

Univerza  
v Ljubljani  
Fakulteta  
*za gradbeništvo  
in geodezijo*

*Janova 2  
1000 Ljubljana, Slovenija  
telefon (01) 47 68 500  
faks (01) 42 50 681  
fgg@fgg.uni-lj.si*



Univerzitetni program Vodarstvo in  
komunalno inženirstvo

Kandidat:

**Boris Gradišar**

**Vpliv prispevnega območja in gospodarjenja z  
jezerom na evtrofne in sukcesijske procese -  
primer ribnikov v dolini Drage pri Igu**

Diplomska naloga št.: 94

**Mentor:**  
prof. dr. Mihael Jožef Toman

Ljubljana, 5. 3. 2008

## **IZJAVA O AVTORSTVU**

Podpisani **BORIS GRADIŠAR** izjavljam, da sem avtor diplomskega dela z naslovom:  
**»VPLIV PRISPEVNEGA OBMOČJA IN GOSPODARJENJA Z JEZEROM NA  
EVTROFNE IN SUKCESIJSKE PROCESSE V JEZERSKEM EKOSISTEMU –  
PRIMER RIBNIKOV V DOLINI DRAGE PRI IGU«.**

Izjavljam, da se odpovedujem vsem materialnim pravicam iz dela za potrebe elektronske separatoteke FGG.

Ljubljana, 14. februar 2008

---

podpis

## **BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK**

- UDK:** 504.4:556.55(043.2)
- Avtor:** Boris Gradišar
- Mentor:** prof. dr. Mihael J. Toman
- Naslov:** Vpliv prispevnega območja in gospodarjenja z jezerom na evτροφne in sukcesijske procese v jezerskem ekosistemu – primer ribnikov v dolini Drage pri Igu
- Obseg in oprema:** 146 str., 7 pregl., 56 sl.
- Ključne besede:** evτροφikacija, vodni makrofiti, kroženje snovi, jezerski ekosistemi, abiotski dejavniki, biomanipulacija, ribogojstvo, sukcesijski proces, plankton, ribniki v dolini Drage pri Igu

### **Izveček**

V diplomski nalogi je predstavljeno kroženje snovi v jezerskih ekosistemih ter vpliv obremenjevanja s hranili na evτροφni proces, obravnavani so abiotski dejavniki, opisana je vloga planktonskih in makrofitskih združb ter interakcij do katerih prihaja med njimi. Podrobneje so opisane značilnosti evτροφikacije, načini njenega preprečevanja, še posebej biomanipulacija kot način spreminjanja biomase na višjih trofičnih nivojih, ki z uravnavanjem razmerja med zooplanktonom in fitoplanktonom omogoči uspevanje submerznih makrofitov in privede do bolj čiste vode. V povezavi z evτροφnim procesom, rabo tal v hidrografskem zaledju ter načinom gospodarjenja so predstavljene zakonitosti sukcesijskega procesa in dinamika njenega poteka v jezerskih ekosistemih. Opisan je vpliv morfoloških značilnosti jezera na porazdelitev makrofitske vegetacije ter zamuljevanje.

V drugem delu naloge so obravnavane obstoječe razmere, gospodarjenje ter problematika na ribnikih v dolini Drage pri Igu. Z namenom pridobiti boljši vpogled v stanje ribnikov so bile izvedene meritve osnovnih fizikalno-kemijskih parametrov s sondo Hydrolab Datasonder 4 ter meritve prosojnosti s Secchijevim diskom. Ob upoštevanju rezultatov meritev, analiziranju obstoječega stanja ribnikov ter razmer za uspevanje različnih življenjskih združb, je predstavljen predlog ureditvenega načrta, katerega osnovni namen je izboljšanje stanja ter obnovitev danes zapuščenih ribnikov. Podana so tudi izhodišča in usmeritve za upravljanje in gospodarjenje z ribniki.

## **BIBLIOGRAPHIC – DOKUMENTALISTIC INFORMATION**

**UDC:** 504.4:556.55(043.2)  
**Author:** Boris Gradišar  
**Supervisor:** prof.dr. Mihael J. Toman  
**Title:** Influence of the catchment area and management of the lake to the eutrophic and succession processes in the lake ecosystem - the case of fish ponds in the Draga Valley in the vicinity of Ig  
**Notes:** 146 p., 7 tab., 56 fig.  
**Key words:** eutrophication, aquatic macrophytes, cycle of matter, lake ecosystems, abiotic factors, biomanipulation, fish farming, succession process, plankton, ponds in the valley of Draga near Ig

### **Abstract**

Cycle of matter in lake ecosystems and the influence of loading with nutritional substances on eutrophic process are presented in the Graduation Thesis; abiotic factors are discussed, the role of planktonic and macrophyte vegetations and interactions that occur among them are described. In particular, the Thesis describes characteristics of eutrophication, ways of preventing it from appearing, especially bio-manipulation as a way of changing of biomass on higher trophic levels that by regulating the proportion between zooplankton and phytoplankton enables submerged macrophytes and leads to cleaner water. In connection with eutrophic process, land use in hydrographic hinterland, and the way of management, rules of succession process and its course dynamics in the lake ecosystems are presented. As well described is the influence of morphological characteristics of the lake to distribution of macrophyte vegetation and silting up.

In the second part the existing conditions, management and problems in ponds in the Draga Valley near Ig are treated. In order to obtain a better insight into the condition of ponds, measurements of basic physical-chemical parameters with the Hydrolab Datasonder 4 probe were performed. Also, measurements of transparency with the Secchi Disc were carried out. Taking into account the results of the measurement, analysing of the existing condition of ponds and conditions for prospering of various biological communities, the regulation plan proposal is represented, whose basic purpose is improvement of the condition and renovation of the deserted ponds. Also given are basing points and directives for the management of ponds.

## **ZAHVALA**

Za usmeritve in pomoč pri pisanju diplomske naloge se iskreno zahvaljujem mentorju prof. dr. Mihaelu J. Tomanu. Prav tako Simonu Rusjanu, ki me je seznanil z merilno opremo Hydrolab in skrbel za njeno kalibracijo. Hvala tudi vsem profesorjem in asistentom za korekten odnos in posredovana znanja v času študija. Za podeljeno štipendijo se lepo zahvaljujem Agenciji RS za okolje.

Najlepša hvala Meliti za pomoč pri meritvah ter razumevanje in potrpežljivost pri pisanju naloge.

Zahvalil bi se tudi svojima staršema, ki sta mi študij omogočila in mi nudila vso podporo na moji poti.

## KAZALO VSEBINE

<b>1</b>	<b>UVOD</b>	<b>1</b>
<b>1.1</b>	<b>Namen naloge</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>TEORETIČNI DEL</b>	<b>2</b>
<b>2.1</b>	<b>Abiotski dejavniki v jezerskih ekosistemih</b>	<b>2</b>
<b>2.1.1</b>	<b>Temperatura</b>	<b>2</b>
<b>2.1.2</b>	<b>pH, ogljikov dioksid in karbonatno ravnotežje</b>	<b>4</b>
<b>2.1.3</b>	<b>Fosfor in fosfati</b>	<b>7</b>
<b>2.1.4</b>	<b>Dušikove spojine</b>	<b>9</b>
<b>2.1.5</b>	<b>Kisik</b>	<b>12</b>
<b>2.1.6</b>	<b>Žveplo, sulfati in sulfidi</b>	<b>15</b>
<b>2.2</b>	<b>Življenjske združbe v jezerih</b>	<b>16</b>
<b>2.2.1</b>	<b>Fitoplankton</b>	<b>18</b>
<b>2.2.2</b>	<b>Vpliv epilimnijskega mešanja vodnih mas na fitoplankton</b>	<b>25</b>
<b>2.2.3</b>	<b>Zooplankton</b>	<b>27</b>
<b>2.2.4</b>	<b>Vodni makrofiti</b>	<b>30</b>
<b>2.2.4.1</b>	<b>Delitev vodnih makrofitov</b>	<b>31</b>
<b>2.2.4.2</b>	<b>Načini razširjanja makrofitske vegetacije in razmere v vodnem okolju</b>	<b>33</b>
<b>2.2.4.3</b>	<b>Pomen makrofitske vegetacije</b>	<b>35</b>
<b>2.2.4.4</b>	<b>Preskok od prevlade makrofitov k prevladi fitoplanktona</b>	<b>38</b>
<b>2.3</b>	<b>Evtrofni procesi v jezerih</b>	<b>40</b>
<b>2.3.1</b>	<b>Značilnosti oligotrofnih jezer</b>	<b>46</b>
<b>2.3.2</b>	<b>Značilnosti evtrofnih jezer</b>	<b>47</b>
<b>2.3.3</b>	<b>Hiperevtrofni sistemi</b>	<b>48</b>
<b>2.4</b>	<b>Sukcesijski proces</b>	<b>49</b>
<b>2.5</b>	<b>Nadzorovanje makrofitske vegetacije in omejevanje evtrofikacije</b>	<b>56</b>

<b>2.6</b>	<b>Ribogojstvo</b>	<b>63</b>
<b>2.7</b>	<b>Vpliv rabe tal na prispevnem območju</b>	<b>68</b>
<b>2.7.1</b>	<b>Gozdarstvo</b>	<b>69</b>
<b>2.7.2</b>	<b>Vpliv gozdnatosti prispevnega območja na jezerski ekosistem</b>	<b>73</b>
<b>2.7.3</b>	<b>Kmetijstvo</b>	<b>79</b>
<b>3</b>	<b>METODE VREDNOTENJA KAKOVOSTI JEZERSKIH EKOSISTEMOV</b>	<b>84</b>
<b>3.1</b>	<b>Opis merilne opreme</b>	<b>86</b>
<b>3.1.1</b>	<b>Hydrolab DataSonder 4</b>	<b>86</b>
<b>3.1.1.1</b>	<b>Elektroprevodnost</b>	<b>88</b>
<b>3.1.1.2</b>	<b>Redoks potencial (oksidoredukcijski potencial ORP)</b>	<b>89</b>
<b>3.1.2</b>	<b>Secchijev disk</b>	<b>90</b>
<b>3.2</b>	<b>Izvajanje meritev na ribnikih</b>	<b>93</b>
<b>4</b>	<b>REZULTATI</b>	<b>97</b>
<b>4.1</b>	<b>Vodne razmere</b>	<b>98</b>
<b>4.1.1</b>	<b>Tekoče vode</b>	<b>99</b>
<b>4.1.2</b>	<b>Ribniki</b>	<b>100</b>
<b>4.1.3</b>	<b>Tipi vodnih razmer v zelo močvirnatih tleh</b>	<b>101</b>
<b>4.2</b>	<b>Opis makrofitske vegetacije</b>	<b>101</b>
<b>4.3</b>	<b>Živalstvo</b>	<b>102</b>
<b>4.4</b>	<b>Geologija</b>	<b>104</b>
<b>4.5</b>	<b>Opis prispevnega območja</b>	<b>104</b>
<b>4.6</b>	<b>Trenutne razmere in gospodarjenje z ribniki</b>	<b>106</b>
<b>4.6.1</b>	<b>Južni del</b>	<b>106</b>
<b>4.6.2</b>	<b>Severni del</b>	<b>110</b>
<b>4.7</b>	<b>Pravne razmere in status ribnikov v dolini Drage</b>	<b>111</b>
<b>4.8</b>	<b>Interpretacija dobljenih rezultatov in ocena stanja</b>	<b>114</b>
<b>4.9</b>	<b>Problematika ribnikov v Dragi</b>	<b>122</b>
<b>5</b>	<b>UKREPI ZA IZBOLJŠANJE STANJA</b>	<b>126</b>
<b>5.1</b>	<b>Predlog ureditvenega načrta</b>	<b>126</b>

<b>5.1.1</b>	<b>Rakovnik</b>	<b>127</b>
<b>5.1.2</b>	<b>Obnovitev nekdanjih ribnikov</b>	<b>128</b>
<b>5.1.3</b>	<b>Predlog ureditve novih močvirskih in vodnih biotopov med nasipom Rakovnika in Igom</b>	<b>130</b>
<b>5.2</b>	<b>Izhodišča ter usmeritve za upravljanje in gospodarjenje z ribniki</b>	<b>131</b>
<b>6</b>	<b>SKLEPI</b>	<b>139</b>
<b>7</b>	<b>ZAKLJUČKI</b>	<b>140</b>
<b>VIRI</b>		<b>141</b>



## KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Koncentracije raztopljenega kisika v vodi pri različnih temperaturah	67
Preglednica 2: Vsebnost rastlinskih hranil v živinskih gnojilih in največji dovoljeni letni odmerki živinskih gnojil	82
Preglednica 3: Tehnični podatki – Hydrolab Data Sonder 4	87
Preglednica 4: Vpliv zniževanja redoks potenciala v hipolimniju stratificiranih jezer z naraščajočo produktivnostjo	89
Preglednica 5: Primerjava rezultatov meritev na Velikem ribniku na mestu največje globine ob zapornici	114
Preglednica 6: Primerjava med izmerjenimi parametri na potoku pred odvzemu vode za Zadnji ribnik in prelivom Velikega ribnika	116
Preglednica 7: Primerjava med izmerjenimi parametri med ribniki gorvodno od Velikega ribnika	117

## KAZALO GRAFIKONOV

Grafikon 1: Spreminjanje nasičenosti s kisikom po globini v Velikem ribniku	116
Grafikon 2: Spreminjanje nasičenosti s kisikom po globini v posameznih ribnikih – lokacija zapornic	121

## KAZALO SLIK

Slika 1: Spreminjanje temperature in vsebnosti raztopljenega kisika po globini v jezerih zmerno toplega pasu glede na letne čase	3
Slika 2: Pretvarjanje ogljikovega dioksida in karbonatov v jezeru	6
Slika 3: Geokemijsko pretvarjanje fosforja in železa v aerobnem in anaerobnem delu zgornje plasti jezerskega sedimenta, na stiku voda – blato	8
Slika 4: Vpliv razpoložljive svetlobe na rast alg	26
Slika 5: Shema sukcesijske zamenjave vrst od A do J	50
Slika 6: Razmerje med vrstno diverziteteto in obsegom (oz. intenziteteto) motenj	51
Slika 7: Vpliv sukcesije na število vrst	52
Slika 8: Shematska pregleda situacij pred biomanipulacijo in po njej	59
Slika 9: Vpliv rabe zemljišč oz. pokrovnosti tal na količino in časovni potek odtoka	69
Slika 10: Priporočeni gozdarski ukrepi varovanja vodnega okolja na pogozdenih območjih	72
Slika 11: Strukturna in nestrukturirana tla	80
Slika 12: Pogled na spodnji del Minisonde – merilno glavo, z različnimi senzorji	87
Slika 13: Merilna oprema Hydrolab	87
Slika 14: Merjenje prosojnosti s Secchijevim diskom	91
Slika 15: Spreminjanje primarne produkcije po globini glede na prosojnost vode	93
Slika 16: Opravljanje meritev na Velikem ribniku 30. septembra 2007	94
Slika 17: Veliki ribnik – merilna mesta V1 – V7	95
Slika 18: Srednji ribnik – merilna mesta S1 – S7 in Rezani ribnik – merilna mesta Re1 – Re5	95
Slika 19: Zadnji ribnik – merilna mesta Z1 – Z3 in merilno mesto Gr (potok)	96
Slika 20: Rakovnik – merilna mesta R1 – R10 in Špilgut - merilno mesto Š1 (zapornica)	96
Slika 21: Letalski posnetek doline Drage – pogled na Veliki in Prvi ribnik	97
Slika 22: Slap pod prelivom Velikega ribnika	99
Slika 23: Veliki ribnik in beli cvetovi lasastolistne vodne zlatice	100
Slika 24: Srednji ribnik (oktober 2007)	100
Slika 25: Bleščeči dristavec in beli lokvanj na Velikem ribniku	102
Slika 26: Sestoj jezerskega bička na Zadnjem ribniku	102
Slika 27: Pogled na vas Golo pod katero izvira Draščica	105
Slika 28: Gosta riparijska vegetacija v zgornjem toku Draščice	105
Slika 29: Zapadli les v izvirnih delih Draščice	105
Slika 30: Izrjavani in naplavljeni koreninski šopi	

