotestov.



Slika 11. Trajanje okoljskih vplivov, ki jih lahko spremljamo z različnimi biološkimi pristopi

3. 1 Biokemijske analize

3. 1. 1 Klorofil

Klorofil je fotosintetski pigment, ki je prisoten v večini fotosintetskih organizmov, v fitoplanktontih kot klorofil *a*, *b* in *c*. Merjenje količine klorofila je najpogosteje uporabljena metoda za posredno merjenje biomase alg in oceno trofičnega stanja vodnega telesa (priloga 2), ki predstavlja intenzivnost izgradnje organskih snovi. Na rast alg v vodnih telesih vplivajo predvsem prisotnost nutrientov (zlasti nitrati in fosfati), temperatura in svetloba. Spreminjanje teh parametrov vpliva na nihanje koncentracije klorofila, ki se lahko spreminja med letom, čez dan in z globino. V vodnih telesih z nizko vsebnostjo nutrientov (oligotrofnih) je koncentracija klorofila nizka (<2,5 mg/l), medtem ko je v vodah z visokimi koncentracijami nutrientov (evtrofni in hiperevtrofni sistemi) koncentracija klorofila med 5 mg/l in 140 mg/l ali več.

Količina fitoplanktona oz. klorofila je ena izmed najpogostejših biokemijskih metod v ocenjevanju kakovosti stoječih voda in njenem monitoringu, še posebej v povezavi z vplivi povečane koncentracije nutrientov ali v povezavi s čiščenjem voda, ki dotekajo v stoječa vodna telesa.

Vaja 17: Določanje količine klorofila *a*

Metodologija

Metode za merjenje količine klorofila *a* temeljijo na lastnosti, da ob ekscitaciji klorofila *a* z modro svetlobo ta fluorescira rdeče. Iz količine fluorescirane svetlobe sklepamo na količino klorofila *a* v vzorcu in na količino primarnih producentov v vodnem vzorcu. Me-

ritve moti produkt razgradnje klorofila *a*, feofitin *a*, ki fluorescira v istem spektralnem območju kot klorofil *a*. Osnovni metodi za določanje klorofila sta fluorimetrična in ekstrakcijska.

1) Fluorimetrična metoda

S to metodo merimo fluorescenco klorofila neposredno na terenu (in situ), tako da vodo prečrpavamo skozi fluorimeter. Metoda je bolj občutljiva kot spektrofotometrična (ekstrakcijska), nezanesljiva pa je ob prisotnosti feofitina *a*.

2) Ekstrakcijska metoda

Pri ekstrakcijski metodi merimo vsebnost klorofila v primarnih producentih po ekstrakciji z različnimi topili, npr. acetonom ali metanolom.

Pri ugotavljanju trofičnega stanja vodnega telesa najpogosteje merimo količino klorofila *a*. Vsebujejo ga vse zelene rastline, predstavlja pa 1-2 % suhe snovi planktonskih alg. Meritve v raztopini ekstrakta lahko moti prisotnost nekaterih produktov razgradnje klorofila, kot sta feofitin in feoforbid. Oba absorbirata in oddajata svetlobo istih valovnih dolžin kot klorofil *a*. Motnjam se lahko izognemo tako, da merimo optično gostoto pred zakisanjem ekstrakta (navadno s HCl) in po njem. S tem dobimo tudi podatek o razmerju med koncentracijo klorofila in feofitina, ki odraža tudi aktivnost fitoplanktonske združbe, saj se ob odmiranju alg količina feofitina močno poveča. Povečana količina feofitina je lahko tudi posledica slabega shranjevanja vzorca. Najbolje je, da analize klorofila opravimo takoj po odvzemu vzorcev in se tako izognemo njegovi razgradnji. V temnem in hladnem prostoru lahko vzorce hranimo največ 8 ur. Kadar nameravamo analize opraviti kasneje, vzorec fiksiramo z 0,1-0,2 ml suspenzije magnezijevega karbonata.

Material

- vzorčevalna posoda prostornine 1 l
- merilni valj prostornine 1 l
- nuča
- stekleni filter
- alu-folija
- steklene epruvete
- spektrofotometer
- magnetno mešalo
- lonec
- voda
- ščipalka

Reagenti

- suspenzija magnezijevega karbonata ($MgCO_3$)
- metanol (CH_3OH)
- klorovodikova kislina (HCl)

Izvedba

I) Teren

1. Odvzem vzorcev vode na terenu. Vzorec vode zajemite iz izbrane globine in ga shranite v polietilenski posodi.

II) Laboratorij

2. Premešajte vzorec z obračanjem vzorčevalne posode in odlijte 1 l vzorca v merilni valj.
3. Stekleni filter namestite v nučo in vzorec prefiltrirajte.
4. S pinceto zvijte filter papir s filtratom in ga dajte v epruveto.
5. V drugo epruveto dajte čist filter papir (za umerjanje spektrofotometra).
6. V epruvete (tudi v tisto s čistim filter papirjem) dolijte 10 ml oz. toliko metanola, da prelijete filter.
7. Epruvete zamašite in zavijte v alu-folijo.
8. Epruvete segrevajte v vodni kopeli pri temperaturi blizu vrelišča.
9. Počakajte, da se vzorci ohladijo.
10. Umerite spektrofotometer:
    a) na spektrofotometru izberite (z gumbom) valovno dolžino 665 nm;
    b) spektrofotometer umerite na 100 % prepustnost z vzorcem za umerjanje;
    c) spektrofotometer preklopite na ekstinkcijo (vzorec za umerjanje ima vrednost ekstinkcije $\approx$ 0,000).
11. S spektrofotometrom izmerite absorpcijo ohlajenih vzorcev.
12. Postopek umerjanja ponovite pri valovni dolžini 750 nm in ponovno izmerite absorpcijo.
13. Izračunajte količino klorofila po enačbi:

$$\text{Kl } a\text{ (mg/l)} = (13{,}9 \times (A_{665} - A_{750}) \times V_m)) / (V_v \times l)$$

A_{665} - absorpcija pri 665 nm
A_{750} - absorpcija pri 750 nm
V_m - volumen metanola (ml)
V_v - volumen prefiltrirane vode (l)
l - širina kivete v spektrofotometru (cm)

14. Vrednosti vpišite v tabelo.

Vzorčno mesto / Parameter				
Absorpcija pri 665 nm				
Absorpcija pri 750 nm				
Klorofil *a* (mg/l)				

Vaja 18: Določanje trofičnega stanja stoječih voda

Izvedba:

1. V tabelo vpišite v prejšnjih vajah izmerjene vrednosti in določite trofično stanje stoječih voda (priloga 2).

Vzorčno mesto / Parameter			
Datum			
Koncentracija kisika (mg/l)			
Nasičenost vode s kisikom (%)			
Klorofil *a* (mg/l)			
Nitrati (mg NO_3^-/l)			
Ortofosfati (mg PO_4^{3-}/l)			
Trofično stanje			

3. 2 Ekološke metode

Vodni organizmi preferirajo habitate z določenimi fizikalnimi, kemijskimi in biotskimi značilnostmi. Spreminjanje teh značilnosti stresno vpliva na organizme, rezultat pa je lahko sprememba vrstne sestave, strukture združbe ali spremembe v biomasi (slika 12). Ob ekstremnih okoljskih spremembah, npr. zaradi močnejšega onesnaženja, določene vrste izginejo (slika 13). Prisotnost ali odsotnost organizmov uporabljamo kot merilo za vrednotenje kakovosti voda in spremenjenosti okolja. Zaradi lažjega komuniciranja med raziskovalci in uporabniki so ekološki izsledki povzeti v indeksih, ki so bolj objektiven prikaz stanj. Z indeksi izgubimo del informacij, v ekstremnih primerih lahko rezultati zavedejo raziskovalce, da stanje napačno interpretirajo. Lastnosti dobrega indeksa so naslednje:

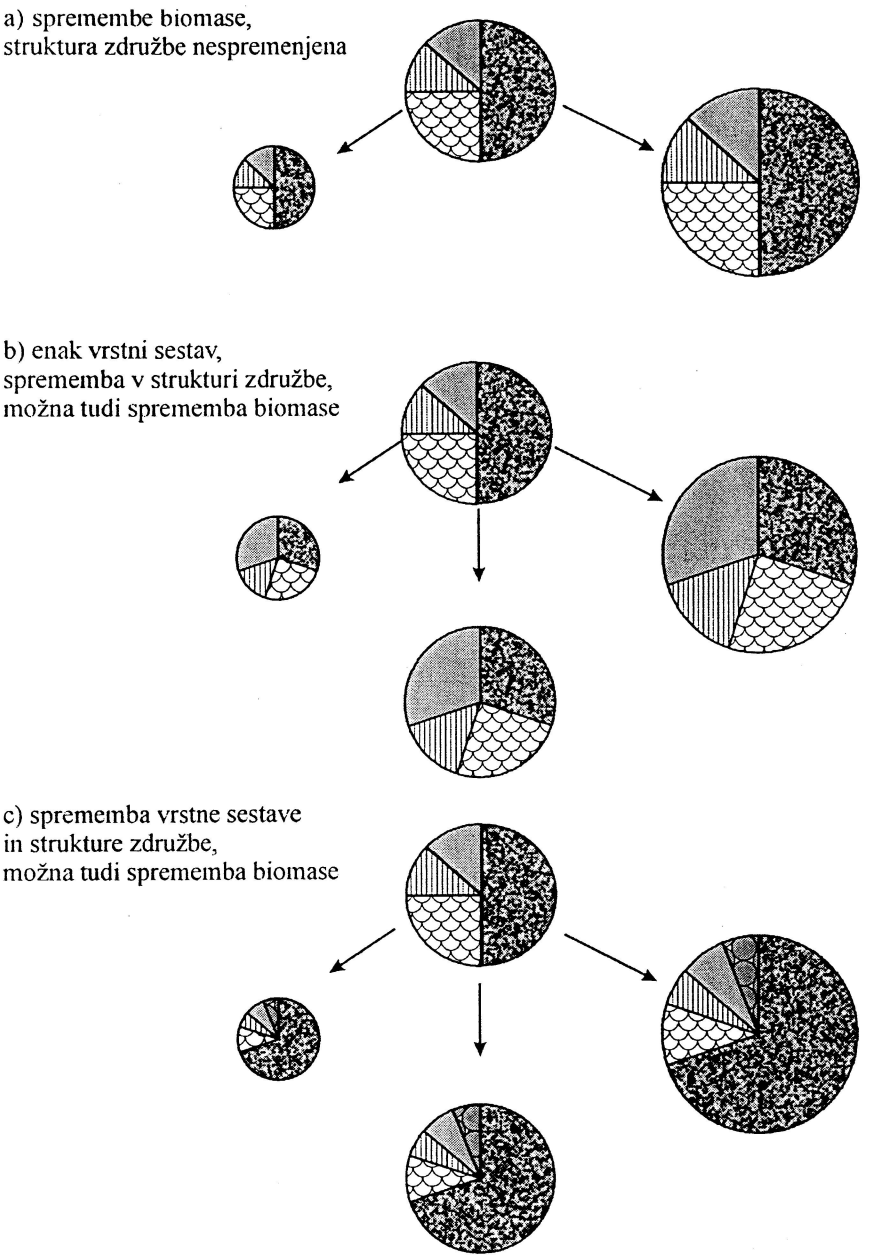
- zagotavlja čim večje število informacij,
- ni občutljiv na metodo vzorčenja,
- ni občutljiv na slabše taksonomsko znanje,
- je enostaven za izračun,
- je ekološko pomemben,
- je objektiven in
- cenovno ugoden.

Omejitve, ki se pri izpolnjevanju teh pogojev najpogosteje pojavljajo, so:

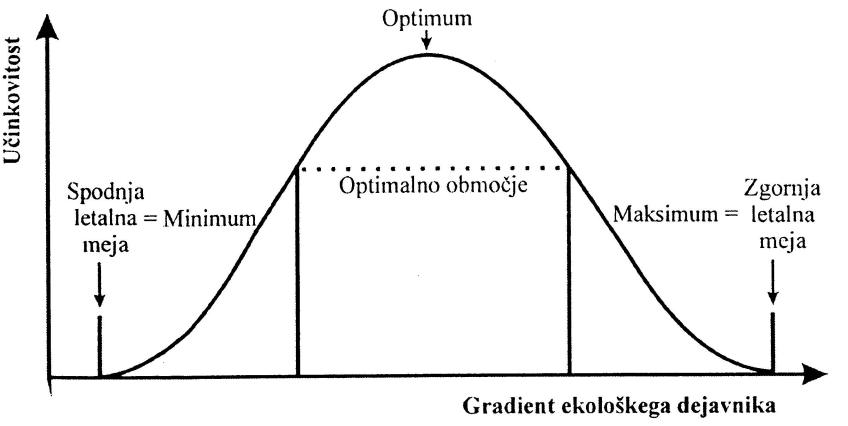
- določitev osebkov do vrste je običajno mogoča le v redkih primerih,
- poleg onesnaženja indeks odraža tudi fizikalne lastnosti vodnega telesa,
- pogosto je zgolj regionalno uporaben.

Indeksi, ki jih uporabljamo za vrednotenje kakovosti voda, temeljijo na enem od dveh pristopov:

a) na strukturi združbe - diverzitetni indeksi;
b) na indikatorskih organizmih: - saprobni indeks,
- biotski indeksi.



Slika 12. Možni odzivi združbe na spremembe v okolju



Slika 13. Strpnostna krivulja z značilnimi točkami

Indikatorski organizem je tisti, ki je izbran za vrednotenje kakovosti zaradi svoje občutljivosti ali pa tolerance na različne vire onesnaženja ali posledice onesnaženja (npr. onesnaženost s težkimi kovinami, zmanjšanje koncentracije kisika). Iz odsotnosti organizma lahko sklepamo manj kot iz njegove prisotnosti, ki odraža njegovo toleranco na dane ekološke razmere. Zlasti v času zelo spremenjenih hidroloških razmer, npr. ob povečanem pretoku, je lahko organizem prisoten tudi zaradi plavljenja, zato vzorčenj v tem obdobju običajno ne izvajamo. Najboljši indikatorji so tisti, ki imajo ozko ekološko toleranco, saj njihova prisotnost najbolje odraža razmere v vodnem okolju. Makroinvertebrati, alge, makrofiti in ribe so dobri indikatorji in pogosto osnova za vrednotenje kakovosti voda.