šašja - Srednji ribnik (oktober 2007)	107
Slika 31: Krmljenje ribnikov na Velikem ribniku	107
Slika 32: Poglobljanje struge v sediment Velikega ribnika po izpustu vode	108
Slika 33: Presušeno in izprano dno Velikega ribnika po premrznjenju preko zime	108
Slika 34: Prvi ribnik	109
Slika 35: Srednji ribnik	109
Slika 36: Zadnji ribnik	109
Slika 37: Rezani ribnik	109
Slika 38: Prikaz mej območja naravnih vrednot državnega pomena za ribnike v dolini Drage	112
Slika 39: Srednji ribnik (3. oktober 2007)	118
Slika 40: Srednji ribnik (10. November 2007)	118
Slika 41: Rezani ribnik (21.oktober 2007)	118
Slika 42: Meritev s Secchijevim diskom na Rezanem ribniku (21.oktober 2007)	118
Slika 43: IR ortofoto posnetek Rakovnika in Špilguta (posneto 11. 07.2006)	120
Slika 44: IR ortofoto posnetek Velikega ribnika (posneto 11.07.2006)	120
Slika 45: Rakovnik	121
Slika 46: Nasip Rakovnika	121
Slika 47: Cvetenje alg na Velikem ribniku (april 2007)	123
Slika 48: Cvetovi alg na Srednjem ribniku (3.10.2007)	123
Slika 49: Napredovanje emerznih makrofitov in jelševih sestojev na Velikem ribniku	124
Slika 50: Preraščenost Srednjega ribnika	124
Slika 51: Z algami prekrita površina opuščene ribnika ob izviru Pantar	129
Sliki 52 in 53: Lokacija nekdanje zajezitve potoka Draščica pred nekdanjo kmetijo Grum – primerjava med letoma 1825 in 2006	129
Slika 54: Veliki ribnik po izlovu rib	135
Slika 55: Struga potoka Draščice po dnu Velikega ribnika po premrznitvi	135
Slika 56: Izprano in presušeno dno Velikega ribnika po premrznitvi	135

## 1 UVOD

Evtrofikacija, zamuljevanje in čezmerno zaraščanje so procesi, ki običajno spremljajo večino jezer, na njihovo intenzivnost pa vplivajo številni dejavniki, velikokrat jih s svojo dejavnostjo pospešuje tudi človek. Za uspešno obvladovanje teh procesov je ključnega pomena dobro razumevanje kroženja snovi v jezeru ter poznavanje značilnih jezerskih združb, ki s svojo aktivnostjo bistveno vplivajo na stanje jezera oz. kvaliteto vode v njem. Da bi lahko podali ustrezne rešitve, ki bi privedle k izboljšanju stanja, je treba najprej prepoznati vplivne dejavnike, predvsem vire sproščanja hranil, tako v samem hidrografskem zaledju jezera kot tudi neposredne vnose hranil v jezero. Za kvalitetno ovrednotenje vplivov moramo zato dobro poznati rabo tal, poselitvene značilnosti in dejavnosti človeka na prispevnem območju, hkrati pa tudi geološko sestavo tal. Nujno je tudi poznavanje morfoloških značilnosti jezera, gospodarjenja z njim v preteklosti in spreminjanja poraščenosti z makrofitsko vegetacijo, eventualnega cvetenja alg, prisotnosti in intenzivnosti ribogojne dejavnosti ipd. Čeprav se mogoče marsikomu jezerski ekosistemi ne zdijo posebej zapleteni, je razumevanje njihovega metabolizma povezano s širokim in poglobljenim limnološkim znanjem, stalno dinamiko procesov in zaradi šibke notranje stabilnosti sistema tudi s precejšno mero nepredvidljivosti. Primer takih jezerskih ekosistemov so tudi ribniki v dolini Drage pri Igu, ki jih obravnava pričujoča diplomska naloga.

### 1.1 Namen naloge

Namen naloge je bil ugotoviti obstoječe stanje ribnikov v Dragi ter prepoznati številne probleme, ki se pojavljajo v zvezi z njihovim upravljanjem, gospodarjenjem, zagotavljanjem trajnosti in ohranjanjem biotske raznovrstnosti. Obenem sem poskušal predstaviti osnovne značilnosti in vzroke evtrofnega in sukcesijskega procesa z vplivom na življenjske združbe ter podati ukrepe s katerimi bi bilo mogoče zadrževati oz. upočasnjevati sukcesijski proces.

## 2 TEORETIČNI DEL

Za pravilno razumevanje in izvedbo uspešnih sanacijskih ukrepov s katerimi želimo doseči izboljšanje obstoječega stanja jezerskih ekosistemov, ki so podvrženi evtrofnim procesom, je potrebno poznati in upoštevati tudi osnove delovanja procesov, ki potekajo v jezerih ter dejavnike, ki vplivajo na njih. Do učinkovitih in trajnih rezultatov pa je mogoče priti le z optimalno povezavo bioloških inženirskih znanj in praktičnih izkušenj. V nadaljevanju podajam pregled bistvenih vplivnih dejavnikov, povezav med njimi in z njimi povezanih značilnih situacij do katerih prihaja v jezerskem ekosistemu.

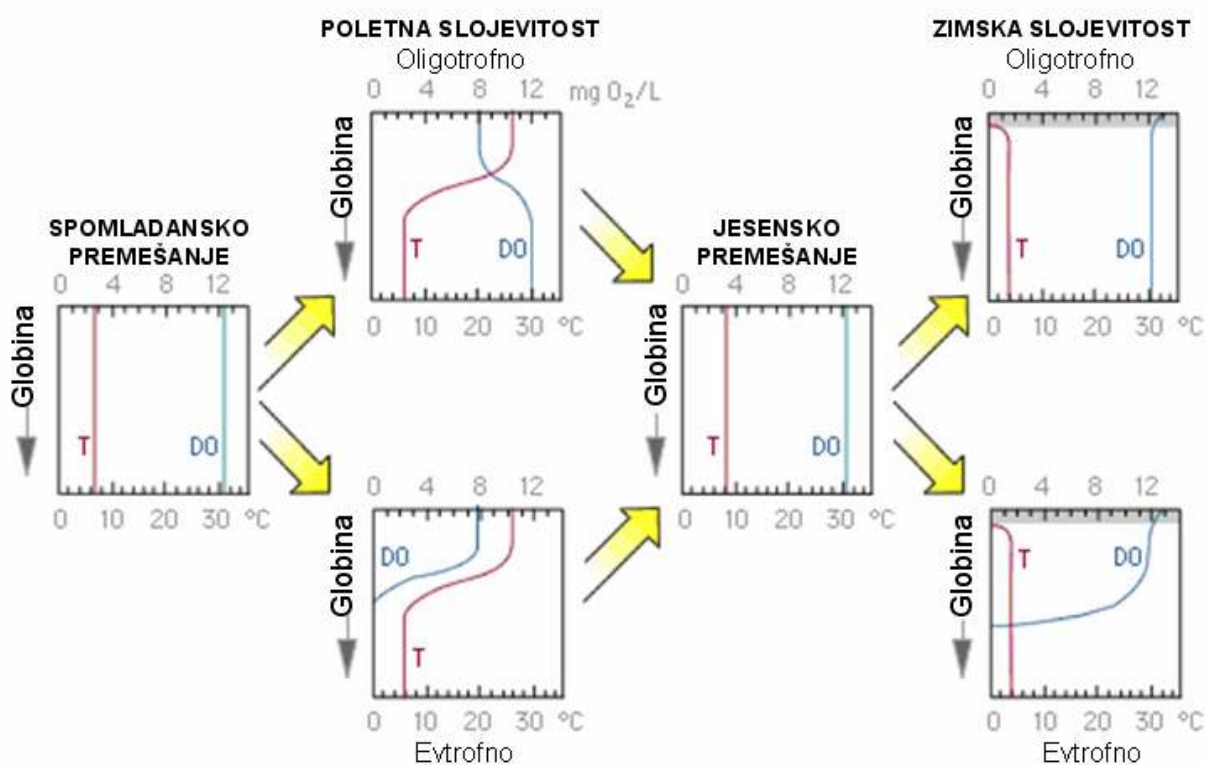
### 2.1 Abiotski dejavniki v jezerskih ekosistemih

Vodno telo jezera ne moremo gledati kot povsem homogeno. Spreminjanje meteoroloških parametrov, npr. hitrosti vetra in svetlobe, povzročata vertikalne in horizontalne gradiente v fizikalnih, kemijskih in bioloških spremenljivkah. Vertikalne in horizontalne gradiente spremljajo tudi snovne in energetske izmenjave med sedimenti, atmosfero in okoljskimi terestričnimi ekosistemi.

#### 2.1.1 Temperatura

Temperatura vode ima ključno vlogo pri kroženju vodnih mas v jezeru, od česar je odvisna razporeditev hranilnih snovi in posredno vpliva na vse osnovne biološko – kemijske procese v jezeru. V jezerih zmernega pasu ločimo obdobje, ko ima vsa voda v jezeru enako temperaturo ali obdobje homotermije oz. cirkulacije in obdobje temperaturne plastovitosti ali stagnacije, ko zaradi segrevanja pride do razslojevanja vodnih mas. Tudi če jezero ne zamrzne, mešanje vodnih mas ni mogoče. V globokih jezerih je mešanje vodnih mas mogoče le v obdobju spomladanske in jesenske homotermije. Takrat so hranilne snovi enakomerno porazdeljene po vodnem stolpcu. Sprememba temperature za 1°C na 1 m globine, predstavlja tako močan gostotni gradient, da mešanje vode ni več mogoče. Plast, kjer pride do temperaturnega preskoka, imenujemo termoklina. V globokih jezerih se tako poleti oblikuje več, med seboj ločenih plasti vode, ki jih imenujemo epilimnij, metalimnij in hipolimnij. Termoklina predstavlja učinkovito prepreko za vertikalni prenos snovi in energije. Proces sedimentacije

omogoča transport potrebnih nutrientov iz epilimnija v hipolimniji. Izmenjava v nasprotni smeri z difuzijo pa je ob stabilni termoklini neučinkovita. V epilimniju prihaja do upadanja količine hranil, primarna produkcija pa postaja omejena z nizkimi koncentracijami fosforja. V nasprotju pa sedimentacija organskih snovi vodi v intenzivno razgradnjo v hipolimniju in sedimentih za kar se porablja veliko kisika. Trajanje obdobja cirkulacije in plastovitosti je med jezери različno, odvisno od geografske lege jezera, izpostavljenosti jezera vetru, oziroma mikroklimatskih razmer. Kako se glede na letne čase spreminjata temperatura in količina kisika v jezerih zmerno toplega pasu prikazuje slika 1. Medtem ko je temperaturna krivulja (T) neodvisna od trofičnega stanja jezera, pa pri kisikovi krivulji (DO) obstajajo bistvene razlike med oligotrofnimi in evtrofnimi jezeri.



Slika 1: Spreminjanje temperature (T) in vsebnosti raztopljenega kisika (DO) po globini v jezerih zmerno toplega pasu glede na letne čase oz. trofično stanje jezera (prirejeno po Wetzel, 2001).

Na spremembo temperature najpomembnejše 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.

Ob zviševanju temperature se kemijske reakcije in izhlapevanje pospešijo. Zmanjša se topnost nekaterih plinov v vodi npr. O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>. S temperaturo je povezana tudi metabolna aktivnost organizmov. 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 dovolj nutrientov, se pojavi cvetenje alg.

Če se temperatura poveča za 10°C znotraj danega območja toleranc, ki veljajo za konkreten organizem, se dejansko še enkrat poveča intenzivnost biokemijskih reakcij. Vodni organizmi lahko uspevajo le v omejenem temperaturnem območju. V primeru da temperatura preseže tolerančno območje za konkretno vrsto (npr. ribe, žuželke, bentični invertebrati, zooplakton, fitoplakton in mikrobi) ali se spusti prenizko, je lahko njihovo preživetje ogroženo. Lahko pa se zaradi spremembe v temperaturi spremeni tudi vrstna sestava posameznih življenjskih združb (npr. kremenaste alge).(<http://www.ozcoasts.org.au/indicators/temperature.jsp>)

Poznavanje temperaturnega profila vodnega telesa je bistvenega pomena pri določanju oz. za preračun prevodnosti, redoks potenciala, raztopljenega kisika, pH vrednosti in praktično vseh preostalih parametrov v povezavi s kakovostjo vode. Temperatura je tudi eden najbolj pomembnih dejavnikov, ki vpliva na začetek in konec drstenja rib, migracije organizmov in številne druge pojave v vodnem okolju ([www.hydrolab.com](http://www.hydrolab.com)).

### **2.1.2 pH, ogljikov dioksid in karbonatno ravnotežje**

Vrednost pH je mera s katero izražamo kislost ali bazičnost raztopin. Po definiciji je pH negativni dekadični logaritem koncentracije oksonijevih ionov ali zapisano v obliki enačbe:  $\text{pH} = -\log [\text{H}_3\text{O}^+]$ . Lestvica je 14-stopenjska, vrednost 7 je nevtralna, raztopine z nižjo vrednostjo so kisle (acidne), z višjo pa bazične (alkalne). Ker je lestvica logaritemska predstavlja sprememba pH vrednosti za eno enoto, desetkratno spremembo kislosti ali alkalnosti. Če ima npr. določena raztopina pH vrednost 6, pomeni da je desetkrat bolj kislota kot raztopina z vrednostjo pH 7. Z zviševanjem temperature se vrednosti pH zmanjšujejo. Kislost oziroma bazičnost vode je v najtesnejši povezavi s koncentracijo proste ogljikove

kislina in s količino karbonatov ter bikarbonatov, ki nastajajo pri raztapljanju kamenin (kalcit, aragonit). V neonesnaženih vodah je pH pretežno odvisen od ravnotežja med  $\text{CO}_2$ ,  $\text{HCO}_3^-$  in  $\text{CO}_3^{2-}$  ter tudi od drugih naravnih spojin, kot so huminske in fulvo kisline. Na naravno karbonatno ravnotežje lahko vplivajo industrijski efluenti in atmosfersko obremenjevanje s kislimi snovmi. Dnevno nihanje pH je lahko rezultat fotosintetske aktivnosti in respiracije primarnih producentov. Veliko pomanjkanje  $\text{CO}_2$  zaradi fotosintetske aktivnosti poruši karbonatno ravnotežje. Karbonatna podlaga večine jezer in zadrževalnikov v Sloveniji predstavlja dober puferski sistem, ki omogoča da ima voda pH med 6 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.

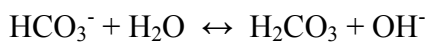
V vodi raztopljen ogljikov dioksid tvori ogljikovo kislino ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ), ki reagira s kalcijevimi kationi ( $\text{Ca}^{++}$ ), da nastanejo karbonati. Posebno veliko ogljikovega dioksida nabere deževnica pri pronicanju skozi tla. Zrak v tleh ima zaradi razkrojevalnih procesov večji delež  $\text{CO}_2$  kot zrak nad tlemi. Ogljikov dioksid vstopa v vodo z difuzijo iz zraka in se sprošča pri dihanju organizmov ter gnitju. Porablja pa se predvsem v avtotrofnih sintezah organske snovi in seveda največ pri fotosintezi.  $\text{CO}_2$  lahko izhaja iz jezera z difuzijo ali pa se veže v karbonate. Značilna so dnevno-nočna nihanja, pri čemer so koncentracije manjše čez dan zaradi fotosintetične potrošnje in večje ponoči, ko prevladajo procesi dihanja tudi pri zelenih rastlinah (slika 2). Prav tako prihaja do sezonskega znižanja pH v spodnjih plasteh stratificiranega jezera, kjer se zaradi procesov razkroja sprošča  $\text{CO}_2$ , rastlin, ki bi fiksirale  $\text{CO}_2$  pa zaradi pomanjkanja svetlobe ni.

Pretvorbe  $\text{CO}_2$  in kalcijevih karbonatov prikazuje shema v sliki 2. Ogljikov dioksid se v vodi hidratizira v ogljikovo kislino ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ), ki disociira v  $\text{H}^+$  in  $\text{HCO}_3^-$ , pri visokem pH pa disociira še dalje v  $\text{H}^+$  in  $\text{CO}_3^{2-}$ . Razmerje med  $\text{CO}_2$ ,  $\text{HCO}_3^-$  in  $\text{CO}_3^{2-}$  je odvisno od pH vrednosti. V vodi, ki vsebuje mnogo  $\text{CO}_2$ , se raztaplja težko topni  $\text{CaCO}_3$  in nastaja topni kalcijev hidrogenkarbonat ali  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ .

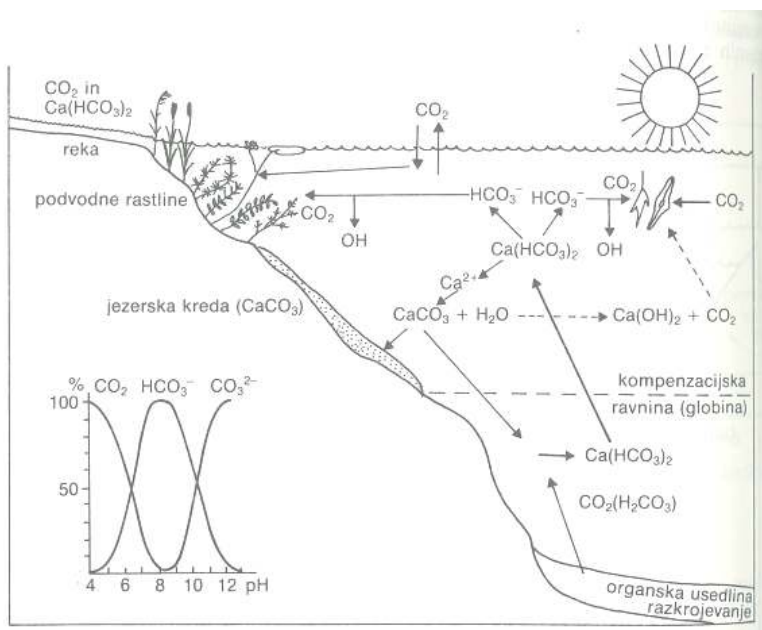




Kalcijev hidrogenkarbonat potem disociira v  $\text{Ca}^{2+}$  in  $2\text{HCO}_3^-$ . Po hidrolizi nastane



Ker  $\text{OH}^-$  ioni količinsko presegajo  $\text{H}^+$  ione, nastale z disociacijo iz ogljikove kisline, reagira raztopina hidrogenega karbonata rahlo bazično. Kalcijev hidrogen je v raztopini le, če je dovolj  $\text{CO}_2$ . Če se količina  $\text{CO}_2$  zmanjša, se izloči kalcijev karbonat. Do tega pride kadar se ravnotežja spremenijo zaradi difuzije ogljikovega dioksida iz vode v ozračje ali zaradi porabe ogljikovega dioksida v procesu fotosinteze. Izločeni kalcijev karbonat se nalaga na rastlinah ali se useda na dno, nastaja jezerska kreda. Če z veslom zadenemo podvodne rastline, se izločeni kalcijev karbonat otrse v vodo, da postane ta mlečnate barve. Če se izločeni  $\text{CaCO}_3$  useda v jezersko globino, se zaradi večjih količin  $\text{CO}_2$  v hipolimniju znova raztaplja. Na drugi strani pa lahko mnoge vodne rastline izkoriščajo hidrogeni karbonat kot vir ogljikovega dioksida, še posebej, če primanjkuje raztopljenega  $\text{CO}_2$ . Kalcijev hidrogen karbonat opravlja torej pomembno pufersko nalogo, saj je regulator pH vrednosti. Ko rastline trošijo  $\text{CO}_2$  iz vode, se dviga pH in v vodah, ki vsebujejo malo apnenca, se ob močni fotosintezi pH dvigne tudi do 9. Če pa je v vodi dovolj apnenca, se poraba ogljikovega dioksida nadomešča s sproščanjem le tega iz kalcijevega hidrogenkarbonata in zato pH poraste do največ 8.



Slika 2: Pretvarjanje ogljikovega dioksida in karbonatov v jezeru. Razmerje  $\text{CO}_2:\text{HCO}_3^-:\text{CO}_3^{2-}$  določa pH jezerske vode (Tarman, 1992).

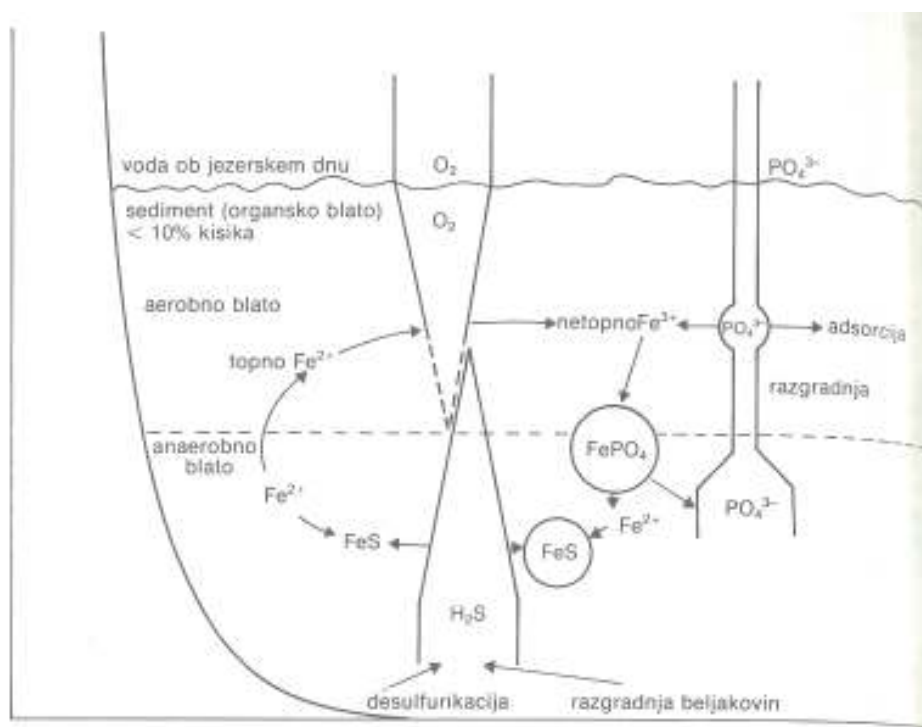
pH vode določa topnost in biološko razpoložljivost kemijskih komponent kot so nutrienti (fosfor, dušik in ogljik) in težkih kovin (svinec, baker, kadmij, idr.). Prisotnost določenih škodljivih substanc v vodnem okolju v zadosti velikih koncentracijah pa zaradi tako imenovanega sinergijskega učinka močno zoži tolerančno območje preživetja za posamezno vrsto organizma. S tem ko npr. pH vrednost vpliva na to katere oblike fosforja je v vodi največ, hkrati določa tudi življenjske razmere v vodi. Z raztapljanjem težkih kovin pa je npr. določena njihova toksičnost. Za težke kovine je značilno, da so zaradi večje topnosti, bolj toksične pri nizkih pH vrednostih.

### **2.1.3 Fosfor in fosfati**

Med vsemi esencialnimi biogenimi elementi v vodnem okolju je fosforja najmanj, zato vsebnost fosforja v vodi bistveno vpliva na biološko produktivnost v vodnem ekosistemu. Tudi v slovenskih jezerih in zadrževalnikih je omejitveni dejavnik produkcijskih procesov največkrat fosfor. Vsebnost fosforja v vodi določa nivo produkcije fitoplanktona in višjih vodnih rastlin ter s tem vpliva na produktivnost celotnega jezerskega ekosistema, zato je povprečna letna vsebnost celotnega fosforja eden od kriterijev za oceno trofičnosti, oziroma kazalec evtrofikacije jezer. 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 preperete kamnine, ki vsebujejo fosfor, in razgrajene organske snovi. Najpogostejši alohtoni viri fosforja v jezerih so komunalne odplake in fosfor, ki se s padavinami spira iz prispevnih kmetijskih površin, na katerih je raba tal intenzivna.

Kroženje fosforja obsega biološke in geokemične procese. Anorgansko vezan fosfor ( $\text{PO}_4\text{-P}$ ) vežejo rastline v organske proizvode, ki so hrana živalim. Podvodne rastline, ki koreninijo v dnu, sprejemajo fosfor tudi iz podlage in sedimentov. Zaradi procesov razgradnje, ki se začnejo takoj po smrti organizmov, je vračanje fosforja iz mrtvih teles hitro in v veliki meri opravljeno že v epilimničnem delu.

Geokemijsko kroženje fosforja je povezano s presnovo železa. V stiku voda – sediment je prisoten kisik, v globljih plasteh pa kisika zmanjka in vladajo anaerobne razmere. V zgornjem aerobnem delu sedimenta se topna oblika železa  $\text{Fe}^{2+}$  oksidira v netopno obliko ali  $\text{Fe}^{3+}$ , ki da sedimentu rjavo rdečo barvo, t.i. okerygttja. Oksidacija poteka kemično ali biološko s kemolitoavtotrofnimi železovimi bakterijami (*Gallionella ferruginea*). S strjevanjem teh sedimentov nastaja železova ruda.  $\text{PO}_4^{3-}$  se veže s  $\text{Fe}^{3+}$  v železov (III) fosfat  $\text{FePO}_4$  ali pa adsorbira na železov (III) hidroksid  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ , na  $\text{CaCO}_3$  ali druge minerale. Če pade nasičenost kisika pod 10%, se znova sprošča fosfat in prehaja v vodo. V anaerobnem sloju sedimenta sta železo  $\text{Fe}^{2+}$  in fosfat raztopljeni in železo tvori z navzočim vodikovim sulfidom ( $\text{H}_2\text{S}$ ) čisti železov sulfid ( $\text{FeS}$ ) (slika 3).



Slika 3: Geokemijsko pretvarjanje fosforja in železa v aerobnem in anaerobnem delu zgornje plasti jezerskega sedimenta, na stiku voda – blato (Tarman, 1992).

Fosfor v jezerski vodi je odvisen od sezonskih termičnih sprememb in s tem povezane hidrodinamike. Ko vladajo med poletno stagnacijo v hipolimniju evtrofnih jezer anaerobne razmere, sta  $\text{Fe}^{2+}$  in  $\text{PO}_4^{3-}$  raztopljeni in v epilimniju fosforja ni več, saj so ga porabili tamkajšnji primarni producenti. Vračanje fosforja iz globine pa preprečuje termoklina. Samo

zelo močne nevihte in vetrovi lahko podrejo termoklino in dvignejo hipolimnijsko vodo s fosfatom na površino. V tem primeru se primarna produkcija znova dvigne. Delno dvigujejo fosfate k površini tudi metanski mehurčki, ki se sproščajo v sedimentu. Na vse te pojave pa bistveno vpliva globina, kajti čim plitvejšje je jezero, tem lažje se vračajo fosfati v epilimnijsko plast. Z jesenskim popolnim kroženjem jezerske vode, ko se obnovi kisikove zaloge, pride do obarjanja železa in vezanja fosfata.

#### 2.1.4 Dušikove spojine

Čeprav je v večini jezer glavni regulator produkcije fosfor, vpliva na bioprodukcijske procese v jezeru tudi skupna količina anorganskega dušika. V jezeru najdemo anorganski dušik v amonijski  $\text{NH}_4^+$ , nitritni  $\text{NO}_2^-$  in nitratni  $\text{NO}_3^-$  obliki. Vnos dušika v jezerski ekosistem poteka na različne načine:

- precipitacija iz atmosfere, ko deževnica privzema dušikove okside iz zraka,
- fiksacija atmosferskega dušika,
- vnos s pritoki, s spiranjem površin, torej s kopnega,
- industrijske in komunalne odpadne vode oziroma razgradnja le-teh.

Kroženje anorganskega dušika v jezeru je povezano z vrsto biokemijskih reakcij. Osnovna transformacija dušika v vodnih ekosistemih je razpad proteinske komponente z vključevanjem različnih vrst mikroorganizmov. Dušik se v obliki amonijevega iona, prostih aminokislin in preprostih organskih spojin sprošča z ekskrecijo in ob smrti vodnih organizmov. Sproščeni amoniak, ki nastaja pri amonifikaciji kot končni produkt heterotrofne bakterijske razgradnje organskih snovi, je vir dušika za zelene rastline v vodah, za nitrificirajoče bakterije pa energetski vir. Amonijak je v vodi prisoten prvenstveno kot  $\text{NH}_4^+$ , znatno manj v nedisociirani obliki kot  $\text{NH}_4\text{OH}$ , ki je za vodne organizme, zlasti za ribje populacije, toksičen. Na razmerje med  $\text{NH}_4^+$  in  $\text{NH}_4\text{OH}$  vplivata pH in temperatura. Z višanjem pH se povečujejo koncentracije  $\text{NH}_4\text{OH}$ .

Za življenjske združbe v vodah je pomembna nadaljnja transformacija amoniakalnega dušika oziroma nitrifikacija, ki je dvostopenjski proces in obsega oksidacijo amonijevega dušika do

nitrita in oksidacijo nitrita do nitrata. Gre za mikrobne procese v prisotnosti zadostnih količin raztopljenega kisika, v katerih sodelujejo avtotrofni mikroorganizmi (poleg bakterij tudi nekatere vrste gliv). Omenjeni organizmi so sicer fakultativni aerobi in lahko daljši čas preživijo brez raztopljenega kisika, procesi v takih razmerah pa ne potekajo. Osnovni pogoj za uspešno nitrifikacijo v vodnem okolju so aerobne razmere, saj transformacija amoniakalnega iona zahteva dve molekuli kisika za oksidacijo ene molekule  $\text{NH}_4^+$ . V vodnem ekosistemu je kritična koncentracija raztopljenega kisika za nitrifikacijo 0,3mg/l. Pri tej koncentraciji namreč pride do kritične stopnje difuzije kisika v bakterijsko celico.

Nitrifikacijo poleg pomanjkanja kisika in toksičnih kovinskih ionov zavirajo tudi nekatere raztopljene organske snovi, med njimi tanini in derivati, ki nastajajo pri njihovi razgradnji. Na ta način si razlagamo veliko večjo koncentracijo amonijevega iona v vodah, ki so bogate s huminskimi kislinami (npr. močvirja in barja). K temu prispeva tudi nizek pH, ki je v takih vodah med 4 in 5.

Drugače je, ko v vodnem ekosistemu pride do anaerobnih razmer. V takem okolju poteka denitrifikacija, med katero denitrifikanti, fakultativno heterotrofne anaerobne bakterije, reducirajo nitrato in nitrite do dušikovih oksidov in molekularnega dušika. Denitrifikacija je v evtrofnih vodah glavni proces, ki vpliva na vsebnost nitrata. Njen ekološki pomen je tudi v tem, da nekaj organizmov lahko izrablja elementarni dušik kot energetski vir. Je encimski proces, ki poteka v prisotnosti encima nitrat reduktaze in kofaktorjev železa in molibdena. Intenzivnejša je v anaerobnem okolju, kakršen je hipolimnij v evtrofnih jezerih in v anoksičnih sedimentih, kjer je veliko organskih snovi.

Podobno kot nitrifikacija je tudi stopnja denitrifikacije zmanjšana v kislih vodah in pri nizki temperaturi. Povečuje pa jo resuspenzija sedimentov in spreminjanje redoks potenciala na meji med sedimentom in vodo, ki je značilno za polimiktične sisteme. Osnovni produkt denitrifikacije pri višjih temperaturah je  $\text{N}_2$ , pri nižjih pa  $\text{N}_2\text{O}$ , ki se v jezerski vodi zelo hitro reducira v  $\text{N}_2$ . Oba procesa lahko potekata tudi hkrati.

Vnos dušika v vodno okolje lahko poteka tudi s fiksacijo atmosferskega dušika, pri čemer gre za redukcijo  $\text{N}_2$  v  $\text{NH}_3$  v encimatskem procesu, kjer sodeluje encim nitrogenaza. Nosilci teh

procesov so različne vrste bakterij, predvsem cianobakterije, znane tudi kot modrozeleni alge. Raziskave so pokazale, da je fiksacija dušika s strani modrozelenih alg nekajkrat večja v primerjavi z bakterijsko. Rastline izločajo različne organske spojine, ki raztopljene v vodi služijo bakterijam kot substrat, vezan dušik bakterij pa lahko izrabljajo makrofiti.