3. 2. 1 Diverzitetni indeksi

Diverzitetne indekse so razvili teoretični ekologi, ki so jih zanimala vprašanja v zvezi s stabilnostjo in pestrostjo ekosistemov. Najpreprostejša mera diverzitete je število vrst, prisotnih v združbi, vendar običajno ni zadostna. Poleg števila vrst je pomembna tudi pogostost osebkov posameznih vrst, zaradi česar so indeksi, pri katerih je upoštevano oboje (število vrst in njihovi deleži), popolnejša mera za diverziteto združbe in odražajo njeno heterogenost. Število diverzitetnih indeksov, ki so v uporabi pri vrednotenju kakovosti voda, je okrog 20 (Washington, 1984). Zasnovani so na načelu, da vrstna diverziteta v ekosistemu v stresnih razmerah oz. v onesnaženem ekosistemu upada. To vedno ne drži, še posebej pa ne v neonesnaženih izvirnih predelih, kjer so vzroki za nižjo diverziteto drugi ekološki dejavniki (konstantna temperatura, omejene količine hrane...). Zato diverzitetne indekse najpogosteje uporabljamo le kot dodatno mero za opis združb. Njihova praktična prednost je v tem, da ni potrebno poznati natančne taksonomske uvrstitve vseh osebkov. Pomembno je, da razlikujemo osebke različnih vrst, ne pa tudi, kateri vrsti pripadajo. S tega vidika so indeksi uporabni tudi za taksonomsko manj usposobljene ljudi in za območja, kjer favna ni dovolj dobro raziskana in zaradi tega ne obstajajo dovolj dobri določevalni ključi. Dodatno veljavo so diverzitetni indeksi dobili s konvencijo o biodiverziteti v Riu de Janeiru (1992). Postali so sestavni del metodologije pri bioloških ocenah, kar je zelo pomembno za primerljivost obravnav v okoljski politiki.

Danes je najbolj razširjena mera za diverziteto Shannon-Wiennerjev diverzitetni indeks (H') (Washington, 1984):

$$H' = -\sum_{i=1}^{n} p_i \times \log_2 p_i$$

H' - diverziteta
p_i - delež taksona "i"
n - število taksonov

Višja je vrednost H', večja je diverziteta. V analizi vrednotenja voda dosegajo H' maksimalne vrednosti 4 - 5. Pozitivna stran tega

diverzitetnega indeksa je, da ni odvisen od površine, s katere so bili vzorci pobrani, je brezdimenzijski in v njem je upoštevana relativna abundanca vsakega taksona. Odvisen pa je od sezone in določanja taksonomskega nivoja organizmov. Osnovna domneva, da diverziteta upada z naraščajočo obremenjenostjo, ni povsem resnična. To pride do izraza pri neobremenjenih izvirnih delih vodotokov, kjer so vrednosti H' pogosto zelo nizke. Poleg obremenjujočih dejavnikov vpliva na diverziteto organizmov tudi diverziteta mikrohabitatov. Večja pestrost mikrohabitatov zagotavlja življenjske razmere večjemu številu vrst kljub enaki obremenjenosti z organskimi snovmi.

Na osnovi Shannon-Wiennerjevega diverzitetnega indeksa sta Wilhm in Dorris (Washington, 1984) predlagala interpretacijo kakovosti vodnega okolja na osnovi vrednosti H' (tabela 7).

Tabela 7. Kakovost vodnega okolja v odvisnosti od vrednosti Shannon-Wiennerjevega diverzitetnega indeksa (po Wilhm & Dorris, 1966, v: Washington, 1984)

Vrednost diverzitetnega indeksa	Kakovost vode
H' > 3	neobremenjena
H' = 2 - 3	malo obremenjena
H' = 1 - 2	srednje obremenjena
H' < 1	močno obremenjena

3. 2. 2 Saprobni indeks

Začetki razvoja saprobnega sistema segajo v sredino 19. stoletja, ko so spoznali povezavo med prisotnostjo določenih vodnih organizmov in onesnaženostjo voda. Prvotno metodologijo saprobnega sistema sta izdelala Kolkwitz in Marsson (1908, 1909). Njun pojem "**saprobia**" je pomenil "odvisnost organizmov od razkrajajoče se organske snovi kot edinega vira hrane". Iz njunega saprobnega sistema je bil kasneje izpeljan saprobni indeks, ki so ga razvijali številni avtorji (Pantle & Buck, 1955; Zelinka & Marvan, 1961; Sladeček, 1973; Wegl, 1983). Podali pa so tudi definicijo pojma "**saprobnost**", ki predstavlja tiste metabolne procese, ki so obratni kot procesi primarne produkcije in ki v kombinaciji z biogeno in fizikalno vnešenim kisikom določajo saprobno stopnjo vodnega telesa. V osnovi je Sladeček (1965) razdelil površinske vode v pet saprobnih stopenj:

- ksenosaprobno,
- oligosaprobno,
- β-mezosaprobno,
- α-mezosaprobno in
- polisaprobno.

Kasneje so pri oblikovanju kakovostnih razredov prvo in drugo stopnjo združili v prvi kakovostni razred.

Današnji saprobni indeks (SI) obsega štiri osnovne stopnje obremenjenosti s tremi vmesnimi stopnjami (tabela 8). Za posamezno

kakovostno stopnjo so narejeni tudi relativno natančni opisi razmer v vodnem okolju (priloga 3). Vrednosti saprobnega indeksa za izbrano vzorčno mesto v vodotoku izračunamo po enačbi:

$$SI = \frac{\sum_{i=1}^{n} (h_i \times G_i \times s_i)}{\sum_{i=1}^{n} (h_i \times G_i)}$$

h_i - absolutna ali relativna abundanca i-tega taksona
G_i - indikatorska vrednost i-tega taksona
s_i - saprobna vrednost
n - število taksonov

Za vsako vrsto je določena saprobna vrednost s. Ta vrednost je ocena ekološkega pojavljanja neke vrste. Deset točk je na osnovi opazovanj pojavljanja posamezne vrste porazdeljenih med štiri osnovne saprobne stopnje. Vrste s širokim ekološkim pojavljanjem (evrieke oz. evrivalentne vrste) oz. s pojavljanjem v vodotokih s širokim nihanjem stopnje obremenjenosti imajo teh 10 točk razporejenih preko več saprobnih stopenj, medtem ko imajo vrste z zelo ozkim ekološkim pojavljanjem (steneke oz. stenovalentne vrste) vseh 10 točk v eni saprobni stopnji. Saprobno vrednost dobimo tako, da pomnožimo število točk v vsaki saprobni stopnji s številom stopnje in nato vsoto zmnožkov delimo z 10. Da bi večjo težo dali vrstam z ožjim ekološkim pojavljanjem, je za vsako vrsto določena tudi indikatorska vrednost G v območju od 1 do 5. Ožje kot je ekološko pojavljanje vrste, višja je indikatorska vrednost in obratno. Prednost saprobnega indeksa pred biotskimi je v upoštevanju večjega števila taksonov in primernosti uporabe za vse tipe tekočih voda. Pomanjkljivost pa je v zahtevnem določanju organizmov, ki morajo biti v večini primerov določeni do vrste.

Tabela 8. Vrednosti saprobnega indeksa in pripadajoči kakovostni razredi (po Sladečku, 1973)

Saprobna stopnja	Vrednost SI	Kakovostni razred	Stopnja obremenjenosti vodotoka
oligosaprobna	1,0 - 1,5	1	neobremenjena do zelo malo obremenjena
oligo do β-mezosaprobna	<1,5 - 1,8	1-2	majhna
β-mezosaprobna	<1,8 - 2,3	2	zmerna
β do α-mezosaprobna	<2,3 - 2,7	2-3	srednja
α-mezosaprobna	<2,7 - 3,2	3	srednja do močna
α-mezosaprobna do polisaprobna	<3,2 - 3,5	3-4	močna
polisaprobna	<3,5 - 4,0	4	zelo močna

Saprobni sistem je bil narejen za različne skupine vodnih organizmov (perifiton, makroinvertebrati, ribe). Danes kakovost voda najpogosteje vrednotimo na osnovi združbe makroinvertebratov in perifitona, ki so tudi v večini držav, kjer saprobni indeks uporabljajo, osnova biološkega vrednotenja vodotokov.

1) Perifiton (združba obrasti)

S pojmom perifiton označujemo združbo avtotrofnih in heterotrofnih, predvsem mikroskopskih organizmov v vodah, ki so stalno ali občasno pritrjeni na substrat v vodnih telesih. Perifiton je prisoten v vodotokih in v litoralu stoječih voda. Združbo predstavljajo primarni producenti (predvsem zelene alge, diatomeje in cianobakterije), glive, protozoji (pretežno migetalkarji, bičkarji in korenonožci) ter mnogoceličarji (kotačniki, gliste in trebuhodlačniki). Na prisotnost vrst in sestavo združbe vplivajo različni okoljski dejavniki:

- kamninska sestava,
- tip substrata,
- hitrost vodnega toka,
- kemijska sestava vode,
- količina svetlobe,
- temperatura,
- stopnja organske obremenitve in
- toksičnost vodnega okolja.

Združba perifitona odraža ekološke razmere, posamezne vrste pa specifične ekološke razmere in s tem povezano stopnjo obremenjenosti. Za posamezne stopnje obremenjenosti, zlasti za organsko, so poznane številne indikatorske vrste. Težave se pojavijo pri vrstni determinaciji indikatorskih organizmov, ki je v mnogih primerih težavna tudi za specialiste.

Najpomembnejši del perifitonske združbe predstavljajo alge, ki odražajo kemijske spremembe v okolju. Imajo pomembno vlogo v samočistilnih procesih, saj s fotosintezo omogočajo biogeni vnos kisika. Ker so alge primarni producenti, ne vplivajo neposredno na intenzivnost razgradnje organskih snovi, kar je definicija saprobnosti, zato so jih mnogi avtorji izločili iz saprobnega sistema.

Vaja 19: Vrednotenje kakovosti voda s saprobnim indeksom na osnovi združbe obrasti

Metodologija

Pri vrednotenju kakovosti voda na osnovi združbe obrasti lahko uporabljamo dva načina vzorčenja, kvalitativno in kvantitativno.

1) Kvalitativno vzorčenje

Kvalitativni vzorec perifitona pripravimo z združitvijo več posameznih podvzorcev, ki jih poberemo z različnih potopljenih živih in neživih delov substrata, ki jih lahko razumemo kot posamezne mikrohabitate. Mikrohabitate predstavljajo tudi nitaste alge, mahovi in cvetnice, s katerih dobimo vzorce perifitona tako, da jih dobro pretresemo v manjši količini vode. Na zajemnem mestu še do-

datno ocenimo pogostost nitastih bakterij, gliv in alg po tristopenjski lestvici (tabela 9). Za natančno določitev vzorce fiksiramo s 4 % formalinom in determinacijo opravimo v laboratoriju.

2) Kvantitativno vzorčenje

Kvantitativne vzorce pripravimo na enak način kot kvalitativne, le da jih strgamo s površin znanih velikosti. V literaturi kot možno kvantitativno metodo omenjajo vrednotenje količine perifitona na umetnih substratih. Pri tej metodi običajno položimo v vodo stekla znane velikosti in po določenem času (npr. dveh mesecih) kvalitativno in kvantitativno ovrednotimo združbo obrasti.

Tabela 9. Ocena pogostosti združbe obrasti (po Grbovićevi, 1994)

Ocena pogostosti	Opis pogostosti	Takson prisoten v % vidnih polj pri 100-kratni povečavi
1	posamič - redko	1 - 15
3	srednje	>15 - 60
5	pogosto - množično	>60 - 100

Material

- banjica
- ščetka
- posoda za vzorec
- mikroskop
- objektna stekla
- krovna stekla
- kapalke
- določevalni ključi

Izvedba

I) Teren

1. S ščetko postrgajte perifiton z različnih površin ter sperite makrofite, in mahove v majhni količini vode (kvalitativni vzorec).
2. Vzorce perifitona shranite v posodo.
3. Naredite oceno pogostosti (glej tabelo 9) nitastih alg, nitastih bakterij ter gliv na usedlinah.

II) Laboratorij

4. Počakajte, da se vzorec perifitona usede.
5. Odlijte vrhnjo tekočino (supernatant).
6. Usedeni del vzorca s premešanjem homogenizirajte.
7. S kapalko zajemite del vzorca.
8. Kapljico vzorca dajte na objektno steklo, ga pokrijte s krovnim steklom in mikroskopirajte.
9. Pri 100-kratni povečavi preglejte 10 kapljic vzorca in določite taksonomsko sestavo in relativno pogostost (h) posameznih taksonov.

10. Rezultate vpišite v tabelo.

Vzorčno mesto	Takson	h	G	s

11. Na osnovi prepoznanih taksonov združbe obrasti izračunajte saprobni indeks za posamezna vzorčna mesta.
12. Vrednosti vpišite v tabelo.

Vzorčno mesto	Vrednost SI	Kakovostni razred

2) Makroinvertebrati (vodni nevretenčarji)

Združbo makroinvertebratov po definiciji predstavljajo vodni nevretenčarji, ki pri vzorčenju ostanejo v mreži z odprtinami 0,5 x 0,5 mm. Običajno so to organizmi, večji od 1 mm, vidni s prostim očesom. Taksonomsko so zelo raznolika skupina. Najznačilnejše skupine so:

- vrtinčarji (Turbellaria),
- polži (Gastropoda),
- školjke (Bivalvia),
- maloščetinci (Oligochaeta),
- pijavke (Hirudinea),
- raki (Crustacea)
    - postranice (Amphipoda),
    - oslički (Isopoda),
- žuželke (Insecta)
    - enodnevnice (Ephemeroptera),
    - vrbnice (Plecoptera),
    - kačji pastirji (Odonata),

- hrošči (Coleoptera),
- mladoletnice (Trichoptera) in
- dvokrilci (Diptera).

Pri ekoloških ocenah vodnih ekosistemov oz. vrednotenju kakovosti voda najpogosteje uporabljamo makroinvertebrate, in to predvsem zaradi njihove specifične vloge v njih. Odražajo celotne ekološke razmere posameznega vzorčnega mesta, vključno s fizikalnimi lastnostmi (tip substrata, hitrost vodnega toka, pretok itd.) in zato niso le odraz organskega obremenjevanja, ampak tudi različnih stresov:

- anorganskega onesnaženja,
- toksičnosti,
- kislosti,
- morfoloških sprememb vodnih habitatov (kanaliziranje, regulacije vodotokov) in
- zmanjšanja količine vode.

Pri tem so najpomembnejše prednosti makroinvertebratov pred ostalimi vodnimi skupinami organizmov:

1. veliko število vrst, različno občutljivih na polutante;
2. prisotnost v vseh tipih voda;
3. relativna pogostost in sedentarnost;
4. enostavnost vzorčenja in določanja višjih taksonov (vsaj do nivoja družine);
5. relativno dolga življenjska doba (od nekaj tednov do nekaj let).

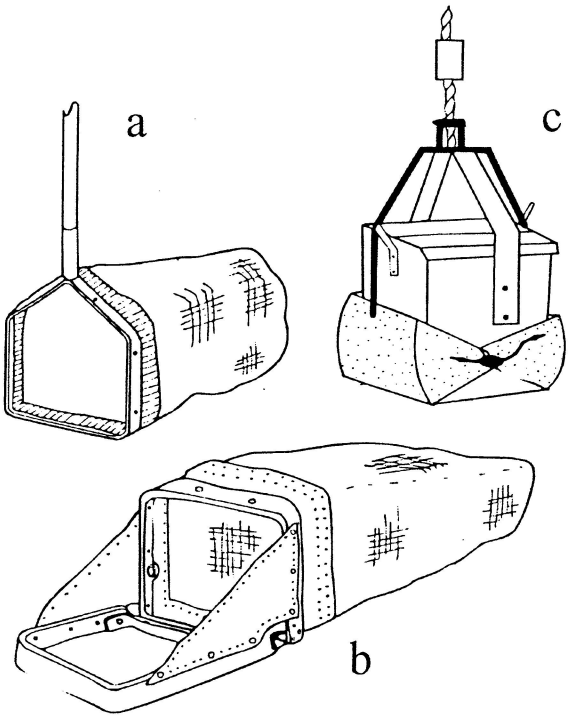
Vaja 20: Vrednotenje kakovosti voda s saprobnim indeksom na osnovi združbe makroinvertebratov

Metodologija

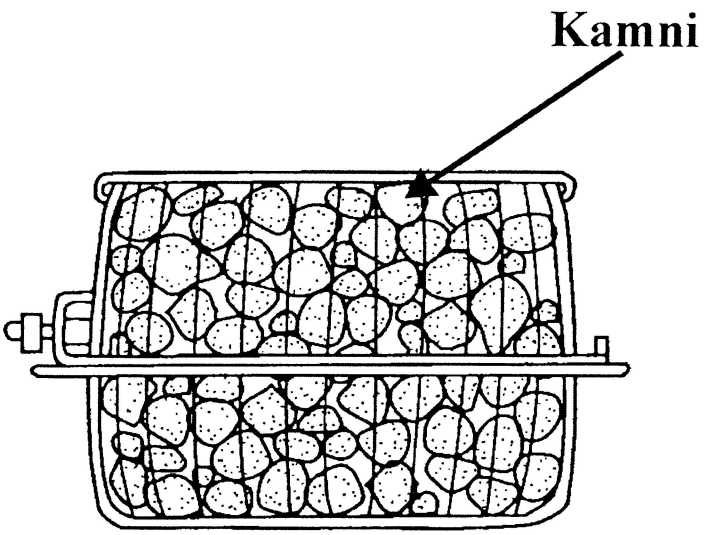
Vzorčenje predstavlja prvi in najpomembnejši korak pri ekološkem vrednotenju kakovosti voda. Vzorci morajo biti reprezentativni, saj morajo odražati dejanske razmere v vodotoku. Temu primerno mora biti izbran način vzorčenja, ki je lahko kvalitativni, semikvantitativni ali kvantitativni.

1) Kvalitativno vzorčenje

Pri kvalitativnem vzorčenju poskušamo zajeti vse oz. čim večje število mikrohabitatov, prisotnih na posameznem vzorčnem mestu. Pogosto uporabljamo enako metodo kot pri semikvantitativnem vzorčenju, opisanem v nadaljevanju, vendar ni nobenih časovnih omejitev ali omejitev v številu podvzorcev. Vzorčimo lahko z različnimi ročnimi mrežami ali grabilci (slika 14), v zelo globokih vodotokih tudi z metodo umetnih substratov (slika 15), ki jih damo na dno vodotoka ter jih po določenem času potegnemo na površje. Naseljene organizme določimo.



Slika 14. Priprave za vzorčenje makroinvertebratov: a. ročna mreža, b. Surberjev vzorčevalnik, c. Ekmanov grabilec



Slika 15. Umetni substrat - kovinska mreža s polnilom (kamni, prodniki, delci iz umetnih mas...) za vzorčenje makroinvertebratov

Taksone razvrstimo v osnovne pogostostne razrede, običajno v tri. V Sloveniji uporabljamo metodologijo s tremi pogostostnimi razredi (tabela 10). Na osnovi takega vzorčenja pridobimo skoraj popoln vrstni sestav na izbranem vzorčnem mestu ter osnovna pogostostna razmerja med vrstami.

Tabela 10. Ocena pogostosti makroinvertebratov (po Grbovićevi, 1994)

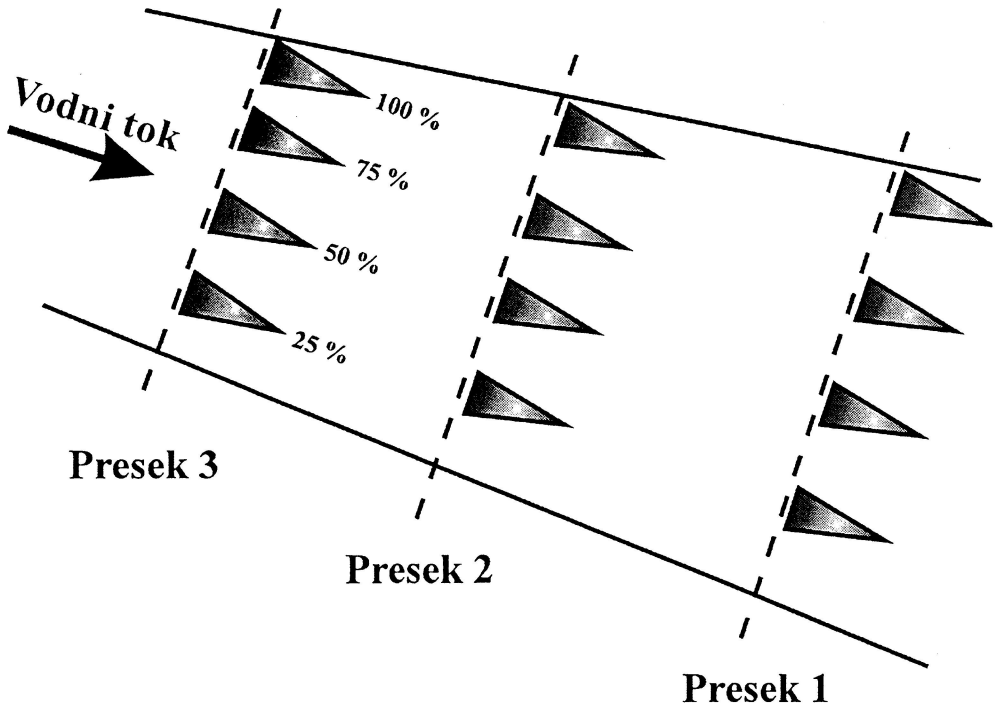
Ocena pogostosti	Opis pogostosti	Število osebkov v zorcu
1	posamič - redko	1 - 10
3	rednje	>10 - 100
5	pogosto - množično	> 100

2) Semikvantitativno vzorčenje

Semikvantitativni način vzorčenja je metodologija, ki je najpogosteje v uporabi pri ekološkem vrednotenju kakovosti voda na osnovi makroinvertebratov, tudi v Sloveniji. Namen takega vzorčenja je zajeti čim večje, vendar časovno ali s številom podvzorcev omejeno število mikrohabitatov. Pri tem obstaja večja verjetnost, da je zajet cel spekter vrst, prisotnih na vzorčnem mestu kot pri kvantitativnem vzorčenju. Pomanjkljivost te metode je, da ne moremo natančno določiti števila osebkov na površinsko enoto, ampak le deleže vrst. Za vzorčenje uporabljamo standardno ročno mrežo z odprtinami 0,5 x 0,5 mm v okvirju velikosti 25 x 25 cm, pritrjenem na močno držalo (slika 14a). Pri vzorčenju postavimo mrežo pravokotno na substrat z odprtino proti toku in jo čvrsto pritisnemo ob dno vodotoka. Eno nogo postavimo tik pred vhodno odprtino in nato z njo močno razbrcamo substrat približno 0,5 m nazaj proti toku. Počakamo nekaj časa, da vodni tok odnese dvignjene usedline in živali v mrežo. Ko se voda zbistri, postopek na istem mestu še enkrat ponovimo, ne da bi med tem mrežo premikali. Kjer je hitrost toka majhna po razbrcanju substrata s potegom mreže proti toku zajamemo organizme. Nato mrežo namestimo na isto mesto in postopek še enkrat ponovimo. To je tako imenovano vzorčenje z brcanjem (angl. kick-sampling). Semikvantitativno vzorčenje z brcanjem je lahko presečno vzorčenje ali časovno omejeno vzorčenje.

a) Presečno vzorčenje (slika 16)

Na izbranem odseku vodotoka izberemo tri preseke v oddaljenosti 10 m, tako da zajamemo čim več hidrološko različnih habitatov (hitrost, substrat, globina itd.). Na vsakem preseku izberemo štiri podvzorce, po enega na 25, 50, 75 in 100 % širine struge. Vsi podvzorci predstavljajo skupen vzorec. V primeru, da je širina vodotoka manjša od štirikratne širine mreže, opravimo vzorčenje tako, da se z mrežo premikamo diagonalno po strugi.



Slika 16. Presečno vzorčenje z uporabo metode "kick-sampling"

b) Časovno omejeno vzorčenje

Pri tem vzorčenju v omejenem času (običajno 2 ali 3 minute aktivnega vzorčenja; premikanje po strugi ni všteto v čas) zberemo vzorec tako, da s podvzorci zajamemo čim več mikrohabitatov.

3) Kvantitativno vzorčenje

Pri kvantitativnem vzorčenju vzorčimo na točno izmerjeni površini, kar omogoča neposredne statistične primerjave med posameznimi podvzorci. Rezultati so podani kot število osebkov ali kot število vrst, zato lahko dobimo natančna številčna razmerja med vrstami. Zaradi manjše vzorčene površine v primerjavi s semikvantitativnimi vzorci zajamemo navadno manj vrst, kar je lahko v primeru vrednotenja kakovosti na osnovi indikatorskih vrst slabo. Redkih vrst pogosto ne zajamemo, prav med njimi pa so mnoge indikatorske vrste in pomemben del združbe. Vzorčevalniki, ki jih uporabljamo za kvantitativno vzorčenje, so:

- prirejen Surberjev vzorčevalnik (slika 14b),
- prirejen Hessov vzorčevalnik,
- cevni vzorčevalniki (korerji) in
- Ekmanov grabilec (slika 14c).

Material

- standardna ročna mreža
- vzorčevalna posoda
- banjica
- lupa
- pinceta
- igla
- fiole
- vata
- papir
- 70 % etanol
- škornji

Izvedba

I) Teren

1. Na terenu zberite vzorce s pomočjo standardne ročne mreže po metodi presečnega vzorčenja (slika 16).
2. Vzorce shranite v posode, jih označite (vzorčno mesto, datum) in jih odnesite v laboratorij.
3. Če je potrebna kasnejša obdelava, shranite vzorce v 4 % formalinu.

II) Laboratorij

4. Pod lupo odberite iz vzorcev vse makroinvertebrate.
5. Določite taksonomsko sestavo in število osebkov posameznih taksonov.
6. Organizme shranite v fiole v 70 % etanolu.
7. Rezultate vpišite v tabelo.

Vzorčno mesto	Takson	Abs. pogostost	h	G	s

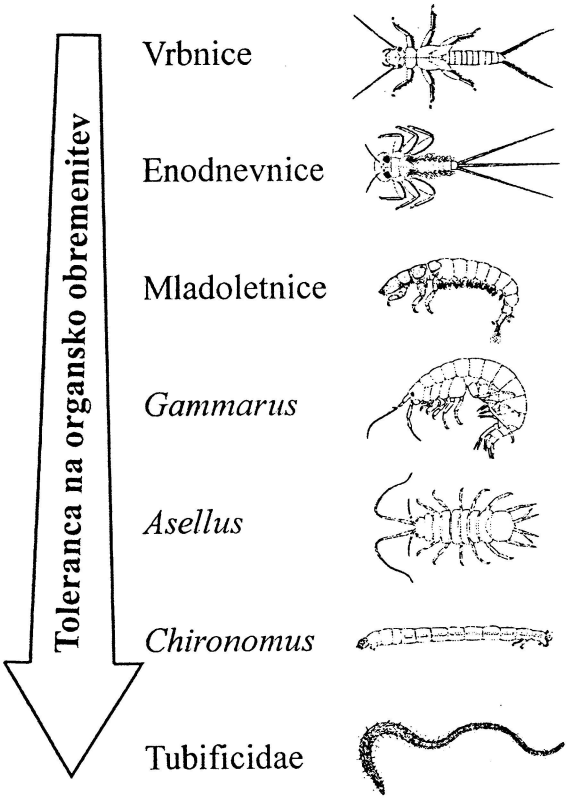
8. Izračunajte saprobni indeks za posamezna vzorčna mesta. Vrednosti vpišite v tabelo.

Vzorčno mesto	Vrednost SI	Kakovostni razred

3. 2. 3 Biotski indeksi

Biotski indeksi so bili razviti kot alternativa saprobnemu sistemu, predvsem z namenom zmanjšati časovno zamudo zaradi štetja in določanja organizmov pri izračunu saprobnega indeksa. Temeljijo na prisotnosti oz. odsotnosti indikatorskih skupin in na diverziteti taksonov (običajno družin in rodov) na posameznih vzorčnih mestih. Le v redkih primerih je vključen nivo vrste. Kot saprobni indeks so tudi biotski uporabni za določanje organske obremenjenosti voda, nekateri med njimi pa tudi za določanje nekaterih drugih onesnaženj. Večina danes razvitih biotskih indeksov je bila razvita iz biotskega indeksa Trent (Woodiwiss, 1964), ki temelji na naslednjih predpostavkah:

a) z naraščajočo stopnjo organske obremenjenosti se zmanjšuje število skupin makroinvertebratov oz. se zmanjšuje biotska diverziteta in
b) z naraščanjem organske obremenjenosti izginjajo taksoni v vrstnem redu (slika 17):
   - vrbnice (Plecoptera),
   - enodnevnice (Ephemeroptera),
   - mladoletnice (Trichoptera),
   - *Gammarus*,
   - *Asellus*,
   - *Chironomus* in
   - Tubificidae.