Dušikove spojine se v vodnem stolpcu nahajajo v večjih koncentracijah kot v sedimentu. Tudi njegova nihanja v koncentracijah so običajno večja v primerjavi s fosforjem. V morski vodi postane limitirajoč prej kot fosfor.

Kako pomembna sta dušik in fosfor, če sta prisotna hkrati ali pa je prisoten le dušik, je pokazal eksperiment na jezeru Lake 226 v Ontariu v Kanadi. Voda v njem je bila kemijsko in biološko enaka kot večina voda, ki se stekajo v Velika jezera. Lake 226 so v trofičnem delu z umetno bariero razdelili na dve polovici. V eno polovico so potem vnašali fosfor, dušik in ogljik, v drugo pa le dušik in ogljik v enakih koncentracijah. Voda v polovici, ki so jo obremenjevali s fosfati je kmalu postala močno evtrofna, medtem ko je druga polovica v katero so vnesli le dušik in ogljik ohranila nespremenjen videz. Ob prenehanju obremenjevanja s fosforjem se je polovica jezera hitro povrnila v stanje pred začetkom eksperimenta (Schindler, 1974, cit. po Wetzel, 2001).

Dušikove spojine kažejo na organsko onesnaženje vode in čas, kdaj je nastopilo. Tako je amonijak značilen za sveže onesnaženje, nitriti za bližnje in nitrati za že dlje časa onesnaženo vodno okolje. Pri podzemnih vodah, ki so dobro zaščitene pred površinskim onesnaženjem, so nitriti in nitrati lahko posledica kemijsko-geoloških aktivnosti. Nitrati, ki uhajajo s prispevnega območja v podzemlje, dosežejo vodotok prej kot ostali nutrienti, saj se v vodi bolj oziroma hitreje raztapljajo. Nitrati so po onesnaženju dokazljivi še dolgo časa. Sami nitrati so zdravju relativno neškodljivi, vendar je treba vedeti, da se po zaužitju lahko spremenijo v nitrite, ki lahko povzročijo methemoglobinemijo. Nitriti so v želodcu prekursorji za nitrozamine in nitrozabilne snovi, ki so po merilih mednarodne agencije za raziskavo raka večinoma razvrščeni v skupino kancerogenosti 2B (možna rakotvorna snov), nekatere pa 2A (verjetna rakotvorna snov). (<http://www2.gov.si/mz/mz-splet.nsf/>)

Ne glede na to, da je dušik v celinskih vodah redko omejitveni dejavnik primarne produkcije, je njegov vpliv na življenjske združbe v vodi velik, še posebej v lentičnih ekosistemih. Poznavanje dušikovega cikla v vodnih ekosistemih je zato s stališča varovanja okolja izjemnega pomena.

### **2.1.5 Kisik**

Čeprav je kisik bolj topen kot drugi plini, npr. dušik, je njegova absolutna količina v vodi zelo majhna v primerjavi z enako količino zraka. Topnost kisika v vodi upada z naraščanjem temperature vode in z nižanjem atmosferskega pritiska na višjih nadmorskih višinah, narašča pa z večanjem hidrostatičnega pritiska po globini znotraj jezera. Prav tako upada tudi s povečevanjem slanosti. Na njegovo koncentracijo bistveno vplivata fotosintetska aktivnost primarnih producentov in respiratorna aktivnost življenjske združbe. Ko je kisik raztopljen, se s pomočjo turbulentnega gibanja vode koncentracijsko enakomerno porazdeli po celotni prostornini. 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. Kisik prihaja v vodo iz ozračja samo do meje nasičenja (saturacije), če pa izvira od v vodi živečega rastlinja, lahko pride do prenasičenja, kar kaže na evtrofne razmere. Stranski produkt fotosinteze je sproščen kisik, zato je vsebnost kisika na globinah, kjer je fotosintetska aktivnost fitoplanktona največja, povečana. Ker poteka fotosinteza le ob svetlobi, dihanje pa podnevi in ponoči, obstaja dnevno-nočno nihanje kisika oz. porast kisika čez dan in upadanje preko noči. Nihanja so posebno izrazita v jezerih z močno rastlinsko zarastjo ali v jezerih, kjer se razkrajajo mnogo mrtve organske snovi. Porazdelitev kisika med površino in dnom omogočajo fizikalni procesi difuzije, konvekcije in mešanje z vetrovi, ki ustvarjajo turbulentne tokove. Razporeditev kisika po globinski vertikali oz. kisikove razmere so zato pomemben fizikalno-kemijski parameter za oceno stanja jezer (slika 1).

Sposobnost navzemanja kisika je funkcija difuzije kisika iz zraka, difuzijskih in konvekcijskih procesov v sistemu ter notranjih virov in porabe kisika. Več kisika se raztopi v vodi, ko vetrovi razpihujejo vodno gladino. Zaradi valovanja se poveča vodna površina, kar omogoči boljšo difuzijo. Poleg navzemanja iz zraka sta glavna vira kisika produkcija s

fotosintezo, ki lahko povzroči prenasičenost s kisikom in raztopljeni kisik v dotokih v sistem. Porabo raztopljenega kisika predstavljajo biokemijska oksidacija ogljikovih in dušikovih organskih snovi, poraba kisika iz dna (bentične plasti) in kisik potreben za respiracijo alg, poraba raztopljenega kisika za dihanje ostalih organizmov je običajno zanemarljiva.

Kisikove razmere, zlasti ob dnu jezera so pomemben dejavnik, ki posredno vpliva na količino hranil v jezeru oziroma trofičnost jezera. Pomemben avtohtoni vir fosforja v jezerih je namreč tudi jezerski sediment, ki primarnim producentom, algam v fotični – trofični coni jezera ni dostopen, dokler se ob pomanjkanju kisika, zaradi sprememb redoks potenciala na meji sedimenta z vodo, ne začne intenzivno sproščanje ortofosfatov v vodo.

Določanje koncentracije kisika je bistveno za oceno kakovosti vode. Spremembe v koncentraciji kisika so lahko zgodnji pokazatelj spremenjenih razmer v vodnih telesih. Sezonsko pogojene višje temperature vode v stoječih vodnih telesih, zlasti plitvih, so pogosto povezane z nizkimi koncentracijami kisika. Nasičenost lahko čez dan presega 100%, če je primarna produkcija v vodi večja od respiracije (biogeno prezračevanje). Vrednosti pod 100% nakazujejo višjo respiracijsko aktivnost od fotosinteze. Vrednost raztopljenega kisika (ang. dissolved oxygen - DO) v vodi predstavlja razpoložljivost kisika za živa bitja v vodi.

Visoke koncentracije kisika preko hladnejšega dela leta in nekoliko nižje koncentracije skozi toplejši del leta kažejo na oligotrofijo, kjer so fizikalni dejavniki v prevladi nad biološkimi dejavniki. S tem so povezane tudi visoke stopnje nasičenja s kisikom v hipolimniju. Če pa so stopnje nasičenosti s kisikom poleti višje kot pozimi je to običajno znak mezotrofnega, evtrofnega ali hiperevtrofnega stanja. Hipolimnijske koncentracije kisika pa so v tem primeru zelo nizke. Tudi močna dnevna nihanja v nasičenosti s kisikom kažejo na evtrofno oziroma hiperevtrofno stanje (Straškraba, 1996).

Raztopljen kisik merimo v mg/l ali enakovredni enoti ppm (parts per million) in je pomemben indikator, ki kaže v kako dobrem oz. slabem stanju se nahaja jezerski ekosistem. Ko se koncentracije kisika zmanjšajo predstavlja taka situacija za vodne organizme stres. V primeru da nastopijo anoksije pa so vse življenjske oblike, ki so z dihanjem vezane na kisik, prisiljene,



da se umaknejo v območje kjer je kisika dovolj ali da poginejo. Na nizke koncentracije kisika so bistveno manj občutljive odrasle živali kot pa njihove mladice ali ličinke. Jajčeca salmonidnih vrst rib so občutljiva že na količino kisika manjšo od 8 mg/l, odrasle živali pa težje prenašajo vrednosti pod 5 mg/l (EPA - internet). Precej bolj so občutljive salmonidne vrste rib kot pa ciprinidne. Npr. ščuki, piškurju, menku in smuču zadošča že 6 do 8 mg/l raztopljenega kisika, medtem ko lahko koreselj, krap in linj preživijo celo pri koncentracijah pod 1 mg/l. V slovenski zakonodaji je za ciprinidne vrste rib mejna vrednost raztopljenega kisika 4 mg/l (vsa vzorčenja) oziroma 7 mg/l (50% vzorcev), medtem ko je za salmonidne ta meja postavljena z 2mg/l višje (Uredba o kakovosti površinskih voda za življenje sladkovodnih vrst rib, UL RS 46/2002).

Ko opredelimo kisikove razmere v jezeru je pomembno, da poznamo kako se koncentracije raztopljenega kisika na gladini razlikujejo od tistih na dnu. Ob dnu evtrofnih jezer so koncentracije raztopljenega kisika velikokrat zelo nizke ali pa vladajo anoksije. Kisik se porablja za razgradnjo organskih snovi, ki tonejo iz višjih nivojev vodnega stolpca – gre za tako imenovani "dež organskih snovi", ki vsebuje odmrle celice alg in zooplankton (EPA - internet).

Glede na temperaturni gradient v vodnem stolpcu, trofično stanje jezera in prisotnost ali odsotnost posameznih življenjskih združb je lahko v času termalne stratifikacije spreminjanje koncentracij raztopljenega kisika po vertikalnem profilu različno. V nadaljevanju so na kratko predstavljene značilne kisikove krivulje, ki se pojavljajo v lentičnih ekosistemih. Te pa so:

Ortogradna krivulja – pojavlja se v času popolnega premešanja vode (jeseni in spomladi) in v oligotrofnih stratificiranih jezerih z majhno produkcijo organske snovi in nizko respiracijsko aktivnostjo. Naraščanje koncentracij kisika z globino je posledica vpliva zniževanja temperature in s tem tudi povečevanja topnosti z globino.

Klinogradna krivulja – značilna za močno produktivna evtrofna jezera, ekstremna v meromiktičnih jezerih; s tem ko se povečuje produktivnost narašča tudi respiracija in dekompozicija, porabljajo se zaloge kisika v hipolimniju.

Pozitivna heterogradna krivulja – Koncentracije kisika dosežejo vrh v metalimniju (fotosinteza na termoklini). Vnos nutrientov iz hipolimnija povečuje rast primarnih producentov. Vendar pa je "globoka klorofilna plast" odvisna od prosojnosti vode. Možen vzrok je lahko tudi dotok s kisikom bogate vode (npr. izliv vodotoka v jezero), ki je gostejša (bolj hladna) od površinske vode. Včasih je nasičenje tudi do 400%. Vzrok so alge, ki uspevajo v manj svetlih razmerah ali alge, ki tonejo proti dnu.

Negativna heterogradna krivulja – Koncentracije kisika dosežejo minimum v metalimniju, ki pa se proti hipolimniju dvigajo. Do tega pride kot posledica respiracijske aktivnosti zooplanktonov v metalimniju, če je teh veliko ali kot posledica respiracije alg ponoči. Možen vzrok je tudi razgradnja snovi, ki so z gostotnim gradientom ujete. Določen vpliv ima lahko tudi morfologija, če je npr. na določeni globini večja površina sedimenta glede na vodni volumen in se na taki globini zaradi stika s sedimentom za respiracijo porablja več kisika. Jezero lahko kaže enega ali več takšnih profilov skozi leto.

Vpliv morfologije je včasih bistvenega pomena, zlasti globine, saj se npr. lahko zgodi, da imata dve jezera enako produktivnost na enoto površine, vendar ima eno (globoko) ortogradno kisikovo krivuljo, drugo (plitvo) pa klinogradno krivuljo.

### **2.1.6 Žveplo, sulfati in sulfidi**

Žveplo prihaja v jezero na različne načine. S preperevanjem kamnin v jezerskem porečju vnašajo žveplo v jezero pritoki. Glavni vir je sadra ( $\text{CaSO}_4$ ). Večje količine žvepla dajejo zato apnenčaste podlage in mnogo manj silikatne. Količina žveplovega sulfata, ki jo vsebuje jezerska voda, znaša od 5 do 30 mg na liter. Žveplov sulfat prinašajo v vodo tudi padavine. V zraku nastaja z oksidacijo vodikovega sulfida ( $\text{H}_2\text{S}$ ) iz ognjeniških plinov in bakterijskega gnitja v tleh in močvirjih. Padavine privzemajo še antropogeno proizvedeni sulfat, ki nastaja z gorenjem premoga, nafte in plina (kisli dež). V tla pa prihaja sulfat iz umetnih gnojil. Poleg sulfata se v hipolimnijskih vodah, v katerih primanjkuje kisika, pojavlja tudi raztopljen vodikov sulfid ali žveplovodik ( $\text{H}_2\text{S}$ ). Sulfat je vir žvepla za zelene rastline in mnoge mikrobe, ki rabijo žveplo za sintezo organskih spojin, kot so aminokisliline. Živali sprejemajo

organsko vezano žveplo z rastlinsko prehrano. V presnovi in kroženju žvepla se udeležujejo različne vrste in skupine fotoavtotrofnih in kemolitotrofnih mikrobov, zelene rastline in živali. Pri mikrobnem razkrojevanju beljakovin nastaja vodikov sulfid. Le-ta obstaja samo v anaerobnem okolju ali okolju, kjer je zelo malo kisika. Ob navzočnosti kisika se oksidira v sulfatno obliko.

## 2.2 Življenjske združbe v jezerih

Habitat proste vodne mase zaseda raznolika skupina organizmov, ki jih s skupnim izrazom imenujemo plankton. Ti organizmi so fiziološko in morfološko prilagojeni na življenje v prosti vodni masi jezer, rek in njihovih izlivov ter oceanih. Mnogi so sposobni uravnati svoj položaj v vodnem stolpcu z različnimi sredstvi premikanja, vsi pa so podvrženi pasivnemu gibanju zaradi vetra in tokov. Plankton sestavljajo bakterije (bakterioplankton), cianobakterije, eno in večcelične alge (fitoplankton), praživali in nevretenčarji (zooplankton). Živijo prosto v vodnem stolpcu, lahko se aktivno premikajo, vsi pa počasi tonejo proti jezerskemu dnu. Za planktonte so značilna dnevno-nočna gibanja (horizontalna in vertikalna) in sezonska nihanja (pomladni, poletni in jesenski plankton). Na njihovo razporeditev vplivajo termika, paša živali, parazitizem pri algah in vsebnost hranilnih snovi (Toman, 1995).

Za številna jezera zmernotoplega pasu so značilna ciklična (sezonska) spremenljivost v biomasi in produkciji planktona. Redno ponavljanje planktona običajno kaže vzorec, katerega splošne značilnosti so iz leta v leto enake, detajlne značilnosti pa zavisijo od muhavosti vremena, pretoka vode, obremenitve in odplavljanja hranil, temperature ter trajanja stratifikacije in mešanja vodne mase (Jeffris, 1990).

Razporeditev planktona ni niti enakomerna niti stalna, kar velja prostorsko in časovno. Osnovna razporeditev so planktonski oblaki, ki se gibljejo po pelagialu. Vodoravna in navpična razporeditev populacij znotraj vsakega oblaka ustrezata dani prostorski in časovni povezavi delujočih dejavnikov. Populacije se razporedijo po globinah, kjer je zanje povezava dejavnikov ustrezna oziroma je na voljo ravnotežni optimum. Težnja vsake vrste populacije je, da zavzame za svoje potrebe primerno globino, kar povzroči, da je vrstna sestava v

planktonskem oblaku v vodoravni smeri skromnejša kot v navpični. Vodoravno so razlike v vplivu dejavnikov malenkostne in se hitro izravnavajo (Rejic, 1988).