Slika 17. Relativna toleranca različnih taksonov makroinvertebratov na organsko obremenitev

Zaradi vključenih višjih taksonomskih nivojev so biotski indeksi uporabni za širši krog ljudi in jih predvsem v mnogih zahodnoevropskih državah uporabljajo kot standardno metodo za določanje kakovosti voda. V večini primerov so zgolj regionalno uporabni in ugotovitve ne veljajo za širša geografska območja, kot to velja za saprobni indeks. Zaradi ozke regionalne uporabnosti so bile razvite številne modifikacije biotskega indeksa Trent za posamezne države ali regije ter številni novi indeksi. Države, ki biotskih indeksov ne uporabljajo, npr. Nemčija, Avstrija, Češka in Slovenija, imajo geografsko zelo razgibano površino, zato bi bila potrebna uporaba različnih, za območje prirejenih biotskih indeksov. Primernejša je uporaba širše uporabnega indeksa, kakršen je saprobni.

1) Biotski indeks Trent (TBI)

Biotski indeks Trent je bil razvit na reki Trent v Veliki Britaniji in je izhodišče za številne zahodnoevropske biotske indekse (Woodiwiss, 1964). Osnova sta dve postavki:

1) z naraščajočo stopnjo organske obremenjenosti vrstna diverziteta upada in
2) z naraščajočim obremenjevanjem skupine organizmov izginjajo v značilnem vrstnem redu (tabela 11).

Z izjemo vrste *Baetis rhodani* so pri oceni uporabljene le višje taksonomske enote, kot sta rod in družina (tabela 12). Vrednosti indeksa so rangirane od 0 do 10, pri čemer 10 predstavlja neobremenjen vodotok (tabela 13).

Tabela 11: Biotski indeks Trent

		Celotno število skupin, prisotnih v vzorcu				
		0 - 1	**2 - 5**	**6 - 10**	**11 - 15**	**>15**
Skupina (prisotnost)		**Vrednost indeksa**				
Vrbnice - ličinke	**≥2 taksona**	-	7	8	9	10
	1 takson	-	6	7	8	9
Enodnevnice - ličinke	**≥2 taksona**	-	6	7	8	9
	1 takson	-	5	6	7	8
Mladoletnice - ličinke	**≥2 taksona**	-	5	6	7	8
	1 takson	4	4	5	6	7
Gammarus		3	4	4	6	7
Asellus		2	3	4	5	6
Tubificidae in/ali rdeči Chironomidae		1	2	3	4	-
Nobeden od naštetih organizmov		0	1	2	-	-

Tabela 12. Spisek taksonov, vključenih v biotski indeks Trent

Taksonomske skupine
Vsak rod vrtinčarjev
Maloščetinci (razen družina Naididae)
Družina Naididae
Vsak rod pijavk
Vsak rod mehkužcev
Vsak rod nižjih rakov
Vsak rod enodnevnic, razen *Baetis rhodani*
Baetis rhodani
Vsak rod vrbnic
Vsaka družina mladoletnic
Vsak rod mrežekrilcev
Družina Chironomidae, razen *Chironomus* sp.
Družina Simuliidae
Vsaka družina drugih dvokrilcev
Vsak rod Elmidae & Helodidae
Vsaka družina drugih hroščev
Vodne pršice (Hydracarina)

Določitev vrednosti TBI

1. Ugotovite, katera skupina v vzorcu, vključena v tabelo 11, je zapisana pred drugimi prisotnimi skupinami v vzorcu (možnosti: ličinke vrbnic, ličinke enodnevnic, ličinke mladoletnic, *Gammarus*, *Asellus*, Tubificidae).
2. Določite (seštejte) število taksonov (rodov, družin) v tisti skupini.
3. Po tabeli 12 določite število vseh skupin oz. taksonov, prisotnih v vzorcu.
4. V tabeli 11 poiščite presečišče med številom vseh taksonov, prisotnih v vzorcu, in tisto skupino v vzorcu, ki je v tabeli zapisana pred vsemi ostalimi (dve možnosti):
   a) 1 takson prisoten,
   b) prisotna 2 ali več taksonov.
5. Število v presečišču je vrednost TBI.

Tabela 13. Vrednosti biotskega indeksa Trent in pripadajoči kakovostni razredi

Kakovostni razred	Vrednost TBI	Stopnja obremenjenosti vodotoka
I	9 - 10	Neobremenjen
II	7 - 8	Majhna
III	5 - 6	Srednja
IV	<4	Močna

2) Chandlerjev biotski seštevek (CBS)

Chandlerjev biotski seštevek (angl. Chandler Biotic Score) je biotski indeks, v katerem je poleg indikatorskih skupin upoštevana tudi pogostost posameznega taksona v vzorcu. Sistematskim enotam

(taksonom) so v tabeli 14 določene vrednosti od 0 do 100. Število točk, ki jih določen takson dobi, je odvisno od tolerance na onesnaženje in pogostosti tega taksona v vzorcu.

V originalni obliki (Chandler, 1970) indeks izračunamo tako, da seštejemo točke vseh taksonov, zapisanih v tabeli 14. Kasneje so Balloch in sodelavci (1976) predlagali vpeljavo povprečne vrednosti indeksa, predvsem zaradi tega, ker indeks določa nižje seštevke v zgornjih, neobremenjenih delih vodotoka z maloštevilnimi vrstami. Povprečno vrednost indeksa dobimo tako, da vrednost osnovnega indeksa delimo s številom skupin, prisotnih v vzorcu. Povprečne vrednosti indeksa 80 ali več so značilne za neobremenjene, hitro tekoče in dobro prezračene vodotoke, vrednosti pod 10 pa za močno obremenjene vodotoke.

Tabela 14. Chandlerjev biotski seštevek

Število osebkov v vzorcu* / Skupina	1	2 do 10	11 do 50	51 do 100	> 100
Crenobia alpina G Taeniopterygidae Perlidae, Perlodidae Isoperlidae, Chloroperlidae	90	94	98	99	100
G Leuctridae, Capniidae Nemouridae (razen *Amphinemura*)	84	89	94	97	98
G Enodnevnice (razen *Baetis*)	79	84	90	94	97
F Mladoletnice s hišico G Mrežekrilci	75	80	86	91	94
Ancylus	70	75	82	87	91
Rhyachophila	65	70	77	83	88
Dicranota, Limnophora	60	65	72	78	84
Simuliidae	56	61	67	73	75
G Elmidae, Helodidae	51	55	61	66	72
Amphinemura	47	50	54	58	63
Baetis	44	46	48	50	52
Gammarus	40	40	40	40	40
F Mladoletnice brez hišice (razen *Rhyachophila*)	38	36	35	33	31
G Tricladida (razen *Crenobia alpina*)	35	33	31	29	25
Hydracarina	32	30	28	25	21
G Mehkužci (razen *Ancylus*)	30	28	25	22	18
Chironomidae (razen *Chironomus*)	28	25	21	18	15
Glossiphonia	26	23	20	16	13
Asellus	25	22	18	14	10
G Pijavke (razen *Glossiphonia, Haemopis*)	24	20	16	12	8
Haemopis	23	19	15	10	7
Tubificidae	22	18	13	9	5
Chironomus	21	17	12	7	4
Naididae	20	16	10	6	2
F vrste, ki vdihavajo zrak	19	15	9	5	1
ni živali	0	0	0	0	0

*F pomeni nivo družine
G pomeni nivo rodu

Določitev vrednosti CBS

1. Za vsako skupino (lahko jo sestavlja več taksonov, npr. mladoletnice s hišico in mrežekrilci) iz tabele 14, določite absolutno pogostost.
2. Vsaki skupini pripišite ustrezno vrednost iz tabele (vrednost dobite kot presečišče med številom osebkov v vzorcu in skupino).
3. Seštejte vrednosti vseh skupin (največje možno število skupin je 25), njihova vsota je vrednost indeksa CBS.
4. Povprečno vrednost indeksa CBS izračunajte tako, da vrednost indeksa delite s številom skupin, prisotnih v vzorcu.

3) Indeks BMWP

Indeks BMWP (angl. Biological Monitoring Working Party) je bil razvit v Veliki Britaniji (Armitage s sod., 1983). Najnižji taksonomski nivo v njem je nivo družine. Zaradi taksonomske enostavnosti pri njegovi izdelavi je bil kasneje objavljen kot standardna metoda.

Tabela 15. Taksonomske skupine, uporabljene v indeksu BMWP, in njihove določene vrednosti

Vrednost	Taksonomska skupina
10	Siphlonuridae, Heptageniidae, Leptophlebiidae, Ephemerellidae, Potamanthidae, Ephemeridae Taeniopterygidae, Leuctridae, Capniidae, Perlodidae, Perlidae, Chloroperlidae Apheilocheridae Phryganeidae, Molannidae, Beraeidae, Odontoceridae, Leptoceridae, Goeridae, Lepidostomatidae, Brachycentridae, Sericostomatidae
8	Astacidae Lestidae, Agriidae, Gomphidae, Cordulegastridae, Aeshnidae, Corduliidae, Libellulidae Psychomyiidae, Ecnomidae, Philopotamidae
7	Caenidae, Nemouridae Rhyacophilidae, Glossosomatidae, Polycentropodidae, Limnephilidae
6	Neritidae, Viviparidae, Ancylidae, Acroloxidae Hydroptilidae Unionidae Corophidae, Gammaridae, Crangonyctidae Platycnemididae, Coenagriidae
5	Mesovelidae, Hydrometridae, Gerridae, Nepidae, Naucoridae, Notonectidae, Pleidae, Corixidae Haliplidae, Hygrobiidae, Dytiscidae, Noteridae, Gyrinidae, Hydrophylidae, Hydraenidae, Clambidae, Scirtidae, Dryopidae, Elmidae Hydropsychidae Tipulidae, Simuliidae Planaridae, Dugesiidae, Dendrocoelidae
4	Baetidae Sialidae Piscicolidae
3	Valvatidae, Hydrobiidae, Bithyniidae, Lymnaeidae, Physidae, Planorbidae, Sphaeridae Glossiphoniidae, Hirudinidae, Erpobdellidae Asellidae
2	Chironomidae
1	Oligochaeta

Za vrednotenje po metodi BMWP je potrebno kvalitativno vzorčenje, pri čemer je vzorec sestavljen iz podvzorcev, nabranih v različnih mikrohabitatih na izbranem vzorčnem mestu. Za izvedbo metode je potrebno znanje za določanje do nivoja družine. Predhodno je bila vsaki družini določena vrednost med 1 in 10 (vrednost 9 je izpuščena) glede na njeno toleranco oz. občutljivost na organsko obremenjenost vodnega okolja. Najobčutljivejšim taksonom je bila določena najvišja vrednost, medtem ko imajo najbolj tolerantni najnižje vrednosti.

Najprej so indeks računali kot seštevek vrednosti vseh taksonov. Kasneje so zaradi vpliva velikosti vzorca vpeljali povrečno vrednost (ASPT - angl. average score per taxon). Izračunamo jo tako, da seštevek vseh taksonov delimo s številom taksonov, prisotnih v vzorcu. Vrednosti BMWP, višje od 100, oz. vrednosti ASPT, višje od 4,5; nakazujejo dobro kakovost vode oz. neobremenjen vodotok, nižje vrednosti pa slabo kakovost oz. obremenjen vodotok (tabela 16).

Določitev vrednosti BMWP in ASPT

1. Določite osebke do nivoja družine.
2. Vsakemu taksonu pripišite iz tabele 15 ustrezno vrednost.
3. Seštejte vrednosti vseh taksonov, njihova vsota je vrednost BMWP.
6. Povprečno vrednost ASPT izračunajte tako, da vrednost BMWP delite s številom taksonov, prisotnih v vzorcu.

Tabela 16. Vrednosti indeksov BMWP in ASPT ter pripadajoči kakovostni razredi

Kakovostni razred	Vrednost BMWP	Vrednost ASPT	Stopnja obremenjenosti vodotoka
I	>150	>6,0	Neobremenjena do rahlo obremenjena
II	101 - 150	4,5 - 6,0	Majhna
III	51 - 100	3,6 - 4,4	Srednja
IV	26 - 50	3,1 - 4,3	Močna
V	<25	<3,1	Zelo močna

Vaja 21: Vrednotenje kakovosti voda na osnovi biotskih indeksov

Metodologija

Načini vzorčenja, ki jih uporabljamo pri vrednotenju kakovosti voda z biotskimi indeksi, so praviloma semikvantitativni in podobni vzorčenjem, ki jih uporabljamo pri oceni kakovosti voda na osnovi saprobnega indeksa, upoštevaje združbo prisotnih makroinvertebratov.

Material

- standardna ročna mreža
- vzorčevalna posoda
- banjica
- lupa

- pinceta
- igla
- fiole
- vata
- papir
- 70 % alkohol
- škornji

Izvedba

I) Teren

1. Na terenu zberite vzorce s pomočjo standardne ročne mreže po metodi presečnega vzorčenja.
2. Vzorce shranite v plastične posode ali vrečke, jih označite (vzorčno mesto, datum) in jih odnesite v laboratorij.
3. V primeru kasnejše obdelave shranite vzorce v 4 % formalinu.

II) Laboratorij

4. Pod lupo poberite iz vzorcev vse makroinvertebrate.
5. Določite taksonomsko sestavo in absolutno pogostost posameznih taksonov.
6. Organizme shranite v fiole v 70 % etanolu.
7. Rezultate vpišite v tabelo.