Alge glede na različnost ekoloških tipov najpreprosteje razdelimo na planktonske in bentoške, pri čemer slednje v vodnem ekosistemu pogosto opredelimo kot perifitonske alge. S pojmom obrast (perifiton) označujemo združbo pritrjenih (sesilnih) in gibljivih, predvsem mikroskopskih organizmov v vodah med katerimi glavni del sestavljajo pritrjene alge. Perifitonske alge so torej bentoški organizmi in glede na to, na kakšni podlagi živijo, ločimo epilitske (na kamnih), epifitske (na rastlinah), epipelične (v pesku), epizoične (na živalih) in epimetalne (na kovinah). V metabolizmu tekoče vode ima obrast osrednjo vlogo v samočistilnih procesih, v kroženju snovi in pretoku energije. Prisotne alge prispevajo k biogenemu prezračevanju reke in so hrana rastlinojedim živalim. Praživali in drobni metazoji predvsem kontrolirajo populacije bakterij. Vrstni sestav perifitona se spreminja po toku navzdol in med letom, različen je tudi na kamnitih in prodnatih usedlinah. Perifiton je tudi značilna združba litoralnih predelov jezer, kjer epifitske alge na makrofitih (poleg bakterij in protozojev) zmanjšujejo količino svetlobe in s tem vplivajo na rast in velikost primarne produkcije obrežnih rastlin. V združbi obrasti (perifitona) živijo številni indikatorski organizmi, ki jih uporabljamo pri oceni kakovosti voda (Toman, 1995).

Zaporedje rasti alg je pogojeno z okoljskimi spremembami, ki se začnejo pozimi, ko so dnevi kratki in je svetlobe malo, temperatura pa je nizka. Zaradi spiranja prispevnega območja ob povečani količini padavin oz. topljenju snega ob koncu zime, prihaja v jezero povečana količina hranil. Z vse daljšimi in toplejšimi dnevi se spomladi poveča rast alg, količina hranil pa se ob odsotnosti padavin zaradi prekinjenih novih vnosov močno zmanjša. Ko se prične vzpostavljati stratifikacija, postanejo razmere v vodnem stolpcu bolj stabilne. Do povečanja zooplanktonskih populacij pride kasneje kot pri algah, saj so zooplanktoni bolj občutljivi na temperaturo. V tem času je zato učinek objedanja alg nepomemben. Ko pa do objedanja pride, le-to privede do drastično bolj čiste vode, ki običajno traja nekaj tednov. Nato sledi preobrat v juniju in juliju, ko postanejo prej herbivori zooplanktoni, plen na novo izvaljenih ribjih mladici. Jeseni se spet vse obrne, ko povečan dotok iz prispevnega območja prinese nove

količine hranil, zmanjšata se temperatura in svetlobna intenziteta, zooplanktoni preidejo v mirujoče stanje, ustavi se tudi prehranjevalna aktivnost rib.

Značilni predstavniki vodnih ekosistemov so tudi bentični makroinvertebrati (vodni nevretenčarji), ki so po definiciji organizmi velikostnega reda do 0,5 milimetra oz. pri vzorčenju ostanejo v mreži z odprtini 0,5 x 0,5 mm. So taksonomsko zelo raznolika skupina organizmov, med katerimi najdemo številne vrste žuželčjih ličink, vrtinčarje, polže, nižje rake, pijavke, maloščetince idr. Imajo specifično vlogo v vodnih telesih, saj odražajo ekološke razmere posameznega vzorčnega mesta. So pokazatelj različnih stresov: organskega in anorganskega obremenjevanja, toksičnosti, kislosti, morfoloških sprememb vodnih habitatov, zmanjšanja količine vode itd.; ter fizikalnih lastnosti (tip substrata, hitrost vodnega toka, pretok itd.) (Toman, 1996).

Za bentične makroinvertebrate lotičnih ekosistemov je značilno plavljenje oziroma njihov pasivni transport s pomočjo vodnega toka po vodotoku navzdol. Na ta način si organizmi iščejo nove habitate, nove vire hrane, izogibajo se predacijskim pritiskom ali neugodnim razmeram. Za številne od njih je značilen dnevni ritem plavljenja, ko se podnevi skrivajo med delci substrata, ponoči pa v iskanju hrane substrat zapustijo (vedenjski drift). Lahko jih odplavi tudi v primeru povečanega pretoka vodotoka (katastrofični drift) ali slučajno (stalni drift). Poseben tip drifta pa se pojavlja pri mladih osebkih, ki si iščejo nov habitat (razporeditveni drift). Ob vsem tem ne preseneča, da značilne makroinvertebrateske predstavnike lotičnih ekosistemov, velikokrat najdemo tudi v lentičnih ekosistemih (Hauer & Lamberti, 1996).

V nadaljnjih dveh točkah sem nekaj več pozornosti namenil združbi fitoplanktona in zooplanktona, medtem ko sem združbo vodnih makrofitov predstavil v poglavju 2.2.4.

### **2.2.1 Fitoplankton**

Fitoplankton jezer sestavljajo v prosti vodi lebdeči enocelični ali kolonijski organizmi, ki pripadajo različnim taksonomskim skupinam alg in cianobakterij, njihova skupna značilnost pa je fotosinteza. V jezerih, kjer je pelagial prevladujoč življenjski prostor, so planktonske

alge in cianobakterije ključni nosilci primarne produkcije. Njihova začetna pozicija v prehranjevalni verigi jim omogoča, da preko svoje produktivnosti, uravnavajo produktivnost celotnega jezerskega ekosistema, zato je stanje fitoplanktona najboljši pokazatelj trofičnih razmer v posameznem jezeru. V spreminjajočem se pelaškem okolju prihaja do fizikalno-kemijskih razmer, ki selektivno spodbujajo rast in razvoj fitoplanktonskih vrst z določenimi morfološko-fiziološkimi prilagoditvami. Spremembe fizikalnih in kemijskih dejavnikov so v vodnem okolju tako hitre, da onemogočajo bohoten razvoj ene same vrste, zato se istočasno razvije več fitoplanktonskih vrst. Vrsta z najboljšimi prilagoditvami na specifične ekološke razmere, lahko razvije največjo populacijo in postane dominantna. Fitoplanktonska združba se oblikuje predvsem na podlagi razpoložljive svetlobne energije, razpoložljivih makro in mikronutrientov ter gibanj vodne mase. Tudi v enem samem jezeru prihaja do dnevno-nočnih, sezonskih in letnih nihanj fizikalno-kemijskih parametrov in posledično dinamike v vrstni sestavi in gostoti fitoplanktonskih populacij.

Rast in produktivnost fitoplanktonskih populacij kompenzirajo izgube s sedimentacijo, parazitizem virusov in plesni ter objedanje zooplanktona. Pri razvoju fitoplanktonske populacije je zelo pomemben zadrževalni čas vode, ker posamezen organizem potrebuje dovolj časa, da se v vodi razmnoži.

Glavne razlike v sestavi in strukturi fitoplanktonskih združb nastajajo med jezери z različnim trofičnim nivojem. Pri tem je pomembna oblikovanost jezerske kotanje, pretočnost, alkaliniteta in prosojnost vode, med najpomembnejšimi faktorji, ki vplivajo na favoriziranje vrst, pa so koncentracije limitirajočih nutrientov, zlasti fosforja (Moss, 1998). Vrstna struktura je prvenstveno odvisna od obremenitve vodnega ekosistema s hranilnimi snovmi, zato so značilne velike vrstne razlike med t.i. oligotrofnimi (hranilno revnimi), mezo- in evtrofnimi (hranilno bogatejšimi) ter hiperevтроfnimi (zelo hranilnimi) vodami (Toman, 1996).

Rast fitoplanktona je najtesneje povezana s prestrežanjem svetlobne energije, ki je nujna za fotosintetsko fiksacijo ogljika. Ker pa aktivna radiacija hiperbolično upada z globino, je preživetje posamezne fitoplanktonske vrste odvisno od njene sposobnosti, da se čim daljše

obdobje obdrži v zgornjem, presvetljenem delu vodne mase oziroma da čim daljše obdobje ostane v suspenziji. Navadno so alge težje in gostejše od vode. Zadrževanje na ustreznem nivoju v vodnem stolpcu fitoplanktonom omogočajo različne skozi evolucijo izoblikovane morfološke in fiziološke prilagoditve. S spreminjanjem velikosti in oblike celic, združevanjem v kolonije ter z aktivnim premikanjem, se alge upirajo gravitacijskemu tonjenju. Tudi tvorba raznih izrastkov, akumulacija maščob in izločanje mukusa so v povezavi z zmanjševanjem gostote, ugodnim razmerjem med površino celice ter njenim volumnom in posledično manjšim tonjenjem. Čim težje so alge, tem hitreje tonejo proti dnu. Za najtežje med planktonskimi algami - diatomeje so turbulentni tokovi ob homotermičnem mešanju vodnih mas odločilnega pomena za preživetje. Za prestrezanje svetlobe, ohranjanje v vodnem stolpcu in pridobivanje esencialnih nutrientov je pomembna tudi velikost, predvsem pa razmerje med površino in volumnom ( $SA/V$ ). Alge z večjo površino imajo več možnosti, da učinkoviteje prestrežejo svetlobo oziroma molekulo nutrienta. Zato lahko pojmujejo kot napredno, vsako povečanje celic, ki je povezano s sočasnim, relativnim povečanjem površine oziroma z raznimi izrastki.

Rast populacije alg je odvisna od učinkovitosti absorpcije in asimilacije v vodi raztopljenih esencialnih biogenih elementov – makronutrientov in mikronutrientov. Glavni prilagoditvi v zvezi s tem sta zmožnost aktivnega premikanja glede na koncentracijo hranil ter pri nekaterih fitoplanktonskih algah tudi skladiščenje esencialnih nutrientov (zlasti fosforja) v obdobju izobilja, ko je absorpcija hitrejša od rasti in omogoči ustvarjanje rezerv. Fosfor nakopičijo v obliki polifosfatnih zrn, ali drugačni obliki, ter jih v razmerah pomanjkanja vključijo v svoj metabolizem in reprodukcijo. Zmožnost aktivnega premikanja je pomembna kompeticijska prednost nekaterih alg. Omogoča jim prehod med plastmi v stratificiranem jezeru, da lahko direktno dosežejo večje zaloge hrane ali ugodnejši svetlobni gradient.

Cianobakterije, pa so med drugim prilagojene tudi na spreminjajoče svetlobne razmere in imajo poleg klorofila a, ki je značilen za vse fotoavtotrofne rastline, še druga fotosintetska barvila, npr. fikocianin in fikoeritrin. S temi barvili so cianobakterije sposobne kromatične adaptacije, to je zmožnost, da uravnavajo nastajanje takšnega barvila, ki najbolj izrabi razpoložljivo svetlobo (Vrhovšek, 1985).

Fitoplankton je v prosti vodni masi izpostavljen tudi plenjenju algivorihi zooplanktonov, ki pa vsega fitoplanktona ne plenijo enako učinkovito. Mnoge alge se lahko izognejo predaciji ali prebavljenju. Pred predacijo se lahko alge ubranijo z velikostjo, slabim okusom ali toksini, pred prebavo pa z debelimi celičnimi stenami ali stabilnimi želatinoznimi ovoji, ki jim omogočajo, da po izločitvi iz predatorjevega telesa preživijo.

Vertikalni profili fotosinteze in planktonskih habitatov so poleg hranil in kroženja snovi tudi posledica svetlobe in temperature. Na vodni gladini oziroma tik pod njo je svetloba za večino alg, posebno v poletnem obdobju premočna in zavre fotosintezo alg. Zaradi fotoinhibicije je lahko metabolizem epilimnijskega fitoplanktona v površinskih plasteh vodnega stolpca bistveno zmanjšan, kar se lahko odraža tudi v več kot 80% zmanjšanju fotosinteze. Le redke planktonske alge, ki so odporne na poškodbe zaradi UV žarkov in močne svetlobe, se zadržujejo na površini (Wetzel, 2001).

Nekateri fitoplanktoni preživijo obdobja, ki zanje niso ugodna v latentni obliki. Za te neaktivne resistantne vrste celic so značilne debelejšje celične stene in večje zaloge uskladiščenih nutrientov.

Za lentične ekosisteme so značilne različne interakcije med posameznimi združbami, najbolj očitna pa je kompeticija. V plitvih jezerih in ribnikih, kjer je rast submerznih makrofitov zmanjšana ali pa so odstranjeni, pride do prevlade fitoplanktona. Razvijejo se majhne alge in cianobakterijske vrste z visoko kapaciteto absorpcije svetlobe in nizkimi svetlobnimi kompenzacijskimi točkami. V predelih zmernih širin, kjer je pašni pritisk velikega planktona v plitvih hranilno bogatih vodah zmanjšan, lahko razvoj fitoplanktonskih populacij na začetku sezone zmanjša prodiranje svetlobe in tako omeji razvoj in rast makrofitov. Ob odsotnosti submerznih makrofitov pride do pomanjkanja habitatov za večje algivore zooplanktona in posledično zmanjšanega pašnega pritiska na fitoplankton. Zooplanktonske populacije lahko drastično zmanjša tudi prevlada zooplanktivorihi rib v jezerskem ekosistemu, kar pomeni manjšo smrtnost fitoplanktona.



V srednjeevropskih jezerih se pojavlja zgodnjepomladni maksimum v fitoplanktonu z drobnimi vrstami diatomej in krisomonadin, ki izkoristijo visoko koncentracijo nutrientov še od jeseni. S fitoplanktonom se prehranjujejo vodne bolhe, ki se s partenogenetskim razmnoževanjem eksponentno namnožijo. Zgodi se, da zooplanktonski rakci pojedjo večino alg in ko zmanjka hrane, se zmanjšajo njihove populacije, znova se začno razmnoževati alge. Vendar so lahko to bolj želatinozne vrste alg, ki so za hrano rakcem neprimerne. Poleti so to zelene alge, jeseni pa modrozeleni alge, ki so sposobne vezati plinasti dušik. Zimski plankton je sorazmerno reven, pa čeprav je mogoča produkcija tudi pod ledom, če ga ne prekriva debela snežna odeja (Tarman, 1992).

V nadaljevanju sem podal opis nekaterih skupin alg ter njihovih posebnosti s poudarkom na ekološki funkciji, ki jo imajo v lentičnih ekosistemih.

1. *Bacillariophyceae* (tudi *Diatomeae*, kremenaste alge)

Značilnost te skupine je, da imajo dvodelne celične stene (lupinice) prepojene s kremenom. Zaradi njih so odvisne od kroženja silicija v ekosistemu in so v primerjavi z drugimi algami tudi bolj podvržene tonjenju. Med planktonskimi diatomejami je veliko kolonijskih. Njihov pomen v vodnih ekosistemih je izjemen, saj proizvedejo 20-25 % celotne organske mase na Zemlji in predstavljajo 70 % bioprodukcije kisika v biosferi. Odmrle diatomeje v stoječih vodah oblikujejo značilno diatomejsko blato. Če ob koncu poletja voda vsebuje veliko silicija, se pogosto zgodi, da zelene alge izrinejo diatomeje. Običajno se silicij v vodah nahaja v zadostnih koncentracija, v izjemnih primerih (v zgornji plasti stratificiranih jezer poleti) je lahko limitirajoč. Čeprav na šibko svetlobo niso posebej občutjive, imajo vseeno raje čiste vode z visoko prosojnostjo. Vendar pa sezonsko pogosto postanejo dominantne tudi v evtrofnih jezerih, običajno v obdobju večjih turbulentnih gibanj (homotermije), ko je v vodnem stolpcu silicija dovolj. Poleg planktonskih so pomembne tudi bentoške diatomeje, ki poraščajo dno litorala in skupaj s stanjem submerznih makrofitov izkazujejo trofičnost jezera.

2. *Euglenophyta* (evglenofiti)

So večinoma gibljive enocelične alge. Večinoma so miksotrofi, zato ne preseneča, da jih najpogosteje najdemo v vodah, bogatih z organskimi, razpadajočimi snovmi. Nekatere vrste so tudi saprofitne in celo parazitske v želodcih živali in na škrgah rib. Evglenofitni plankton je indikator za najbolj obremenjena vodna telesa, nahaja se v stoječih vodnih telesih, ki so bogati z dušikom.