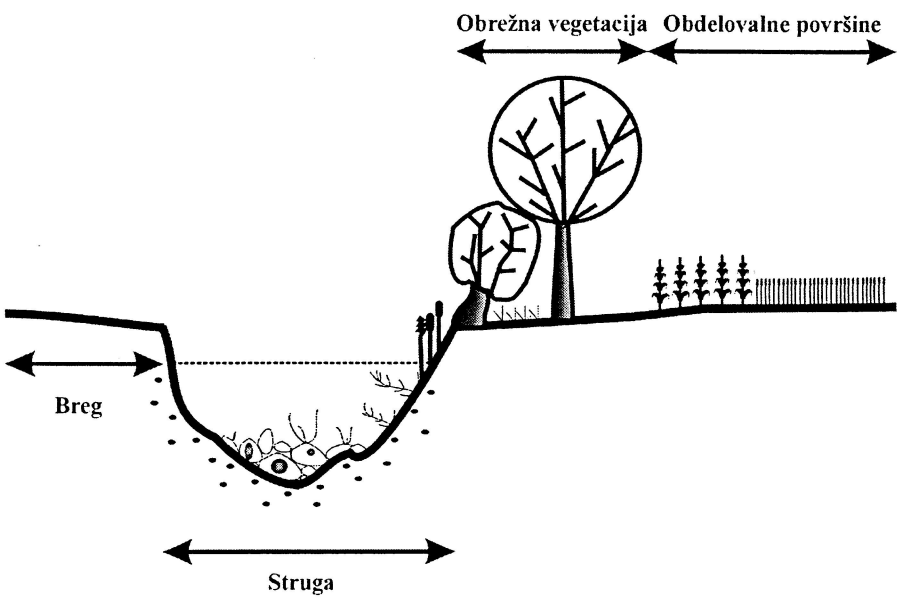
Vzorčno mesto	Takson	Absolutna pogostost

8. Izračunajte različne indekse za posamezna vzorčna mesta.
9. Vrednosti vpišite v tabelo.

Vzorčno mesto	Indeks	Vrednost indeksa	Kakovostni razred

II. Ekomorfološko vrednotenje vodotokov

Začetki vrednotenja vodotokov na osnovi ekomorfoloških značilnosti segajo v devetdeseta leta 20. st., v t. i. obdobje ekohidrologije, in so odraz velikih fizičnih sprememb v vodotokih. Gre za celovit pristop k vrednotenju vodotokov, pri čemer so pod pojmom ekomorfološke značilnosti vodotokov zaobsežene fizične in biotske lastnosti struge, bregov in zemljišča ob vodotoku (slika 18). Dodane so še informacije o vodni vegetaciji, ribah in vodnih nevretenčarjih. Pri vrednotenju te značilnosti primerjamo s potencialnim naravnim stanjem konkretnih geografskih značilnosti pokrajine. V mnogih primerih je mogoče zaradi aktivnega spreminjanja vodotokov v prejšnjih desetletjih ugotavljati le potencialno naravno stanje. Ocena današnjega stanja omogoča ugotavljanje sprememb vodotoka in odstopanje od potencialnega naravnega stanja. Kljub istemu cilju, tj. ovrednotenju stanja vodotoka, so se v različnih državah razvili različni modeli vrednotenja in klasifikacije. Razlike med sistemi so odraz različnih namenov uporabe metode in subjektivnosti raziskovalne skupine.



Slika 18. Prečni prerez rečnega koridorja

Z znanjem o strukturnem stanju vodotokov se pričenja nova faza v varovanju vodotokov, v tujini imenovana "druga iniciativa varovanja voda", in naj bi dopolnjevala prvo, t. i. "izboljšanje kakovosti vode". V prihodnosti naj bi karte ohranjenosti oz. spremenjenosti vodotokov služile kot osnova za sanacije in renaturacije vodotokov. V nekaterih ekomorfoloških vrednotenjih so že predvideni tudi potrebni posegi oz. aktivnosti na vodotoku glede na stopnjo ekomorfološke spremenjenosti vodotoka.

1. INDEKS RCE

Ena od metod ekomorfološkega vrednotenja vodotokov je t. i. indeks RCE (obrežje, struga in okolje) (Peterson, 1992).

Metoda je bila razvita za vrednotenje majhnih (<3 m široki), nižinskih vodotokov na kmetijskih območjih na osnovi fizičnih in biotskih značilnosti vodotoka, upoštevaje značilnosti njegovega zaledja. Preizkušena je bila na vodotokih v Združenih državah Amerike, Italiji in na Švedskem. S kasnejšimi analizami se je pokazalo, da je metoda uporabna tudi za gorske potoke, preizkušena pa je bila tudi na večjih rekah.

Metoda je osnovana na 16 značilnostih obrežne vegetacije in zaledja, morfoloških značilnosti struge ter biotskih razmer v vodnih in obrežnih habitatih. Pri vrednotenju opazovalec izbere mesto opazovanja ter upošteva odsek v dolžini 50 m po toku navzgor in 50 m po toku navzdol od mesta opazovanja. Opazovane značilnosti zabeleži v obrazec RCE (tabela 17), v katerem je vsaka od značilnosti razdeljena v štiri različno ovrednotene kategorije. Z vrednostjo 1 je označeno najbolj spremenjeno ali degradirano stanje izbrane značilnosti vodotoka, z najvišjo vrednostjo (ki je med 15 in 30) pa najbolj nespremenjeno - naravno stanje.

Tabela 17. Obrazec RCE

Zap. št.	Parameter in opis stanja	Vrednosti
1.	**Raba zemljišča za obrežno cono**	
	Nespremenjena (prvotna), gozdni sestoji in naravna močvirja	30
	Izmenjavanje pašnih površin, gozdov in močvirij, nekaj polj	20
	Izmenjavanje obdelovalnih in pašnih površin	10
	Prevladujejo obdelovalne površine	1
2.	**Širina cone obrežne vegetacije med robovoma struge in polj**	
	Močvirna ali lesnata obrežna vegetacija > 30 m širine	30
	Močvirna ali lesnata obrežna vegetacija od 5 do 30 m širine	20
	Močvirna ali lesnata obrežna vegetacija od 1 do 5 m širine	5
	Močvirne ali lesnate obrežne vegetacije ni	1
3.	**Sklenjenost obrežne vegetacije**	
	Sklenjena obrežna vegetacija, brez prekinitev v vegetaciji	30
	Prekinitve vegetacije se pojavljajo na razdaljah > 50m	20
	Prekinitve vegetacije se pojavljajo vsakih 50 m	5
	Po celotni dolžini brez obrežne vegetacije	1
4.	**Obrežna vegetacija znotraj 10-metrskega pasu ob strugi**	
	>90 % pokrovnosti predstavljajo nepionirska drevesa ali grmovja in močvirske rastline	25 15
	Mešane pionirske združbe vzdolž struge z drevesi v ozadju	5
	Vegetacija travnih vrst in redkih pionirskih dreves ali grmovja	1
	Travnata vegetacija, nekaj dreves ali grmovja	
5.	**Zadrževalne strukture**	
	Struga s skalami in/ali matično kamnino	15
	Skale prisotne, od zadaj zapolnjene z usedlinami	10
	Zadrževalne strukture v strugi nestabilne; ob povišanih vodostajih se premikajo	5
	Peščena naplavina; le nekaj zadrževalnih struktur v strugi	1
6.	**Oblika struge**	
	Zadosti velika struga za najvišje letne pretoke, razmerje širina/globina <7	15
	Redko preplavljeni bregovi, razmerje širina/globina struge od 8 do 15	10
	Razmerje širina/globina struge od 15 do 25	5
	Preplavljanje bregov pogosto, razmerje širina/globina >25, ali pa je vodotok kanaliziran	1

7.	**Usedline v strugi**	
	Odlaganje usedlin malo ali nič ne vpliva na povečanje struge	15
	Malo skalnih ali kamnitih ovir v strugi s spranimi naplavinami, malo muljastih naplavin	10 5
	Ovire iz skal, peska ali muljastih naplavin pogoste	1
	Struga deljena v preplete ali pa je vodotok kanaliziran	
8.	**Struktura bregov**	
	Bregova stabilna, kamnita ali čvrsto utrjena s travo, grmičevjem in drevesnimi koreninami	25 15
	Bregova trdna, utrjenost s travo in grmičevjem rahla	5
	Zemljina na bregovih rahla, zadržuje jo skromna plast trave in grmičevja	1
	Nestabilna bregova iz rahle zemljine ali peska, erozija prisotna	
9.	**Spodjedanje bregov**	
	Ni opazno, oziroma je opazno na predelih, ki so utrjeni z drevesnimi koreninami	20
	Spodjedanje le na zavojih in ožinah	15
	Pogosto spodjedanje bregov	5
	Močno spodjedanje vzdolž struge, erozija prisotna	1
10.	**Kamnit substrat: videz in oblika**	
	Kamni čisti, brez ostrih robov in peščenih usedlin na površini; lahko pa so počrneli	25 15
	Kamni brez ostrih robov in z rahlimi peščenimi usedlinami na površini	5
	Nekateri kamni z ostrimi robovi in očitnimi peščenimi usedlinami na površini	1
	Kamni svetli z ostrimi robovi in očitnimi peščenimi usedlinami na površini	
11.	**Dno vodotoka**	
	Kamnito dno, sestavljeno iz delcev različnih velikosti z očitnimi intersticielnimi prostori	25 15
	Lahkogibljivo kamnito dno z malo mulja	5
	Dno iz mulja, peska in gramoza; stabilno na nekaterih mestih	1
	Dno iz rahlo sprijetega peska in mulja, kamnitega substrata ni	
12.	**Brzice, tolmuni ali meandri**	
	Enakomerno prisotni na razdaljah od 5- do 7-kratne širine vodotoka	25
	Nepravilno razporejeni	20
	Dolgi tolmuni, ločeni s kratkimi brzicami, meandri odsotni	10
	Meandri, brzice in tolmuni odsotni ali pa je vodotok kanaliziran	1
13.	**Vodna vegetacija**	15
	Sestoji iz mahov in posameznih kosmov alg, druge vegetacije ni	10
	Alge prevladujejo v tolmunih, vaskularne rastline pa vzdolž roba struge	5
	Prisotnost nitastih alg, nekaj vaskularnih rastlin in mahov	1
	Nitaste alge prekrivajo dno, v strugi prevladujejo vaskularne rastline	
14.	**Ribe**	
	Prisotnost reofilnih rib (salmonidov, glavača), prvotna populacija prisotna v tolmunih	20 15
	Reofilne ribe redke	10
	Reofilnih rib ni, prisotnih nekaj lentičnih rib v tolmunih	1
	Ribe odsotne ali posamične	
15.	**Detrit**	
	V glavnem sestoji iz listja in lesa brez usedlin	25
	Listje in les redka, prisotne drobne organske usedline	10
	Odsotnost naplavljenega listja in lesa	5
	Drobne anoksične usedline, odsotnost grobih naplavin	1
16.	**Vodni nevretenčarji (makroinvertebrati)**	
	Prisotnost velikega števila vrst na vseh tipih substrata	20
	Veliko vrst, vendar le v dobro prezračenih habitatih	15
	Malo vrst v večini habitatov	5
	Malo vrst, vendar le v dobro prezračenih habitatih	1
	SKUPNO ŠTEVILO TOČK:	

Tabela 18. Vrednosti indeksa RCE, izražene kot kakovostni razredi

Razred	Rezultat	Stopnja ohranjenosti	Barva	Priporočljivi obnovitveni ukrep
I	293-360	Odlična	Modra	Spremljanje stanja in zaščita stopnje ohranjenosti
II	224-292	Zelo dobra	Zelena	Spremljanje sprememb, po potrebi manjši ukrepi
III	154-223	Dobra	Rumena	Manjši ukrepi potrebni
IV	86-153	Zadovoljiva	Rjava	Potrebni so večji ukrepi
V	16- 85	Nezadostna	Rdeča	Popolna prenova rečnega koridorja

Vaja 22: Ekomorfološko vrednotenje vodotoka

Material

- obrazec za indeks RCE

Izvedba

1. Na izbranem odseku ovrednotite posamezne značilnosti, vključene v obrazec RCE.
2. Vzorčno mesto uvrstite v ustrezen kakovostni razred.
3. Vrednosti vpišite v tabelo.

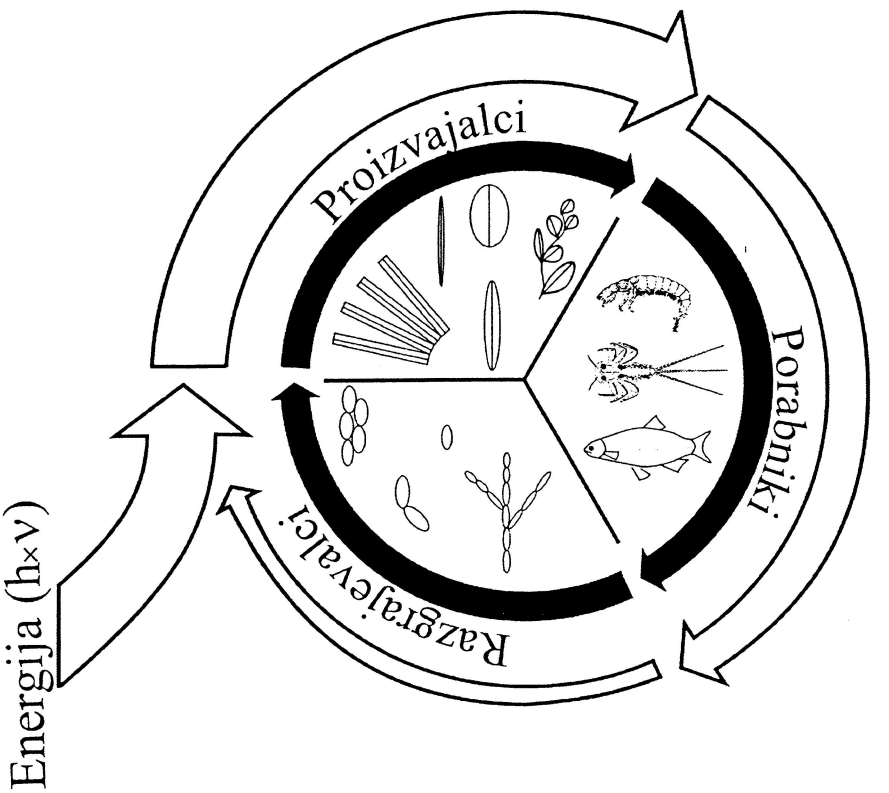
Vzorčno mesto	Skupno število točk	Razred	Stanje vodotoka	Priporočljivi obnovitveni ukrep

III. Čistilne naprave

V želji po ohranjanju naravnega ravnotežja postajajo postopki čiščenja vse bolj nujni spremljevalci današnje družbe. Danes čistilne naprave predstavljajo najpomembnejše ukrepe za izboljševanje kakovosti vodnega okolja. Namen njihove uporabe je zmanjšanje motenj v okolju, kamor se iztekajo efluenti, z zagotavljanjem procesov razgradnje snovi in odstranjevanja suspendiranih snovi, patogenov in toksičnih snovi. S tem se negativni vpliv odpadnih voda na naravno vodno okolje močno zmanjša.