3. *Chlorophyta* (zelene alge)

Zelene alge so morfološko zelo heterogena skupina planktonskih alg in so med vsemi skupinami alg tudi najštevilčnejše. So enocelične, kolonijske, sifonalne, gibljive in negibljive. Pogosto se povezujejo z drugimi organizmi, tako avtotrofnimi kot heterotrofnimi (epifiti, simbioza, parazitizem). Glede na fotosintetska barvila, rezervne snovi in organizacijo kloroplastov, so se zelene alge najbolj približale višjim rastlinam. Skupina je dominantna le krajše obdobje, med termalno stratifikacijo, v epilimniju produktivnih jezer, kjer je prehod svetlobe v globino, zaradi velike količine lebdečih delcev omejen.

4. *Dynophyta* (dinoflagelati)

V tej skupini prevladujejo enocelične gibljive alge, ki so splošno razširjene v fitoplanktonu. Večina se jih prehranjuje heterotrofno. Zaradi svoje velikosti v boju za nutriente, zlasti fosfor in ugodne ekološke razmere z nanoplanktonskimi algami niso konkurenčni. Zato se najbolj namnožijo v obdobju pomanjkanja nutrientov, ko so druge vrste planktonskih alg manj uspešne. Dinofiti lahko pomanjkanje nutrientov kompenzirajo z rezervami polifosfatov. V ekstremno onesnaženih ekosistemih jih ne najdemo.

5. *Cyanophyta* (cianobakterije, tudi modro-zelene alge)

So najstarejša skupina fotoavtotrofnih organizmov na Zemlji s prokariotsko organizacijo celice, brez gibljivih oblik in vegetativnim načinom razmnoževanja. Večina vrst cianobakterij izloča na površje sluzasto snov (mukus), ki tvori ovoj, zaradi česar so sorazmerno slaba hrana. Ovoj je lahko tanek, mehak ali brez strukture ali

čvrst, debel in slojevit, pri nekaterih je ovoj celo debelejši od celice, včasih tudi obarvan. Živijo kot enocelične ali v kolonijah, večinoma v celinskih vodah. Pritrjene so na kamenju in ležijo na pesku ali mulju, veliko pa je tudi planktonskih. Naseljujejo z organskimi in anorganskimi snovmi visoko onesnažena jezera. Nekatere cianobakterije so indikatorji organskega onesnaženja. Lahko so striktni avtotrofi, fakultativni avtotrofi, fakultativni heterotrofi in obligatni heterotrofi ob izgubi fotosintetskega aparata. Ko alge poleti za svojo rast izrabijo zaloge vezanega dušika do nizkih koncentracij, se pogosto zgodi, da se razvijejo in prevladajo filamentozne cianobakterije, ki so zmožne fiksacije molekularnega dušika iz atmosfere. To jim omogočajo diferencirane vegetativne celice – heterociste, ki cianobakterijam v hranilno revnih vodah pomenijo ekološko prednost. Z njihovo povečano prisotnostjo se spremenijo mnoge prehranjevalne poti višjih trofičnih nivojev. Zaradi občasnega pojavljanja v izredno velikem številu in njihove sposobnosti tvorbe biološko aktivnih snovi predstavljajo veliko grožnjo za zdravje ljudi, živali in okolja. Znane so zastrupitve različnih živalskih vrst, ki so se napajale na virih z nakopičenimi cianobakterijami. Toksični rodovi cianobakterij, ki so sposobni tvoriti obsežna cvetenja, in cianotoksini so navzoči tudi v večini površinskih voda Republike Slovenije. Cvetenja lahko tvorijo toksični predstavniki kolonijskih in nitastih cianobakterij. Za razliko od alg imajo številne vrste planktonskih cianobakterij v svojih celicah posebne plinske vezikle, s katerimi lahko glede na svetlobne razmere in razpoložljivo količino hranil uravnavajo svoje lebdenje v vodnem stolpcu. Dobro pa so prilagojene tudi na pomanjkanje fosforja, saj so sposobne absorbirati in shraniti presežke fosforja, ko je le-ta na voljo. Z rezervami fosforja so tako zmožne preživeti od nekaj dni do več tednov. Ob ugodnih vremenskih razmerah prihaja do izredno visokih koncentracij cianobakterij na površini vodnih teles. Migracija cianobakterij na površino vodnega telesa povzroči močno povečano koncentracijo organizmov in njihovih strupenih produktov. Dodatno zgoščevanje lahko povzroči veter, tako da se ob obali nabere cianobakterijska gošča, ki je lahko do 1000-krat bolj nasičena od njihove običajne navzočnosti v vodi. Toksine, ki jih proizvajajo toksične vrste cianobakterij, uvrščamo med najbolj strupene snovi, ki jih danes poznamo. Najbolj razširjeni cianotoksini so mikrocistini in cianobakterijski nevtrotoksini. Vendar pa dokaz toksičnosti cianobakterijske populacije v določenem vodnem telesu še ne

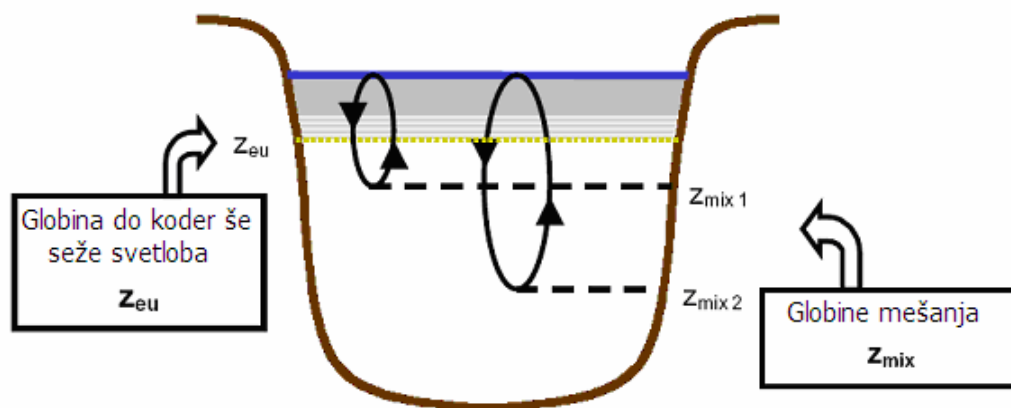
pomeni večje ogroženosti ljudi ali okolja, dokler je le-ta maloštevilna in enakomerno razpršena. Resnična grožnja nastopi šele ob masovnem pojavljanju, predvsem v obliki površinskih cvetov in gošč. Do cvetenj prihaja predvsem v poletnih in jesenskih mesecih, pogosta so tudi pozimi, saj lahko cianobakterije preživijo celo pod ledom. Na njihov razvoj ugodno vplivajo suha leta in dolgi zadrževalni časi.

### **2.2.2 Vpliv epilimnijskega mešanja vodnih mas na fitoplankton**

V nasprotju s kopenskimi rastlinami, ki so priraščene na enem mestu, so za fitoplankton značilna vertikalna in horizontalna gibanja po vodnem stolpcu, ki jih povzročajo procesi mešanja vodnih mas ali njihovo aktivno gibanje oz. uravnavanje plovnosti. Zato količina prestrežene svetlobe ni le funkcija dnevnega prepusta sončne svetlobe, ampak tudi poti gibanja posameznih celic po vodnem volumnu in količine prepuščene svetlobe na tej poti. V vseh vodnih telesih, celo takih z zelo čisto vodo, se intenziteta svetlobe z globino eksponentno zmanjšuje. Do tega prihaja zaradi absorpcije in sipanja na v vodnem stolpcu prisotnih raztopljenih in partikularnih snoveh. Cona mešanja seže do globine mešanja  $z_{mix}$  oziroma se zaključuje s termoklino. Dnevno mešanje vodnih mas zaradi nižjih temperatur preko noči ali delovanja močnejšega vetra teži k zmanjševanju vsakih razlik po vertikalnem profilu oziroma k homogenosti v coni mešanja. Do globine, kamor seže, poruši plastovito razporeditev planktona in vzpostavi precej enakomerno razporeditev. Prerazporeditvi se tudi planktoni z lastnim gibanjem ne morejo upreti.

Globini na kateri intenziteta svetlobe doseže 1% tiste na vodni gladini pravimo eufotična globina ( $z_{eu}$ ) oziroma kompenzacijska ravnina in približno ustreza dva do trikratni vrednosti Secchijeve globine. Na tem mestu je fotosinteza izenačena z dihanjem. V celotnem stolpcu vode nad kompenzacijsko ravnino je svetlobe dovolj za pozitivno bilanco fotosinteze. To pomeni, da alge del primarne produkcije vgradijo v svoje telo, kjer je na voljo za prenos po prehranjevalni verigi. Pod kompenzacijsko ravnino imajo celice alg za opravljanje fotosinteze na voljo zelo malo svetlobe, zato se morajo, da lahko rastejo, posluževati izrabljanja shranjenih energijskih rezerv. Bilanca fotosinteze je zato negativna – alge imajo porabo večjo od proizvodnje. Vendar pa so količine shranjenih energijskih rezerv omejene in lahko

zadoščajo le za relativno kratek čas. V primeru, da se fitoplankton predolgo zadrži pod eufotično cono, se posledično rast ne bo nadaljevala. Obe globini,  $z_{mix}$  in  $z_{eu}$  pa nista nujno enaki, čeprav prodiranje svetlobe (svetlobne energije) delno določa temperaturo vode in zaradi vpliva na gostoto vode tudi globino mešanja. Če je globina mešanja vodnih mas ( $z_{mix}$ ) večja kot eufotična globina ( $z_{eu}$ ), bo mešanje vodnih mas celice alg nosilo v presvetljeni sloj in ravno tako ven iz njega. Delež časa, ko se celice alg nahajajo v presvetljenem sloju je določen z razmerjem med eufotično globino in globino mešanja ( $z_{eu}:z_{mix}$ ) – slika 4. Če bo globina do katere seže mešanje večja, se bodo celice alg nahajale relativno kratek čas v svetlobnem območju in njihova rast bo omejena. Da bi lahko ocenili vpliv svetlobnih razmer na rast alg, je potrebno poznati tudi globine eufotične cone (kompenzacijske ravnine) in globine mešanja (termokline).



Slika 4: Vpliv razpoložljive svetlobe na rast alg. Čas, ko se fitoplankton nahaja v območju svetlobe je izražen z razmerjem med globino do katere še seže svetloba in globino mešanja vodne mase,  $z_{eu} : z_{mix}$ .

Globina mešanja je močno povezana z velikostjo vodnega telesa. V majhnih in pred vetrom zavarovanih vodah dosega globina mešanja le 2 metra, medtem ko v nekaterih primerih, zlasti v predelih zmernih širin, lahko sega 25 metrov ali celo do 50 metrov v tropskih predelih. Na globino mešanja vpliva tudi količina suspendiranih delcev in obarvanih raztopljenih organskih snovi. Intenzivna obarvanost vode, motnost ali visoke koncentracije fitoplanktona zmanjšujejo tako eufotično cono kot tudi cono mešanja (Straškraba, 1996).

Fotosintetska aktivnost fitoplanktonskih celic je pogojena s stopnjo prestrežene vpadne svetlobe. Ta pa je funkcija lastnosti fotosintetske biomase za absorpcijo svetlobe ter

intenzitete in spekterske sestave vpadne svetlobe. Obstajajo precejšnje razlike med glavnimi taksonomskimi skupinami vodnih rastlin in sicer glede na fotosintetske pigmente, ki jih vsebujejo in ob tem tudi razlike v absorpcijskih spektrih. Glede na spremenljivost intenzitete in spekterske kakovosti svetlobnih razmer v vodnem okolju je mogoče trditi, da je sestava fotosintetskih pigmentov lahko glavni dejavnik, ki določa katere vrste vodno rastlinje bo uspevalo glede na spremenljive svetlobne razmere po globinskem profilu ob sezonskih spremembah.

### 2.2.3 Zooplankton

Med zooplanktonom celinskih voda prevladujejo štiri glavne skupine organizmov: protozoji (*Protozoa*), kodačniki (*Rotifera*) in dva podrazreda rakov (*Crustacea*), to so vodne bolhe (*Cladocera*) in raki ceponožci (*Copepoda*). Zooplanktonski organizmi so običajno gostejši od vode, zato so podvrženi stalnemu gravitacijskemu tonjenju v globino. Medtem ko imajo planktonski protozoji omejene sposobnosti gibanja, se lahko kodačniki, vodne bolhe, majhni ceponožni raki ter larvalni stadiji nekaterih žuželk, aktivno gibljejo po vodni masi. Številni pelagični protozoji velikosti 5-300  $\mu\text{m}$  so meroplanktonski in v planktonski obliki preživijo samo del svojega življenjskega cikla, običajno v poletnem času. Preostali del cikla preživijo v sedimentu, pogosto v encistirani obliki preko zimskega dela leta. Mnogi protozoji se hranijo z bakterijami oz. njihovimi delci velikostnega reda pod 2  $\mu\text{m}$  in tako za svoje prehranjevanje izrabljajo velikostni red bakterij in detritusa, po katerem običajno večji zooplanktoni ne posegajo. Čeprav je večina kodačnikov (150  $\mu\text{m}$ -1mm) sesilnih in so vezani na litoral, so nekateri povsem planktonski in lahko v zooplanktonu zavzemajo večinski delež. Večina od njih je nepredatorskih oz. omnivorih in se hranijo z bakterijami, majhnimi algami in partikularnimi organskimi snovmi iz detritusa. Neužiten delež hrane izločijo hkrati z delom užitne hrane in na ta način pospešujejo mikrobno kolonizacijo organskih delcev. Posegajo po delcih hrane velikostnega reda pod 12  $\mu\text{m}$  v premeru. Vodne bolhe (*Cladocera*) so velike od 0,2 do 3mm in imajo dobro izraženo glavo, telo pokriva školjkast oklep, za premikanje pa uporabljajo velike druge antene.

Planktonski raki ceponožci (*Copepoda*) so veliki od 2 do 4 mm in se naprej delijo na dve skupini, ki se med seboj ločita glede na strukturo telesa, dolžino anten in noge. Imajo spolno razmnoževanje, značilen je spolni dimorfizem. Iz jajca z mehko lupino se razvije nesegmentiran navplij, v obliki trpežnega jajca s trdo lupino pa v usedlinah preživijo diapavzo. So značilni plenilci in plenijo kladocere, različne larve, rotatorije, kopepode, lahko pa so tudi herbivori.

Kotačniki in vodne bolhe se prehranjujejo predvsem z zbiranjem hrane s filtracijo delcev. Intenzivnost filtracije se povečuje z večanjem telesne dolžine in dviganjem temperature, velikost použitih delcev pa je sorazmerna velikosti telesa. Pri vodnih bolhah se hranjenje običajno ustali ali upade, ko se koncentracije hranilnih delcev zmanjšajo. Skozi večji del leta zooplanktoni pri objedanju prefiltrirajo le manjši delež (15%) vodnega volumna dnevno. Učinkovitost zooplanktonskega objedanja se spreminja sezonsko in v določenih obdobjih leta bistveno zmanjša delež fitoplanktona, lahko povzroči značilno zmanjšanje fitoplanktonske produktivnosti. Večji algivoren zooplankton lahko omeji številčnost fitoplanktona, tudi če je nutrientov dovolj. Intenzivno in selektivno (glede na velikost) objedanje ima lahko vpliv na spremembo značilnega vrstnega zaporedja alg.

Dolžina življenja vodnih bolh je pogojena s temperaturo vode. Posamezni osebki pri temperaturi vode 8°C živijo do 100 dni, pri 18°C do 42 dni in pri temperaturi 28°C le 26 dni. Temperatura je tudi v povezavi z razpoložljivo količino hrane ter tako tudi z hitrostjo rasti populacij, ki je največja ob optimalni temperaturi. Temperaturni optimum je za vodne bolhe, ki so značilne za zmerno topli pas nekje med 20 in 30°C. Razmnožujejo se s partenogenezo, število jajc je odvisno od temperature, kisika ter pestrosti in razpoložljivosti hrane. Razvoj jajc je hitrejši pri višjih temperaturah in npr. znaša 20 dni pri temperaturi 5°C in le malo več kot dva dni pri 25°C. Jeseni in pozimi pride do prekinitve partenogenetskega razmnoževanja, pojavijo se samci, ki oplodijo haploidna jajca in razvijejo se odporni epifiji. Povečana evtrofikacija jezer v začetku pomeni več kladocer, ko pa se poveča abundanca cianobakterij, njihovo število upade. Na letno dinamiko vodnih bolh vplivajo dejavniki rasti, razvoja in reprodukcije (temperatura, pH, svetloba, kisik, trdota), dnevno-nočna dinamika pa je povezana s plenilskimi pritiski (Jeffris, 1990).