Čiščenje odpadnih voda poteka na osnovi fizikalnih, kemijskih in biotskih procesov. Različne procese lahko uporabljamo posamič ali skupaj odvisno od vrste in količine odpadnih voda ter njihove obremenitve. Najboljša ekološka rešitev za čiščenje biotsko razgradljivih ali delno razgradljivih odpadnih voda so nedvomno biološke čistilne naprave, saj je biološko čiščenje najbolj podobno kroženju snovi in pretoku energije v vodnem okolju (slika 19). Čiščenje s pomočjo biotskih procesov v čistilnih napravah se je razvijalo skladno z napredkom razumevanja biotskih procesov in tehničnih izboljšav pri konstruiranju teh naprav. Danes obstajajo številne različice osnovnih bioloških metod. Tradicionalno biološko čiščenje delimo v tri stopnje:

a) primarno,
b) sekundarno in
c) terciarno.



Slika 19. Energijski in snovni prikaz popolnega samočiščenja v vodotoku

1. PRIMARNA STOPNJA ČIŠČENJA

Začetna stopnja čiščenja odpadnih voda obsega predvsem mehanske procese precejanja in usedanja delcev. Voda se najprej preceja skozi rešetke (v žargonu grablje), ki zadržijo večje organske delce. Te delce odložijo na odlagališča odpadkov. Obremenjena voda nato teče v usedalnik, kjer se delci, večji od 0,1 mm, usedejo in pride do delne razgradnje organskih snovi. Na primarni stopnji čiščenja se lahko razgradi do 30 % organskih snovi, prisotnih v odpadni vodi.

2. SEKUNDARNA STOPNJA ČIŠČENJA

Druga stopnja čiščenja vključuje predvsem biokemijske procese razgradnje. Cilj postopkov sekundarnega čiščenja je zmanjšati količino vseh organskih snovi v vodi. Glede na to, ali mikroorganizmi razgrajujejo organske snovi v prisotnosti ali odsotnosti kisika, razlikujemo:

- aerobno biološko čiščenje in
- anaerobno biološko čiščenje.

2. 1 Aerobno biološko čiščenje

V aerobnih bioloških postopkih organizmi biokemijsko razgradijo organske snovi v nizkomolekularne organske snovi in v končni fazi oksidirajo do anorganskih. Torej je aerobno biološko čiščenje posnemanje naravnega biološkega samočiščenja, značilnega za naravne vodotoke. V naravi je biološko samočiščenje popolno, saj sodelujejo vse glavne skupine organizmov (slika 19):

- primarni producenti,
- porabniki in
- razgrajevalci.

Na sekundarni stopnji v bioloških čistilnih napravah ni primarnih producentov, zato je čiščenje nepopolno. Očiščena voda je razbremenjena le organskih snovi, vsebuje pa nutriente. Izpust z nutrienti bogate vode v odvodnik lahko v stoječih vodah povzroči evtrofikacijske procese in s tem sekundarno onesnaženje. Zato za zmanjšanje količine nutrientov pri čiščenju odpadnih voda uporabljajo tudi terciarno stopnjo čiščenja.

Nosilci aerobnega biološkega čiščenja so organizmi oziroma aktivna biomasa. Razlikujemo dva tipa biomase in glede na to dva tipa bioloških čistilnih naprav:

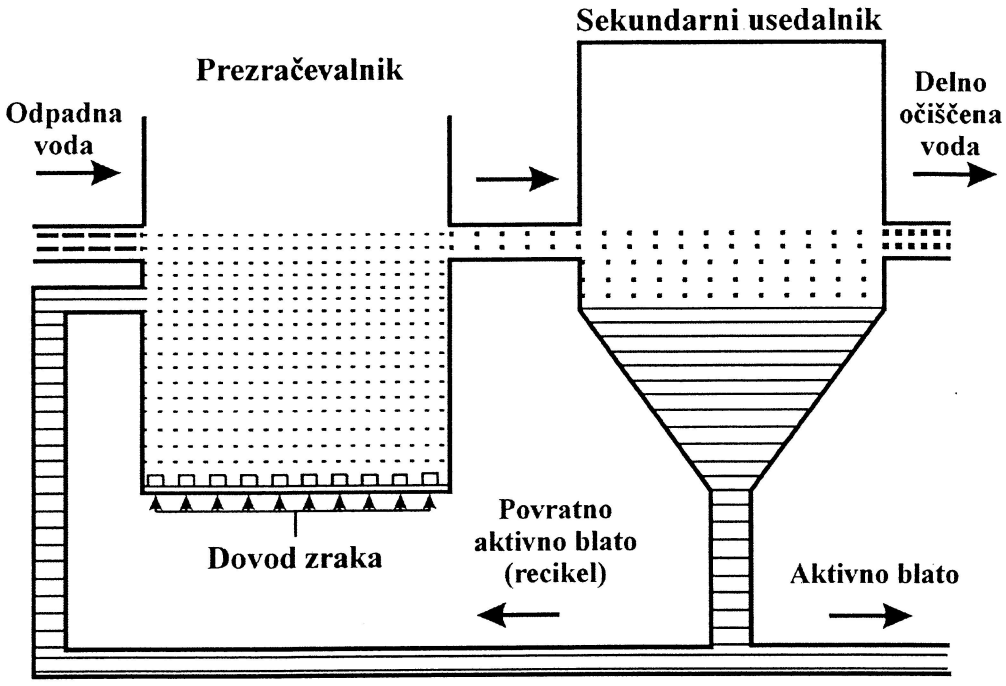
1. naprave z razpršeno biomaso
2. naprave s priraslo biomaso

2. 1. 1 Čistilne naprave z razpršeno biomaso

V čistilnih napravah z razpršeno biomaso, imenovano aktivno blato (angl. activated sludge), posnemajo dogajanja v prosti vodi,

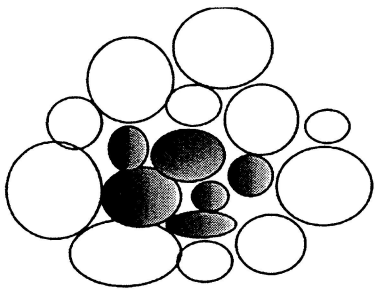
vendar je v njih močno povečana koncentracija organizmov na prostorninsko enoto. Vsaka biološka čistilna naprava z razpršeno biomaso sestoji iz dveh osnovnih delov (slika 20):

- prezračevalnika, kjer poteka proces biokemijske razgradnje organskih snovi s pomočjo mikroorganizmov združbe aktivnega blata in
- sekundarnega usedalnika, kjer se ločita očiščena voda in aktivno blato.



Slika 20. Prezračevalnik in sekundarni usedalnik čistilne naprave z razpršeno biomaso (aktivnim blatom)

Osnovni del združbe aktivnega blata je kosem (slika 21), ki ga oblikujejo bakterijske populacije in poseljujejo organizmi spremljajoče združbe. Med kosmi se nahaja intersticijska tekočina, ki jo poseljujejo dispergirane bakterije, prosto plavajoči bičkarji, migetalkarji, kotačniki in nekateri drugi mnogoceličarji.



Aerobni mikroorganizmi

Fakultativno anaerobni mikroorganizmi

Slika 21. Shematski prikaz kosma aktivnega blata

Življenjsko združbo suspenzije aktivnega blata lahko ekološko razdelimo v dve osnovni skupini: na razgrajevalce in porabnike.

1. Razgrajevalci

Razgrajevalci so organizmi, ki biokemijsko oksidirajo prisotne organske snovi. To skupino sestavljajo bakterije in glive.

a) Bakterije delimo v tri skupine.

- Razpršene (dispergirane) bakterije

  Celice so proste v suspenziji aktivnega blata. Zaradi majhne specifične teže povzročajo težave, ker se ne usedajo in skupaj z očiščeno vodo iztekajo iz čistilne naprave.

- Izkosmičene (flokulirane) bakterije

  Tvorijo kosme, med njimi najpogosteje tvori zametke kosmov vrsta *Zoogloea ramigera.*

- Nitaste (filamentozne) bakterije

  V aktivnem blatu niso zaželene, ker povzročajo napihovanje blata (angl. bulking), ki zmanjšuje učinkovitost čistilnih naprav. Zaradi plavajoče (flotirane) biomase le-ta izteka skupaj z očiščeno vodo iz čistilne naprave. Značilen predstavnik je vrsta *Sphaerotilus natans.*

b) Glive

2. Porabniki

To so organizmi spremljajoče združbe, ki se posredno vključujejo v čiščenje. Prispevajo do 30 % zmanjšanja obremenitve čistilne naprave v celotnem čiščenju in so indikatorji stanja v čistilnih napravah. Primarna vloga organizmov spremljajoče združbe je kontrola populacij dispergiranih bakterij, s katerimi se prehranjujejo. Kakovost iztoka in njegova bistrost sta v veliki meri odvisni od prisotnosti in pogostosti določenih vrst organizmov v spremljajoči biocenozi. Poznavanje teh organizmov ima praktičen pomen pri kontroli delovanja bioloških čistilnih naprav. Najznačilnejše skupine so prikazane na sliki 22.

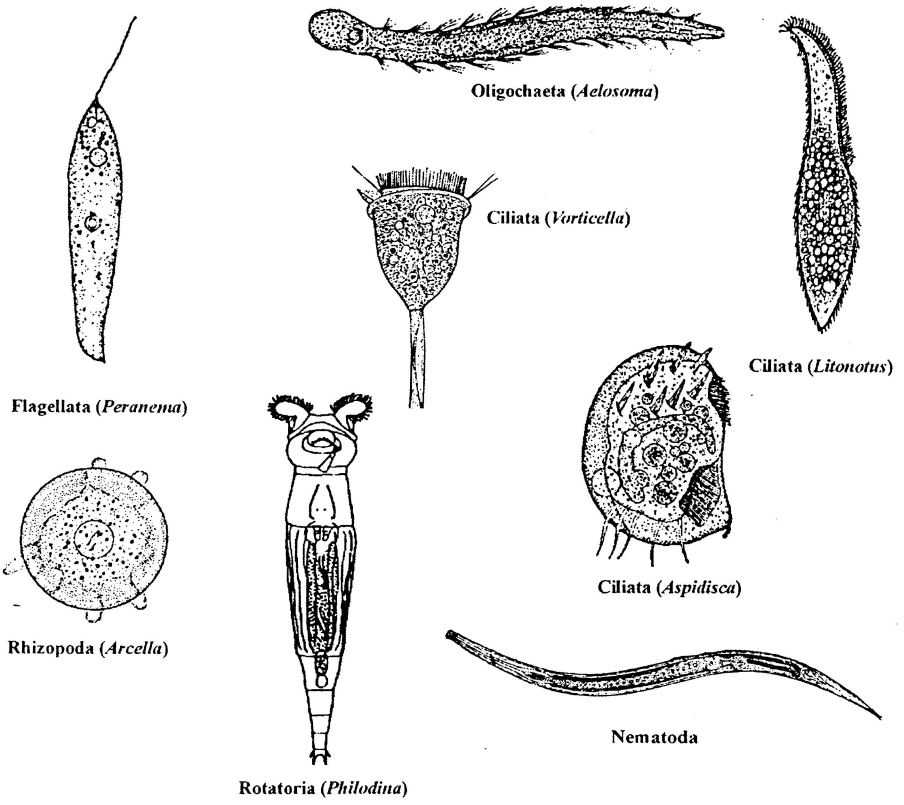
a) Bičkarji (Flagellata) so manj pomembni in razen v primeru poslabšanja razmer v čistilni napravi ne predstavljajo pomembne komponente.

b) Korenonožci (Rhizopoda) živijo v aktivnem blatu. Značilni predstavniki so gole amebe (*Amoeba limax, A. radiosa, A. proteus*) in amebe s hišico (*Arcella, Euglypha*), vendar niso vodilni organizmi.

c) Migetalkarji (Ciliata) so najpomembnejši organizmi spremljajoče združbe. Odstranjujejo organske delce, tudi bakterije, ki so njihov glavni vir hrane. Delimo jih na:

- prostoplavajoče bakteriovorne vrste (Holotricha: *Paramecium, Litonotus, Colpidium*),
- sesilne kolonijske in solitarne vrste (Peritricha: *Epistylis, Opercularia, Vorticella, Carchesium, Zoothamnium*),
- prosto gibljive predatorske vrste (Spirotricha: *Aspidisca, Oxytricha, Euplotes, Stylonychia*) in
- suktorije (Suctoria: *Tokophrya, Acineta*).

d) Kotačniki (Rotatoria) so običajno najštevilčnejši mnogoličarji. V aktivnem blatu sta obe skupini, Bdelloidea (*Philodina, Rotaria*) in Monogononta (*Lepadella, Lecane, Colurella, Cephalodella*).
e) Maloščetinci (Oligochaeta) so v aktivnem blatu najpogosteje zastopani z rodom *Aelosoma.*
f) Gliste (Nematoda) so v aktivnem blatu občasno prisotne.



Slika 22. Organizmi spremljajoče združbe v aktivnem blatu

Vaja 23: Združba aktivnega blata

Material
- mikroskop
- objektna stekla
- krovna stekla
- kapalke
- določevalni ključi

Izvedba
1. Vzorec s premešanjem homogenizirajte.
2. S kapalko zajemite del vzorca.
3. Kapljico vzorca dajte na objektno steklo, ga pokrijte s krovnim steklom in mikroskopirajte.
4. Določite taksonomsko sestavo in relativno pogostost posameznih taksonov.
5. Rezultate vpišite v tabelo.

Vzorec	Takson	Relativna pogostost

2. 1. 2 Čistilne naprave s priraslo biomaso

Osnovne zakonitosti delovanja teh čistilnih naprav izhajajo iz dogajanj na rečnem dnu in so posnetek biološkega samočiščenja, ki poteka v obrasti (perifiton). V čistilnih napravah s priraslo biomaso so organizmi pritrjeni na polnilo. Uveljavljen izraz zanje je biofilm. Klasični primeri čistilnih naprav tega tipa so precejalniki, biofiltri in biodiski.

Precejalnik je čistilna naprava, napolnjena s polnilom, na katerega se pritrjajo mikroorganizmi, ki jih prinaša s seboj odpadna voda. Ti organizmi razgrajujejo organske snovi, ki jih prav tako prinaša odpadna voda. Ker se razmnožujejo, se debelina biofilma veča. Deli novonastale obrasti se trgajo od podlage in odtekajo v sekundarni usedalnik, kjer se ločijo od očiščene vode. Glavni del obrasti predstavljajo nitaste bakterije in glive. Med seboj se povezujejo v manjše skupke, ki so po funkciji podobni kosmom aktivnega blata. Pomembno vlogo v obrasti imajo nekateri organizmi spremljajo-

če združbe, npr. maloščetinci in gliste, ki s svojim gibanjem rahljajo biofilm, ki odpada v sekundarni usedalnik.V primerjavi z aktivnim blatom prevladujejo pritrjene vrste spremljajočih organizmov, npr. peritrihi migetalkarji, od mnogoceličarjev pa so najštevilčnejši monogonontni kotačniki, gliste in maloščetinci.

Vaja 24: Združba mikroorganizmov v precejalniku

Material

- banjica
- ščetka
- posoda za vzorec
- mikroskop
- objektna stekla
- krovna stekla
- kapalke
- določevalni ključi

Izvedba

1. S ščetko postrgajte s polnila združbo obrasti.
2. Vzorec s premešanjem homogenizirajte.
3. S kapalko zajemite del vzorca.
4. Kapljico vzorca dajte na objektno steklo, ga pokrijte s krovnim steklom in mikroskopirajte.
5. Določite taksonomsko sestavo in relativno pogostost posameznih taksonov.
6. Rezultate vpišite v tabelo.

Vzorec	Takson	Relativna pogostost

2. 2 Anaerobno biološko čiščenje

Anaerobni postopki, imenovani anaerobna digestija ali anaerobno gnitje, potekajo v odsotnosti kisika in temeljijo na metanogenezi. Produkt biokemijske razgradnje so nizkomolekularne organske snovi in v končni fazi plini, imenovani bioplin z najpomembnejšima plinoma CH_4 in H_2. Za tehnologijo anaerobnega čiščenja so značilne nekatere prednosti pred aerobnimi čistilnimi napravami, in sicer:

- majhna produkcija biomase,
- aktivni mikrobi imajo skromne potrebe po hranilih,
- med procesi nastaja metan kot uporaben energent v bioplinu,
- procesi so ob ugodnih razmerah zelo zmogljivi,
- aktivno blato je mogoče brez hranil ohraniti več mesecev.

Slabosti te metodologije pa so naslednje:

- mikrobi anaerobnih procesov so občutljivi na nekatere toksikante ($CHCl_3$, CCl_4, CN^-, formaldehid,...),
- anaerobna obdelava je v principu način predobdelave, potrebna je še nadaljnja, končna obdelava pred izpustom odplak v vodotok,
- potreben je daljši čas za optimalno obratovanje čistilne naprave kot pri aerobnih čistilnih napravah.

Anaerobni metanogeni postopki so se uveljavili kot sekundarni postopki stabilizacije blata z aerobnih čistilnih stopenj in kot primarni postopki čiščenja industrijskih odplak z organskimi odpadnimi snovmi. Izbran tehnološki proces in tip naprave sta odvisna od lastnosti odplak in konfiguracije celotnega čistilnega postopka.

3. TERCIARNA STOPNJA ČIŠČENJA

Po zmanjšanju količine organskih snovi v sekundarnem čiščenju lahko sledi še terciarno čiščenje. Uporaba te stopnje je v veliki meri odvisna od uspešnosti čiščenja predhodnih stopenj. Potrebna je takrat, kadar želimo odstraniti oz. zmanjšati količino določenih snovi v efluentu pred izpustom v naravno okolje. Običajen razlog za uvedbo terciarne stopnje so previsoke vrednosti BPK, amonija, nitratov, fosfatov in suspendiranih snovi. Za zmanjšanje teh vrednosti uporabljajo različne biološke filtre, modificirane procese čiščenja z aktivnim blatom za odstranjevanje nitratov in fosfatov ter ionske izmenjevalce za anorganske ione. V uporabi so še številne druge metode odvisno od značilnosti delno očiščene odpadne vode. Pogosto so v terciarni del čiščenja vključene t. i. rastlinske čistilne naprave (RČN), ki pa so danes v večini primerov samostojni čistilni sistemi.

3. 1 Rastlinske čistilne naprave (RČN)

Prvotno so rastlinske čistilne naprave gradili z namenom odstranjevanja hranilnih snovi iz biološko očiščenih odpadnih voda, torej

z namenom terciarnega čiščenja. Danes so namenjene čiščenju kompleksnih komunalnih odplak kakor tudi industrijskih voda in izcednih voda iz deponij odpadkov. Za doseganje učinkovitega čiščenja je substrat ključnega pomena, manj pomembna je izbira rastlin. Čiščenje na RČN je namreč celovito in bolj ali manj zaključeno kroženje snovi, pri katerem imajo vlogo tako procesi razgradnje organskih snovi, ki so pretežno omejeni na substrat, v katerem so prirasle rastline, kakor tudi procesi privzema hranilnih in drugih anorganskih snovi v rastline (npr. težkih kovin).

Celotno dogajanje v RČN je podobno procesom v močvirjih, zato jih poznamo tudi pod izrazom »grajena močvirja«. Procesi zajemajo razgradnjo organskih snovi (aerobno in anaerobno), zmanjševanje in odstranjevanje suspendiranih delcev, dušikovih spojin, fosforjevih spojin, kovin in patogenih mikroorganizmov. V RČN so torej vključeni mehanizmi usedanja, filtracije, adsorpcije, obarjanja, kemijske razgradnje, bakterijskega in rastlinskega metabolizma, rastlinske absorpcije.

RČN delimo glede na tipe rasti prevladujočih makrofitov:

1. sistemi s prosto plavajočimi makrofiti; v Sloveniji manj uporabni, zaradi nizkih zimskih temperatur, v svetu pa poznane čistilne naprave z vodno hiacinto (*Eichornia crassipes*)
2. sistemi s potopljenimi makrofiti; tehnološko manj razširjeni
3. sistemi z emergentnimi makrofiti; v Sloveniji in Evropi najširše uporabljani, najpogostejša rastlina teh RČN je navadni trst (*Phragmites australis*). Imajo lahko:
   a) prosto vodno površino
   b) horizontalni podpovršinski tok
   c) vertikalni podpovršinski tok
   d) kombinacijo naštetega

Z ekosistemskega vidika so RČN optimalna izbira v prostoru, so sekundarni ekosistem in praviloma niso tujek v okolju, kot so to lahko klasične čistilne naprave. Imajo pa tudi pomanjkljivosti, med katerimi so v prvi vrsti nezadostno poznavanje tehnologije izgradnje in vodenja, hidravlični problemi pri že delujočih napravah, relativno velika površina v primerjavi s klasičnimi napravami in zmanjšana aktivnost predvsem rastlinske biomase v času nizkih temperatur oz. pozimi. Kot kažejo izkušnje tudi v Sloveniji, so predvsem primerne za čiščenje manjših količin odplak in izcednih vod z deponij.

IV. Priloge

PRILOGA 1. MEJNE VREDNOSTI FIZIKALNIH IN KEMIJSKIH PARAMETROV ZA ŠTIRI KAKOVOSTNE RAZREDE POVRŠINSKIH VODOTOKOV V SLOVENIJI (PREVZETO IZ UR.L. SFRJ ŠT.6, 1978)

Parameter /Kakovostni razred	1	2	3	4
pH	6,8 - 8,5	6,8 - 8,5	6,0 - 9,0	6,0 - 9,0
Koncentracija kisika (mg/l)	8	6	4	3
Nasičenost vode s kisikom (%)	90 - 105	75 - 90 105 - 115	50 - 75 115 - 125	30 - 50 125 - 130
Suspendirane snovi - po sušenju (mg/l)	10	30	80	100
Skupne raztopljene snovi - po sušenju (mg/l)	350*	1000	1500	1500
BPK_5 (mg/l)	2,0	4,0	7,0	>10,0
Nitrat ($mgNO_3^-/l$)	5,0	9,0	>9,0	
Ortofosfat ($mgPO_4^{3-}/l$)	0,09	0,46	>0,46	

* - ali najmanj toliko, kot je njegov naravni delež

PRILOGA 2. MEJNE VREDNOSTI FIZIKALNIH IN KEMIJSKIH PARAMETROV ZA TROFIČNA STANJA STOJEČIH VODA (PREVZETO IZ CHAPMAN, 1998)

Trofična stanje	Povprečna koncentracija celotnega P (μg/l)	Povprečnega koncentracija klorofila *a* (μg/l)	Maksimalna koncentracija klorofila *a* (μg/l)	Povprečna letna prosojnost (Secchijeva plošča) (m)	Minimalna prosojnost (Secchijeva plošča) (m)	Minimalna nasičenost vode s kisikom (%)
Ultraoligotrofno	<4,0	<1	<2,5	12	6,0	<90
Oligotrofno	<10,0	<2,5	<8,0	6,0	3,0	<80
Mezotrofno	10 - 35	2,5 - 8	8 - 25	6 - 3	3 - 1,5	40 - 89
Evtrofno	35 - 100	8 - 25	25 - 75	3 - 1,5	1,5 - 0,7	40 - 0
Hiperevtrofno	>100	>25	>75	<1,5	0,7	10 - 0

Priloga 3. Opis kakovostnih razredov v saprobnem sistemu (prevzeto iz Moog, 1996)

Kakovostni razred I

stopnja obremenjenosti: neobremenjena do zelo malo obremenjena
barva označevanja vodotokov: modra

Ksenosaprobna stopnja (stopnja obremenjenosti: neobremenjen)
barva označevanja vodotokov: svetlo modra

Deli vodotokov, ki so uvrščeni v ksenosaprobno stopnjo, vsebujejo vedno neobremenjeno in prozorno vodo, nasičeno s kisikom. Suspendirane organske snovi niso zaznavne. Voda je skoraj brez naravnih organskih snovi in v substratu ni redukcijskih procesov. Usedline so redko poseljene z algami, mahovi in nevretenčarji (predvsem ličinke žuželk). Ta kakovostni razred je značilen predvsem za izvirne dele zelo čistih gorskih potokov. Njihovo prispevno območje sestavljajo čiste kamnine. Za uradno označevanje kakovosti voda spada ta neobremenjena voda v oligosaprobni kakovostni razred.

Oligosaprobna stopnja (stopnja obremenjenosti: zelo majhna)
barva označevanja vodotokov: temno modra

Oligosaprobna stopnja je oznaka za dele vodotokov s čisto, prozorno, z nutrienti revno vodo, ki je skoraj vedno 100 % nasičena s kisikom. Opazne so le nizke količine suspendiranih snovi ali bakterij. Tudi najmanjše usedline so vedno rjave ali svetle barve in zelo bogate z minerali. Redukcijski procesi niso prisotni. Substrat je poseljen z algami, mahovi in ličinkami žuželk (v srednjih in zgornjih predelih vodotokov so prisotne številne vrste mladoletnic). Favna je običajno vrstno bogata, vendar osebki niso pogosti. Trzače (Chironomidae) so prisotne v nizkih abundancah; predvsem taksoni, ki rijejo v perifitonu (Diamesinae, Orthocladiinae). V taki vodi živijo vrtinčarji (Turbellaria) in občutljivi maloščetinci (Oligochaeta). Flora mahov je zastopana s številnimi vrstami, včasih z visoko pogostostjo. Perifiton (predvsem diatomeje in cianobakterije) je viden zgolj zaradi obarvanosti. Zelene alge (Chlorophyta) so redke. Oligosaprobni deli vodotokov tudi zaradi svoje fizične strukture predstavljajo idealna drstišča za postrvi. Ta kakovostni razred se pojavlja v izvirnih predelih in v zelo malo obremenjenih vodah vodotokov z nizkimi poletnimi temperaturami.

Kakovostni razred I-II (oligosaprobna do β-mezosaprobna stopnja)

stopnja obremenjenosti: majhna
barva označevanja vodotokov: modra/zelena

S tem prehodnim kakovostnim razredom so opisani deli vodotokov z nizko vsebnostjo anorganskih nutrientov in organskih snovi ter s prozorno vodo. V vodah so visoke vrednosti kisika in nizke vsebno-

sti suspendiranih organskih snovi. Drobne usedline so svetlih barv v vseh mikrohabitatih, na spodnji strani kamnov pa ni opaziti sledov redukcijskih procesov, npr. železovega sulfida. Prvotno so ti deli v pasu postrvi in so gosto poseljeni z različnimi vrstami alg, mahovi, ličinkami vrbnic, enodnevnic in mladoletnic, kot tudi s hrošči (Hydraenidae, Elmidae) in ličinkami dvokrilcev. V teh odsekih vodotokov živijo vrtinčarji in na organsko obremenjenost občutljivi maloščetinci. Filtratorske mladoletnice se pojavljajo zgolj občasno. Trzače (predvsem Orthocladiinae in Diamesinae) so prisotne v večjem številu kot v kakovostnem razredu I.

Kakovostni razred II (β-mezosaprobna stopnja)
stopnja obremenjenosti: zmerna
barva označevanja vodotokov: zelena

Ta kakovostni razred je prisoten v delih vodotokov z zmerno organsko obremenjenostjo in s povečanimi koncentracijami nutrientov, toda še vedno z visokimi koncentracijami kisika. Lahko se pojavlja prenasičenost s kisikom. Voda v zgornjih in srednjih tokih vodotokov je neobremenjena, v njej so nizke koncentracije suspendiranih organskih snovi. V spodnjih delih vodotokov se zaradi naravnih procesov količina suspendiranih snovi lahko poveča. Usedline so svetle ali temne, vendar niso črne, ter zaradi obrasti pogosto spolzke. Na spodnji strani kamnov ni opaziti sledov redukcijskih procesov, npr. železovega sulfida. Procesi biotske razgradnje potekajo v predelih, nasičenih s kisikom. Redukcijski procesi se pojavljajo občasno v lentičnih delih potamalnih voda. Vrstna sestava in abundanca sta visoki za vse skupine živali, alg in drugih vodnih rastlin. Odstotek osebkov in število vrst trzač je v porastu (predvsem Orthocladiinae, v mirnih delih Tanytarsini in Chironomini). Filtratorske mladoletnice so številne v predelih s hitrim vodnim tokom, medtem ko se osebki iz družine Polycentropodidae lahko pojavijo v velikem številu v potamalnih delih vodotokov. Makrofiti lahko prekrivajo večje dele dna, zelenih alg pa ni zelo veliko. V teh vodah je prisotno tudi večje število različnih vrst rib.

Razred II-III (β-mezosaprobna do α-mezosaprobna stopnja)
stopnja obremenjenosti: srednja
barva označevanja vodotokov: zelena/rumena

V ta prehodni razred so vljučeni deli vodotokov, kjer je obremenjenost z nutrienti, ki povzročajo evtrofikacijo voda, ter z organskimi snovmi jasno opazna. Zaradi povečane količine organskih snovi je voda lahko rahlo motna. V nekaterih lentičnih delih se pod velikimi kamni pojavlja blato. Drobni sedimenti so svetlo obarvani na površini, v globjih conah pa črno (so kemijsko reducirani). Pod kamni se pojavljajo črne lise železovega sulfida. V primerih prisotnosti občutljivih vrst rib ali razvojnih stadijev so možni pomori rib zaradi velikih nihanj v koncentraciji kisika.