Spreminja se tudi asimilacijska učinkovitost, ki pa običajno ne doseže niti 50 %. Povečuje se z naraščanjem temperature in značilno upada s povečevanjem koncentracije hranilnih snovi. Na učinkovitost objedanja vpliva tudi kakovost hrane, majhna je, ko se zooplanktoni hranijo z delci detritusa, visoka ob prehranjevanju z bakterijami in na splošno najvišja, ko se hranijo z algami primerne vrste in velikosti.

Za številne zooplanktonte, predvsem vodne bolhe, so značilne dnevne vertikalne migracije kot prilagoditev pred plenjenjem rib. Ko se zmrači se številne vrste zooplanktonov selijo iz globljih plasti proti vodni površini in ob zori nazaj v globino. Zato je tudi učinkovitost objedanja v površinskih plasteh vodnega stolpca nekajkrat večja ponoči. Vertikalna gibanja so največkrat povezana s pašo, z begom pred plenilci in z obrambo pred močno svetlobo, zato se poleti selijo v večje globine.

Precej bolj spremenljiv in neenoten značaj pa imajo horizontalne migracije, ko pelagične vodne bolhe (*Cladocera*) in ceponožni raki (*Copepoda*) migrirajo stran od litorala. V številnih primerih je nenaključna razpršenost zooplanktona povezana z gibanjem vode, predvsem z Langmuirovim kroženjem in mešanjem metalimnijske ter epilimnijske vode. Na strukturo zooplanktonske združbe in njeno spremenljivost lahko vplivajo tudi druge okoljske spremenljivke vključno z ribjim plenilstvom in strukturo makroinvertebratov.

Za številne zooplanktonte je značilen sezonski polimorfizem ali cikloroza, še posebej očitno pri vodnih bolhah. Osnovni razlog je podvrženost plenjenju rib, ki jih bolj privlačijo organizmi, ki so zadebeljeni v srednjem delu. Tako vodne bolhe spremenijo telesno obliko, postanejo bolj dolge in ozke, hkrati pa iz perifernih delov telesa razvijejo trne, s čimer postanejo manj zanimive kot plen planktivorih rib. Pri vodnih bolhah je cikloroza pogojena s kombinacijo okoljskih dejavnikov kot so povečanje temperature, turbulenčna gibanja vodne mase, svetlobne razmere in povečanje količine hrane. Pri kotalnikih s ciklorozo pride do spremembe telesne oblike, poveča se telesna dolžina, hkrati pa se pojavijo lateralni izrastki, po zaslugi katerih postanejo kot plen manj zanimivi. Z izrastki se jim obenem poveča tudi telesna površina, kar jim omogoča zmanjšanje potrebne energije za ohranjanje v zeleni plasti vodnega stolpca. Cikloroze pa nimajo majhni ceponožni raki



(*Copepoda*), ki se zaradi hitrega premikanja lahko precej uspešneje izmikajo pred invertebralnimi plenilci.

Razmnoževanje pomembno pripomore, da se zooplankton kot združba, ne kot posamezni osebki, obdrži v svojem življenjskem prostoru. Najhitrejše zaporedje generacij omogoča nesporno razmnoževanje, delitev celic pri enoceličarjih in partenogeneza pri planktonskih kotalnikih in vodnih bolhah. Na višku toplega obdobja in ob zadostni hrani si generacije sledijo v kratkih razmikih, na začetku neugodnih življenjskih razmer pa daje zadnja generacija trpežne oblike in jajčeca.

Na številčnost in velikostno strukturo zooplanktonskih populacij ima lahko velik vpliv tudi prisotnost zooplanktivorih rib. Ribe izbirajo svoj plen v večini primerov vizualno, čeprav nekatere ribe zberejo nekaj planktona tudi s škržnimi grabljami, ko gre voda skozi usta in škrge. Planktivore ribe izbirajo predvsem telesno večje zooplanktonte in lahko tako iz jezera povsem izločijo večje vodne bolhe (*Cladocera*). Če pa se npr. zaradi odsotnosti selektivne predacije zooplanktivorih rib v velikem številu pojavljajo veliki zooplanktonti, običajno poleg njih ne najdemo manjših predstavnikov zooplanktona, saj so le-ti podvrženi predaciji invertebratov, predvsem ceponožnim rakom (*Copepoda*), plenilskim vodnim bolham (*Cladocera*) ter ličinkam nekaterih mušic.

#### **2.2.4 Vodni makrofiti**

Preučevanje vodnih makrofitov je v zadnjem času v precejšnjem porastu, ne le z namenom razumeti delovanje vodnega ekosistema in dinamike rastlinskih združb, ampak tudi zaradi pomembnosti vodnega rastlinja v obnovitvi (restoration) plitvih jezer, gospodarjenja z mokrišči (wetland) in odstranjevanja hranil iz njih. Raziskovanje vodnih makrofitov pogosto izvira iz naraščajočih problemov, ko se v ekosistem vključijo neavtohtone invazivne vrste ali ko zaradi vplivov človeka pride do nadležne čezmerne razrasti običajnih domačih vrst.

Eden največjih problemov, ki jih v plitvih jezerih povzroča evtrofikacija, je izginjanje submerznih makrofitov in prehod v povečano motnost vode s prevlado fitoplanktona. Poznamo različne mehanizme, s katerimi makrofiti limitirajo biomaso alg: preko kompeticije

z algami za svetlobo in nutriente, s preskrbo zavetišč za velik algivoren zooplankton, s stimulacijo sedimentacije alg, s sprostivjo alelopatičnih snovi, ki omejujejo rast alg. Nenazadnje ima makrofitska vegetacija ključno vlogo v sukcesijskem procesu oziroma zakopnjevanju jezer. V nadaljevanju tega poglavja sem poskušal predstaviti pomembnejše značilnosti makrofitske vegetacije ter razmere v jezerskem ekosistemu, ki vplivajo na njeno uspevanje. Predstavil sem tudi delitev vodnih makrofitov in načine njihovega razširjanja. Ob koncu sem se osredotočil na pomen vodnih makrofitov v jezeru ter načine nadzora razraščanja.

#### 2.2.4.1 Delitev vodnih makrofitov

Vodne makrofite običajno delimo glede na njihovo rastno obliko kar je najbolj preprosto in hkrati tudi neodvisno od filogenetskih povezav med njimi. Pri tem so glavni kriteriji prostorske in morfološke značilnosti oziroma fiziološke in ekološke prilagoditve na določeno življenjsko okolje. Vodne makrofite tako razdelimo na :

##### 1. Vkoreninjene emerzne vrste

Značilno za njih je, da koreninijo v talnem substratu pod vodno gladino, liste in stebila (fotosintetski deli) ter reproduktivne dele pa imajo nad gladino. Med vsemi vodnimi makrofiti je ta skupina najbolj podobna kopenskim makrofitom, tako po nad vodo postavljenih reproduktivnih delih kot tudi po izkoriščanju talnega substrata kot vira nutrientov. Emerzni makrofiti pogosto naseljujejo plitve vode litorala jezer ali brežine vodotokov. Ker imajo možnost prestrezati sončno svetlobo preden ta doseže vodno gladino, v habitatu pogosto prevladajo ter izrinejo prostoplavajoče in submerzne vrste. Najbolj pogosto zastopani predstavniki emerznih vrst makrofitov so: navadni trst (*Phragmites australis*), rogoz (*Typha sp.*), pokončni ježek (*Sparganium erectum*), vodna kreša (*Nasturtium officinale*) idr.

##### 2. Vkoreninjene plavajoče vrste

So makrofiti, ki imajo na vodni površini vsaj nekaj listov, s stebli pa se pritrjujejo v talni substrat. Mnogi imajo tudi razvite liste pod vodo. Večina vkoreninjenih

plavajočih vrst ima okroglo, ovalno ali srčasto oblikovane liste z gladkimi robovi, kar jim preprečuje, da bi se trgali. Površina plavajočih listov je usnjata in čvrsta, kar jih varuje pred močenjem in herbivorim objedanjem (Guntensperg et al., 1989, cit. po Cronk, 2001). Dolga upogljiva stebila omogočajo vodnim lilijam, da razširijo svoje liste in povsem prekrijejo vodno površino, kar lahko zmanjšuje evaporacijske izgube. Ker zasenčijo vodni stolpec pod sabo in preprečijo vnos svetlobe, so včasih zmožni izriniti submerzne vrste, zlasti kadar je povečana motnost vode in je vnos svetlobe še dodatno zmanjšan (Haslam, 1978, cit. po Cronk, 2001). Nekatere vrste iz te skupine npr. *Nymphaea alba*, *Nuphar*, *Potamogeton* razvijejo tudi emerzne liste. Zračni listi so zmožni uspevati tudi ob znižanju vodne gladine ali celo nekaj časa preživeti brez vode – npr. ob umetnem izpraznjenju jezera (Sculthorpe, 1967, cit. po Cronk, 2001). Med vkoreninjene plavajoče vrste spadajo npr. dristavci (*Potamogeton sp.*), vodna dresen (*Polygonum amphibium*) in vodne lilije katerim pripadata lokvanj (*Nymphaea sp.*) in blatnik (*Nuphar sp.*).

### 3. Vkoreninjene submerzne vrste

Submerzne makrofitske vrste preživijo svoje celotno življenje pod vodno gladino. Izjema so le cvetenja nekaterih vrst, ki se razvijejo nad gladino. Skoraj vse koreninijo v talnem substratu, izjema je npr. navadni rogolist (*Ceratophyllum demersum*), ki prosto plava v vodnem stolpcu. Pri submerznih vrstah so fotosintetska tkiva pod vodo, listi in stebli so mehki, ne vsebujejo lignina. Listi so podolgovati in trakasti ali močno deljeni, kar jim omogoča, da se brez škode upirajo vodnemu toku. Skrajni zgornji deli rastlin ne segajo na vodno gladino, ampak se končajo tik pod njo. Vendar pa se pri nekaterih vrstah, npr. pri rmancu (*Myriophyllum sp.*) cvetovi razvijejo nad vodo, oprašuje pa jih veter ali žuželke. Pri večini submerznih vrst pa poteka prenos cvetnega prahu po vodni gladini ali pod njo. Raztopljeni kisik in ogljikov dioksid prevzemajo iz vodnega stolpca, številni so zmožni za fotosintezo koristiti raztopljen bikarbonat ( $\text{HCO}_3^-$ ). Večino nutrientov dobijo iz sedimenta, določene mikronutriente pa lahko absorbirajo tudi iz vodnega stolpca (Barko, 1980, cit. po Cronk, 2001).

#### 4. Prostoplavajoče vrste

Plavajo z listi in stebli na vodni površini. Če imajo razvite koreninice, te prosto visijo v vodi in niso usidrane v sediment, zato se lahko z vetrovi in tokovi premikajo po vodni površini. Koreninice imajo poleg tega, da absorbirajo nutriente, tudi stabilizacijsko funkcijo, da rastline vzdržujejo na vodni površini v pravilnem položaju. Ta skupina makrofitov je zelo raznolika po velikosti, obliki in vrsti habitata, ki ji ustreza. Pogost predstavnik te skupine je npr. vodna leča (*Lemna sp.*).

#### 2.2.4.2 Načini razširjanja makrofitske vegetacije in razmere v vodnem okolju

Za dobro razumevanje vloge in pomena makrofitske vegetacije ter uspešno izvajanje ukrepov, s katerimi želimo tako ali drugače vplivati na uspevanje makrofitske vegetacije, je potrebno poznati tudi načine razširjanja vodnih makrofitov. Znani so različni načini razširjanja (ang. dispersal) rastlin in sicer abiotski, kjer diaspore prenaša voda (hidrohorija) ali veter (anemohorija) ter biotski, ki vključuje prenos pelodnih zrn na živalih (epizoohorija), v živalih (endozoohorija), prenašalec diaspor pa je lahko tudi človek (antropohorija). Prenos z vetrom imajo le nekatere emerzne vrste kot sta npr. rogoz (*Typha*) in navadni trst (*Phragmites*), ima pa veter indirektni vpliv na gibanje diaspor po vodi. Najbolj običajen način razširjanja diaspor je hidrohorija, tako znotraj vodnih teles kot tudi preko vodotokov med njimi. Prenos z živalmi daje odgovor na prisotnost rastlinskih združb znotraj izoliranih vodnih teles. Semena in vegetativni deli se lepijo na kožuh živali, največkrat pa na perje vodnih ptic, ki jih potem lahko prenesejo zelo daleč. Semena nekaterih vodnih makrofitov lahko gredo skozi prebavni trakt vodnih ptic, ne da bi jim to škodovalo (npr. *Potamogeton sp.*), medtem ko se druga prebavijo (npr. *Nuphar* in *Nymphaea*). Uspešna kalitev nekaterih vodnih makrofitov pa je celo pogojena s tem, da gredo njihova semena skozi prebavni trakt živali. Prevladujoča oblika razširjanja pri vodnih makrofitih je vegetativno razmnoževanje z razraščanjem koreninskega sistema (npr. *Phragmites*, *Typha*, *Scirpus*).

Omenil sem že, da je uspevanje vodnih makrofitov močno pogojeno z globino vode. Količina svetlobe, ki je na voljo submerznim makrofitom je produkt globine in prosojnosti vode (Chambers & Kalff, 1985, cit. po Perrow, 2003). Na prosojnost vode vpliva predvsem

fitoplankton, velikokrat pa tudi fizikalni dejavniki kot so raztopljene trdne snovi ali huminske kisline. Submerznih makrofitov zato pogosto ne najdemo v jezerih, ki so izpostavljena vetru kot tudi ne v jezerih z obilo huminskih kislin. V oligotrofnih jezerih za katera je značilna zelo velika prosojnost vode pa je pogosto omejujoč dejavnik uspevanja submerznih makrofitov vodni tlak oziroma globina vode. Na emerzne makrofite vpliva voda bolj direktno, saj je z njeno višino določena razdalja med koreninskim medijem (substratom ali sedimentom) ter vodno gladino nad katero je na voljo bistveno več ogljikovega dioksida in kisika. Uspevanje emerznih makrofitov je zato pogojeno s prenosom kisika iz nadvodnih poganjkov rastline do korenin, ki se nahajajo v substratu, v katerem so koncentracije kisika zelo majhne. Večja ko je globina vode, manj učinkovit je prenos kisika po rastlini navzdol do koreninskega sistema. Pogosto so sedimenti v neizpostavljenih legah bogati z organskimi snovmi, imajo nizek redoks potencial, kar poveča potrebo po transportu kisika do korenin in tako prispeva k omejitvi maksimalne globine za uspevanje emerznih makrofitov. Razraščanje emerznih makrofitov lahko napreduje tudi v globljo vodo, vendar le, če je substrat v katerem koreninijo dovolj čvrst. Zmožnost ukoreninjenja se zmanjšuje tako z globino vode kot tudi z mehkostjo substrata. Na osnovi poznavanja globine vode oziroma konfiguracije dna in značilnosti substrata je možno napovedati porazdelitev emerznih makrofitov v jezeru.

V globljih evtrofnih jezerih, kjer je količina hranil velika, je svetloba najpomembnejši dejavnik, ki vpliva na razširjanje submerznih makrofitov. Porazdelitev submerznih makrofitov po globini je odvisna od prepusta svetlobe po vodnem stolpcu, ki pa je določen s koncentracijo fitoplanktona. V času stratifikacije je v globini edini vir kisika fotosinteza, ki pa poteka le, če svetloba seže preko termokline. V jezerih, kjer svetloba ne sega preko termokline, v globini ni nobenih virov kisika. Drugače je v plitvih jezerih, kjer se submerzni makrofiti približajo gladini oziroma segajo prav do same gladine in si tako zagotovijo potrebne svetlobne pogoje. Zato je v plitvih evtrofnih jezerih količina svetlobe po vodnem stolpcu običajno manj pomemben faktor, ki vpliva na rast vodnih makrofitov (Weisner et al., 1997, cit. po Perrow, 2003).