Pestrost makroorganizmov je zmanjšana in določene vrste se pogosto množično pojavljajo. Od makroinvertebratov so to spužve, živali na mahovih, raki, mehkužci, pijavke in žuželčje ličinke (od vrbnic le nekatere vrste iz rodov *Leuctra*, *Nemoura* in *Nemourella*). V večjem številu se občasno pojavljajo maloščetinci iz družin Naididae in Tubificidae. Filtratorske mladoletnice (predvsem *Hydropsyche*) se pogosto pojavijo v večjem številu, enako tudi trzače, še posebej vrste, ki rijejo v usedlinah iz drobnih delcev. Poleg na organsko onesnaženje tolerantnih trzač iz skupin Orthocladiinae in Diamesinae so v psamalu pogoste Prodiamesinae. V pelalu prevladujejo Chironomini (predvsem *Polypedium*) in Tanytarsini (predvsem *Micropsectra*). Nitaste alge (npr. *Cladophora*) in makrofiti pogosto prekrivajo velik del dna ali tvorijo številne kolonije. Zelene alge so bolj pogoste kot v drugem kakovostnem razredu. Bakterije iz združbe "sewage fungus" so s prostim očesom pogosto vidne, vendar še ne izstopajo. Vrstno najbolj pestra skupina so migetalkarji, posamezne kolonije so opazne s prostim očesom. V teh vodotokih je lahko še vedno veliko rib.

Razred III (α-mezosaprobna stopnja)
stopnja obremenjenosti: srednja do močna
barva označevanja vodotokov: rumena

Kavostni razred III se pojavlja v delih rek s prekomerno organsko obremenjenostjo in s pogostimi pomanjkanji kisika. Voda je delno obarvana in motna, kar je posledica prisotnih suspendiranih snovi iz odpadnih voda. V lentičnih predelih je substrat predvsem blato, spodnje strani kamnov pa so prekrite z velikimi črnimi lisami železovega sulfida. Prevladujejo zamuljene usedline, v globjih predelih so črne in podobne blatu.
Od makroinvertebratov so v večjem številu prisotne skupine tolerantne na pomanjkanje kisika, kot so spužve, pijavke in vodni oslički. Med maloščetinci prevladujejo Tubificidae in deloma Naididae, Enchytraeidae in rod *Lumbricullus*. Poleg evriekih vrst trzač iz skupine Orthocladiinae se pojavljajo še Tanytarsini in Chironomini. Filtratorske vrste mladoletnic so manj pogoste kot v vodotokih iz prejšnjega kakovostnega razreda, ker velik del bub ne preživi. Tipično združbo migetalkarjev predstavlja *Trithigmostemometum cucullulae*. Kolonije pritrjenih migetalkarjev (*Charchesium*, *Vorticella*) se vidijo s prostim očesom, prav tako kolonije nitastih bakterij in glive (npr. *Sphaerotilus*, *Fusarium*, *Leptomitus*), ki poseljujejo trden substrat in žive bentoške organizme. Nitastih zelenih alg, značilnih za kakovostni razred II-III, ni. Prisotni so *Stigeoclonium*, na odpadne vode tolerantne cianobakterije ter diatomeje, ki v lentičnih predelih včasih prekrivajo večje površine. Na odpadne vode tolerantni makrofiti so pogosto še masovno prisotni. Ribje populacije so zaradi motene reprodukcije neredko maloštevilne, periodični pomori rib so pričakovani.

Razred III-IV (α-mezosaprobna do polisaprobna stopnja)
stopnja obremenjenosti: močna
barva označevanja vodotokov: rumena/rdeča

Deli vodotokov, uvrščeni v ta prehodni razred, v veliki meri predstavljajo omejujoče pogoje za živa bitja zaradi prekomernih količin organskih in drugih snovi, zaradi katerih mikroorganizmi porabljajo kisik. Občasno prevladujejo anoksične razmere. Voda je obarvana in zelo motna zaradi suspendiranih delcev iz odpadnih voda in plavljenih bakterij. Dno je v večini primerov prekrito z blatom. Drobne usedline v globjih predelih so skoraj v celoti črne, blatne, iz njih se občasno izločajo z vonjem zaznavne količine vodikovega sulfida. V lentičnih predelih so skoraj vse spodnje površine kamnov počrnele.
Cone lentičnih predelov z najintenzivnejšim odlaganjem blata so gosto poseljene z ličinkami trzač iz rodu *Chironomus*, tolerantnimi Tanypodinae in maloščetinci iz družin Tubificidae in Lumbriculli-dae (npr. *Lumbricullus*). Na trdnih substratih so pogoste pijavke, spremljajočo favno pa sestavljajo evrieke vrste. V primerjavi s kakovostnim razredom III je obrast alg kvalitativno in kvantitativno zmanjšana. V lotičnih predelih so množične nitaste bakterije (združba "sewage fungus") in žveplove bakterije, oboje lahko tvorijo značilne makroskopske plasti. Mikrobentoške organizme zastopajo migetalkarji, bičkarji in bakterije, ki se pogosto masovno namnožijo. Obstoj samovzdrževanih ribjih populacij ni mogoč.

Kakovostni razred IV (polisaprobna stopnja)
stopnja obremenjenosti: zelo močna
barva označevanja vodotokov: rdeča

Kakovostni razred IV je značilen za dele rek z zelo velikimi količinami organskih in drugih snovi, zaradi katerih mikroorganizmi porabljajo kisik. Voda je pogosto obarvana in zelo motna zaradi suspendiranih snovi iz odpadnih voda ter bakterij. Dno vodotoka je iz velikih količin odloženega blata. V lotičnih predelih so skoraj vsi kamni na spodnji strani počrneli z železovim sulfidom. Drobne usedline so popolnoma črne. Prevladujejo procesi gnitja in pogosto je prisoten vonj po žveplovem sulfidu. Koncentracije kisika so lahko zelo nizke, občasno se pojavijo anoksične razmere. Usedline so poseljene z bakterijami, bičkarji in bakteriofagnimi migetalkarji, ki se pogosto masovno namnožijo. Tipična združba migetalkarjev je *Colpidietum colpodae*. Nitaste bakterije so manj pogoste kot v prejšnjem kakovostnem razredu. Žveplove bakterije so zelo pogoste in tvorijo jasno vidne pasove. V primerjavi s III. kakovostnim razredom je pokrovnost alg zmanjšana. Razen redkih trzač (*Chironomus riparius* agg. in *C. plumosus* agg.) in posameznih maloščetincev iz družine Tubificidae je makrofavna zastopana le s skupinami, ki za dihanje uporabljajo kisik iz zraka (npr. ličinke komarjev, metuljev, ličinke iz družin Stratiomyidae in Syrphidae).

V. Literatura

Abel P. D. (1996): Water Pollution Biology. Second edition, Taylor & Francis, Great Britain, 286 s.

AQEM consortium (2002). Manual for the application of the AQEM system. A comprehensive method to assess European streams using benthic macroinvertebrates, developed for the purpose of the Water Frame Directive. Version 1.0., February 2002

Armitage P. D., Moss D., Wright J. F. & Murse F. D. (1983): The performance of a new biological water quality score system based on macroinvertebrates over a wide range of unpolluted running water sites. Water Research 17(3): 333-347

Balloch D., Davies C. E. & Jones F. H. (1976): Biological assessment of water quality in three British rivers: the North Esk (Scotland), the Ivel (England) and the Taf (Wales). Water Pollut. Control, 75:92-114

Bartram J. & Ballance R. (ur.) (1996): Water quality monitoring. First edition, E & FN Spon, London, 626 s.

Chapman D. (ur.) (1998): Water quality assessments. Second edition, E & FN Spon, London, 383 s.

Chandler J. A. (1970): A biological approach to water quality management. Water Pollut. Control 69: 415-421

Clesceri R. B., Greenberg A. E. & Eaton A. D. (ur.) (1998): Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 20th edition, American Public Health Association, Washington DC

Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council, 23. Oct. 2002. Brussels, 72 s.

Fjerdingstadt F. (1964): Pollution of streams estimated by benthal phyto-microorganisms. I. A saprobic system based on communities of organisms and ecological factors. Int. Rev. ges. Hydrobiol. 49: 61-131.

Fjerdingstadt F. (1964): Taxonomy and saprobic valency of benthic phyto-microorganisms. Int. Rev. ges. Hydrobiol. 50: 475-604

Grbović J. (1994): Uporabnost različnih postopkov za oceno kakovosti hudourniških vodotokov. Doktorska disertacija, Univerza v Ljubljani, 113 s.

Gomišček S. (ur.): Analiza vode I. Predlog za poenotenje postopkov, 3. izdaja, Kemijski inštitut Borisa Kidriča, Ljubljana, 155 s.

ISO-BMWP (1979): Assessment of the Biological Quality of Rivers by a Macroinvertebrate Score. ISO/TC 147/SC5/WG6/N5, International Standards Organization, 18 s.

Kolkwitz R. Marsson M. (1908): Ökologie der pflanzlichen Saprobien. Ber. Dt. Bot. Gesselschaft 26a: 505-519

Kolkwitz R. Marsson M. (1908): Ökologie der tierischen Saprobien. Int. Rev. Ges. Hydrobiol. 2: 126-152

Mason C. F. (1991): Biology of Freshwater Pollution. Druga izdaja, Longman Scientific & Technical, UK, 351s

Moog O. (1996): Biological river water quality assessment in Austria. Proceedings "International workshop on assessment and classification of Rivers", Düsseldorf

Pantle R., Buck H. (1955): Die biologische Überwachung der Gewässer und die Darstellung der Ergebnisse. GWF 96, 603 s.
Peterson R. C. Jr. (1992): The RCE: a Riparian, Channel, and Environmental Inventory for small streams in the agricultural landscape. Freshwater Biology 27: 295-306
Sladeček V. (1965): The future of the saprobity system. Hydrobiologia 25: 518- 537
Sladeček V. (1973): System of water quality from biological point of view. Arch. Hydrobiol. Berh. Ergebn. Limnol. 7: 1-218
Šestak Z., Čatsky J. & Jarvis P. G. (ur.) (1971): Plant photosynthetic production. Manual of methods. Dr. W. Junk Publishers, The Hague: 672-700
Toman M. J., Steinman F. (ur.) (1995): A practical guide to the TEMPUS workshop on Biological assessment of organic pollution in streams (Theory, aplication and comparison of methods). Posebna izdaja, TEMPUS, Univerza v Ljubljani, 30 s.
Vollenveider R. A. (1974): Primary production in Aquatic environments. Int. Biol. Prog. Handbook 12, Blackwell Science, Oxford, 225 s.
Washington H. G. (1984): Diversity, biotic and similarity indices. A rewiev with special relevance to aquatic ecosystems. Wat. Res. 18: 653-694
Wegl R. (1983): Index für die Limnosaprobität. Wasser und Abwasser 26: 1-175
Wetzel R. G., Likens G. E. (1990): Limnological analyses. Second edition, Springer Verlag, New York, 391s.
Woodiwiss F. (1964): The Biological system of stream classification used by the Trent river board. Chemistry & Industry, 11: 443-447
Zelinka P., Marvan P. (1961): Zur Präzisierung der biologischen Klassifikationen der Rheinheit fliessender Gewässer. Arch. Hydrobiol. 57: 389-407

VI. SLOVAR STROKOVNIH IZRAZOV IN KRATIC

aerobno biološko čiščenje - biokemijska razgradnja kompleksnih organskih snovi ob prisotnosti kisika

anaerobno biološko čiščenje - biokemijska razgradnja kompleksnih organskih snovi ob odsotnosti kisika

aktivno blato - združba bakterij, gliv, praživali in mnogoceličarjev v čistilnih napravah z razpršeno biomaso

BPK - biokemijska poraba kisika; mera za ugotavljanje količine biokemijsko razgradljivih organskih snovi v vodi

CPOM (Core Particulate Organic Matter) - večji odmrli organski delci (> 1 mm)

efluent - obremenjena, lahko tudi že delno očiščena odpadna voda (iztok iz čistilne naprave)

evtrofni potencial vodotoka - visoka vsebnost hranilnih snovi v tekočih vodah, ki v stoječem vodnem telesu lahko povzroči evtrofnost

FPOM (Fine Particulate Organic Matter) - drobni odmrli organski delci (od 0,45 mm do 1 mm)

hranilne snovi - hranila za fotoavtotrofne organizme (cianobakterije, alge, makrofite), predvsem dušikove in fosforjeve anorganske spojine

indikatorski organizem - bioindikator; organizem, ki s svojo prisotnostjo nakazuje določene razmere v okolju

kakovost vode - kakovost vodnega okolja

kakovost vodnega okolja - kakovost vode, odvisna od snovi, ki so v vodnem okolju prisotne in lahko negativno vplivajo na vodne organizme

makroinvertebrati - vodni nevretenčarji, ki pri vzorčenju ostanejo v mreži z odprtinami 0,5 x 0,5 mm

makrofiti - s prostim očesom vidne vodne rastline (cvetnice, praprotnice, mahovi in nekatere alge).

obremenjevanje - proces vnosa polutantov* kot posledica naravnih ali antropogeno izzvanih procesov

onesnaževanje - proces vnosa polutantov* kot posledica antropogeno izzvanih procesov, antropogeni vnos polutantov

perifiton - obrast; heterogena združba nitastih bakterij in gliv ter rastlinskih in živalskih mikroorganizmov, ki poseljuje substrat v vodnih okoljih

polutant - onesnažilo; snov, ki je v vodnem okolju potencialno nevarna za organizme

prispevno območje - površina, s katere se napajajo vodna telesa

rečni koridor - struga vodotoka z ožjim prispevnim območjem

saprobnost - merilo za oceno razgradnje organskih snovi

seston - neraztopljene organske in anorganske snovi v vodi

sewage fungus - združba saprofitskih bakterij in gliv, značilna za organsko močno obremenjene vode

substrat - podlaga, ki jo lahko poseljujejo vodni organizmi

TDS – (Total Dissolved Solids) skupne raztopljene snovi; raztoplje-ne snovi, ki po filtriranju vode skozi stekleni filter ostanejo v vodi

TSS – (Total Suspended Solids) skupne suspendirane snovi; snovi, ki po filtriranju vode skozi stekleni filter ostanejo na filtru

trofičnost – merilo za oceno izgradnje organskih snovi

usedline - del substrata, predvsem anorganskega, ki je v vodotoku prisoten kot posledica usedanja delcev

zemljina - nekompaktna tla, ki jih je mogoče odplaviti