Naslednji primer kompeticije se pojavi ob začetku evtrofnih razmer, ko na upadanje submerzne vegetacije vpliva tudi na submerznih makrofitih uspevajoč perifiton (epifiton). V primerjavi z valovanju izpostavljenimi deli jezera, je epifitska produkcija v neizpostavljenih

delih jezera večja. Vendar pa je biomasa submerzne makrofitske vegetacije v manj izpostavljenih delih jezera manjša kot v delih, ki so izpostavljeni valovanju. Te ugotovitve nakazujejo, da je vzrok za manjšo biomaso submerznih makrofitov v neizpostavljenih legah jezera prav epifitsko senčenje. Epifiti pa na submerzne makrofite ne vplivajo samo s prestrežanjem svetlobe, ampak porabljajo tudi mineralne nutrienete in neorganski ogljik. Prihaja tudi do kompeticije med fitoplanktonom in perifitonom, ki je bolj intenzivna v prisotnosti submerznih makrofitov, ki nudijo perifitonu primerno podlago za pritrditev. Pri odstranjevanju hranil iz vodnega stolpca je pomembna tako poraba hranil perifitonskih alg kot tudi procesi nitrifikacije in denitrifikacije perifitonskih bakterij.

Prihaja tudi do herbivorega objedanja vodnih makrofitov, ki pa je odvisno predvsem od tega kako stara je rastlina, saj so objedanju bistveno bolj izpostavljene mlade rastline v začetnem obdobju rasti oziroma njihovi poganjki. Objedanje lahko bistveno vpliva na nadaljnje uspevanje vodnih makrofitov, še posebej, če pride do poškodb na steblih in je oviran ali prekinjen transport hranil in plinov med koreninskim sistemom in preostalimi deli rastline. Učinek objedanja je tako kljub relativno majhni biomasi objedenega lahko zelo velik.

Vodne makrofite lahko neposredno objedajo tudi vodni polži, vendar pa imajo na njihovo uspevanje pogosto tudi pozitiven učinek, saj s konzumacijo epifitona ustvarjajo makrofitom boljše svetlobne razmere.

Ribe neposredno prizadenejo vodne makrofite tako z objedanjem kot tudi z zmanjševanjem stabilnosti koreninskega sistema ob ritju v muljnato dno ribnika.

#### **2.2.4.3 Pomen makrofitske vegetacije**

Vloga makrofitov v vodnih ekosistemih je zelo raznolika, zato je pri ocenjevanju njihovega najpomembnejšega prispevka za ekosistem kot celoto ali za specifično skupino organizmov treba nujno upoštevati spremembe v prostoru in skozi čas. Ena od pomembnih funkcij vodnih makrofitov je blaženje abiotskih dejavnikov. Hranila, ki jih vodni makrofiti dobivajo tako iz vodnega stolpca kot tudi iz sedimenta se namreč vgrajujejo v rastlinska tkiva, ta proces pa

poteka v kompeticiji z drugimi primarnimi producenti kot sta fitoplankton in epifiton. Zaradi tega nutrienti ostajajo na tem področju. Za rastline same pa je pomembno tudi kopičenje odmrlih organskih snovi. Ker vsako leto zraste več biomase kot se je razgradi, se področje v litoralu, ki je primerno za širjenje obstoječih vrst povečuje.

Prisotnost vodnih makrofitov vpliva na gibanje vode, temperaturo, osvetljenost, koncentracijo kisika in ogljikovega dioksida, pH, sedimentacijo, motnost ipd. Hkrati pa tudi na sam sediment, oksido-redukcijske procese, vsebnost hranil in koncentracije kisika v sedimentu.

Učinek pH na vodne rastline je odvisen od puferske kapacitete vode in produktivnosti rastlin. Alge iz vodnega stolpca odstranjujejo ogljikov dioksid v procesu fotosinteze. Ta proces vpliva na ravnovesje med ogljikovo kislino ter slabše topnima bikarbonatom in monokarbonatom pri čemer se porabljajo vodikovi ioni. Te spremembe vplivajo na trdoto in pH vode. Znano je, da rast alg lahko zmanjša trdoto vodo tudi do ene tretjine. V času, ko je fotosintetska aktivnost največja, se ob porabljanju ogljikovega dioksida pH vrednost povečuje. Ko pa respiracija preseže fotosintezo, se povečuje količina ogljikove kisline in vrednost pH se zmanjšuje.

Izredno pomembna vloga vodne vegetacije je tudi uravnavanje produktivnosti in metabolizma vodnega ekosistema pri čemer je znano, da so sladkovodne vegetacijske združbe med najbolj produktivnimi na svetu.

Wetzel primerja litoralno floro s presnovnim sitom, saj iz prispevnega območja stekajoča voda vsebuje anorganska hranila in organske snovi pri čemer pride pri toku vode skozi vegetacijo do izrazitih sprememb v kemijski sestavi vode. V primeru, da je vnos škodljivih snovi prevelik, je puferska kapaciteta makrofitske vegetacije presežena, kar se odraža v slabši kakovosti vode (Wetzel, 1979). Po drugi strani pa lahko zaradi mobilizacije nutrientov iz sedimenta in sproščanja nutrientov po propadu rastlin povzročijo tudi evtrofnost sistema. Znižanje biomase makrofitov v določenem ekosistemu vodi do zmanjšanja števila mest, primernih za drstenje in zavetje ribjim mladim, zato se populacija rib zmanjša.

Prisotnost submerznih makrofitov učinkovito pospešuje usedanje delcev in zavira dviganje mulja (resuspenzijo) kar pride še posebej do izraza na plitvejših delih jezera, ki so izpostavljeni delovanju vetra in valovanju. Vodni makrofiti stabilizirajo sediment, zmanjšujejo sproščanje hranilnih snovi v vodni stolpec in tako vplivajo na zmanjšanje evtrofnih procesov. S svojo dekompozicijo prispevajo k strukturi jezerskega sedimenta, v sedimentu živečim organizmom pa zagotavljajo vir hranilnih snovi.

Nekateri submerzni makrofiti kot sta npr. rogolist (*Ceratophyllum*) in rmanec (*Myriophyllum*) pa z izločanjem posebnih kemijskih snovi kot so polifenoli in žveplove spojine zavirajo rast fitoplanktona.

V evtrofnih jezerih služi makrofitska vegetacija kot zatočišče pelagičnim vrstam zooplanktona (npr. *Daphnia sp.*) pred plenjenjem rib. Ponoči, ko je tveganje, da postanejo plen, manjše, se zooplankton seli v prosto vodo. Zatočišča med makrofiti povečujejo intenzivnost objedanja fitoplanktona kar posledično prispeva k večji prosojnosti vode in tudi k izboljšanim svetlobnim razmeram za rast vodnih makrofitov.

Okolje vodnih makrofitov je tudi velikega pomena za številne druge organizme kot vir hrane in bivališče (ribe, ptice, mehkužci, nevretenčarji) ali skrivališče pred plenilci (ribe, zooplankton). Submerzna makrofitska vegetacija nudi ugodne razmere ribojedim vrstam rib, medtem ko njihova odsotnost pomeni boljše razmere za zooplanktivore vrste rib. Ščuka (*Esox lucius*) je npr. vezana na submerzne makrofite, hkrati pa s predacijo uspešno nadzoruje številčnost ciprinidov. Vendar pa je tovrsten način kontrole številčnosti ciprinidov možen le, če vsaj 30 do 50% površine plitvega dela jezera pokriva makrofitska vegetacija (Grimm & Backx, 1990, cit. po Perrow, 2003). Nekateri vrste ptic so vezane na prav določen tip vodne vegetacije, zato ima lahko odstranitev te iste vegetacije za posledico tudi izključitev nekaterih vrst ptic iz jezerskega ekosistema. Na vodne makrofite so vezani tudi zgodnji razvojni stadiji nekaterih velikih školjk kot je npr. jezerska brezzobka (*Anodonta cygnea*).

V plitvih jezerih imajo makrofiti pomemben vpliv na prehranski splet, strukturo združbe in dinamiko nutrientov ter na abundanco in sestavo fitoplanktona. Zato igrajo pomembno vlogo



pri obnovitvi degradiranega sistema. Pomembni so predvsem takrat, ko prerastejo večji del površine, preprečijo razvoj fitoplanktonu in povzročijo upadanje koncentracije nutrientov v vodnem stolpcu, ker povečujejo denitrifikacijo.

Nenazadnje makrofitska vegetacija kot pomembna sestavina jezerskega ekosistema prispeva k krajinski podobi okolja, biotski pestrosti estetski vrednosti. Še posebej velika pa je njihova vloga v samočistilnih procesih, pri katerih gre v prvi vrsti za biokemijsko razgradnjo organskih snovi, predvsem nitratov in fosfatov.

#### **2.2.4.4 Preskok od prevlade makrofitov k prevladi fitoplanktona**

V plitvih jezerih so obremenitve s fosforjem in dušikom pomembne tudi v nizkih koncentracijah. Ravnotežje med makrofiti in algami oziroma fitoplanktonom je lahko vzpostavljeno pri koncentracijah nutrientov v širokem razponu. Če so v plitvih jezerih koncentracije hranil nizke (npr. 25  $\mu\text{g}$  celotnega P/l) z visokim razmerjem N:P, so v prevladi submerzni makrofiti. V plitvih jezerih, ki vsebujejo z apnencem bogato vodo, so v oligotrofnih razmerah običajne preslicam podobne alge hare (*Charophyceae*), ki preraščajo peščeno ali muljasto dno in so občutljive na senčenje. Vendar pa je učinek senčenja fitoplanktonskih združb pri tako nizki vsebnosti hranil dokaj majhen. Ko pa se koncentracije fosforja in dušika povečajo, združbo teh rastlin zamenja večja submerzna vegetacija kot je npr. rmanec (*Myriophyllum sp.*) in številne vrste dristavcev (*Potamogeton sp.*), nastopijo tudi ugodne razmere za lokvanj (*Nymphaeaceae*). Večja submerzna vegetacija je bolj produktivna in izrablja večino hranil iz sedimenta. Čeprav koncentracije fosforja zaradi zunanjih obremenitev naraščajo še naprej, običajno ostaja dušik limitirajoči dejavnik tako za submerzne makrofite kot tudi za fitoplankton, saj je njegova biološka izraba velika, izgublja pa se v procesih denitrifikacije. Ne glede na to, da se združbe fitoplanktona povečujejo oziroma razraščajjo v kolikor so jim na voljo zadostne količine hranil, lahko ob njih uspevajo tudi nekateri agresivni, evtrofni submerzni makrofiti, ki imajo fotosintetska tkiva postavljena tik pod vodno gladino. Ravnotežje med makrofiti in fitoplanktonom je vzpostavljeno pri koncentracijah fosforja od manj kot 10 do več kot 1000  $\mu\text{g/liter}$ , preskok v prevlado fitoplanktona pa se navadno zgodi dokaj hitro, pogosto so povsem izločeni submerzni

makrofiti. Ta preskok se zgodi ne glede na koncentracije celotnega fosforja v vodi oziroma ga poleg sprememb v koncentraciji hranil v vodi lahko povzročijo tudi drugi dejavniki. Za vzdrževanje razmer, ki omogočajo prevlado submerznih makrofitov so poznani naslednji mehanizmi:

1. Geomorfološke razmere kot je npr. okoliško hribovje ali drevje zmanjšujejo vpliv valovanja in tokov, ki bi dvigovali mulj in povečevali nebiološko kalnost.
2. Submerzni makrofiti s porabljanjem fosforja in dušika prispevajo k zmanjšanju njunih količin, ki so na voljo fitoplanktonu in perifitonu. Submerzni makrofiti koristijo fosfor, ki je naložen v sedimentu. V anoksičnih delih sedimenta prihaja do procesov denitrifikacije pri čemer se del dušika izgublja v atmosfero.
3. Submerzni makrofiti nudijo zatočišče večjim zooplanktonom kot je *Daphnia* in drugi raki (*Crustaceans*). Le-ti z objedanjem vršijo pritisk nad fitoplanktonom ter tako uravnavajo litoralne združbe fitoplanktona in njihovo biomaso.

V plitvih jezerih pogosto prihaja do razmer, ki vodijo v prevlado fitoplanktona, v katerih je rast submerznih makrofitov zatrta ali so le-ti povsem izrinjeni iz vodnega ekosistema. V to stanje privedejo različni mehanizmi kot so:

1. Razvoj obsežnih fitoplanktonskih združb, ki s submerznimi makrofiti tekmujejo večinoma za svetlobo pa tudi za nutriente kot je neorganski ogljik. To stanje pride še posebej do izraza pri razvoju majhnih in cianobakterijskih vrst alg za katere je značilna visoka absorpcija svetlobe. Zaradi zmanjševanja objedanja velikih zooplanktonov zgodnji razvoj fitoplanktona občutno zmanjša prepust svetlobe, ovirana sta rast makrofitov in njihov razvoj iz prezimljenih propagul ali semen.
2. Če so majhna jezera izpostavljena delovanju vetra, pride običajno do premešanja vodnih mas in dviganja površinskega sedimenta iz dna jezera. Zaradi povečane kalnosti je zmanjšan prepust svetlobe, sproščen "kosmičast" sediment pa za naselitev makrofitov predstavlja neugoden substrat.
3. Odsotnost submerznih makrofitov omeji možnosti za skrivanje večjim zooplanktonom, ki so prehransko vezani na fitoplankton. Če je v jezeru večina rib zooplanktivorih, se z zmanjšanjem populacij vodnih bolh (*Cladocera*) in rakov

ceponožcev (*Copepoda*) zmanjša tudi objedanje fitoplanktona. Številne ribojede vrste rib so tudi slabo prilagojene na habitat brez makrofitske vegetacije med katero kot vir prehrane najdejo vodne makroinvertebrate ali se kot ribje mladice zatečejo vanjo pred plenilci. Postopoma se zmanjšuje reprodukcija ribojedih vrst, povečuje pa se številčnost zooplanktivorih rib.

S tem ko naraščajoča gostota fitoplanktonskih združb postopno zmanjšuje količino svetlobe se zmanjšuje tudi debelina trofogene cone. Zato je produktivnost na enoto površine v hiperevtrofnih razmerah običajno manjša kot v manj produktivnih jezerih, v katerih sega trofoga cona bolj globoko.

Do hitrega prehoda od prevlade submerznih makrofitov v prevlado fitoplanktona pa lahko pride tudi še zaradi nekaterih drugih sprememb. Vnos nekaterih vrst velikih rib, ki si v detritusu iščejo hrano npr. krap (*Cyprinus carpio*) in ploščič (*Abramis brama*), lahko z odkrivanjem sedimenta bistveno povečata kalnost vode. Tudi dovolj velika številčnost belega amurja (*Ctenopharyngodon idella*) lahko močno zmanjša ali včasih celo povsem uniči submerzne makrofite v plitvih vodah. Submerzne makrofite nadomesti povečana biomasa fitoplanktona. Na vodno vegetacijo imajo vpliv tudi vretenčarji kot so npr. nekatere herbivore vrste na vodo vezanih ptic, pa tudi sesalci kot sta npr. nutrija (*Myocaster coypus*) in pižmovka (*Ondatra zibethica*). Določen vpliv na submerzne makrofite ima lahko tudi človek npr. z uporabo herbicidov, ki se izpirajo v vodna telesa, z odstranjevanjem vegetacije ali posredno s čezmernim odlovom ribojedih vrst rib. Vsi ti dejavniki in še nekateri drugi kot so npr. selektivni zimski pomori bolj občutljivih ribojedih vrst rib, lahko povzročijo, da prvotno vegetacijo submerznih makrofitov zamenja prevlada fitoplanktona.

### **2.3 Evtrofni procesi v jezerih**

Splošno razširjen in ključni problem vseh naravnih in umetnih stoječih celinskih voda je njihovo pospešeno staranje – evtrofikacija, ki jo povzroča prekomeren vnos hranilnih snovi, zlasti fosforja in dušika, iz točkovnih in razpršenih virov (komunalne in industrijske odpadne vode, razpršeno onesnaževanje iz kmetijskih zemljišč) na hidrografskih območjih. Ob povečani količini hranil in preseženi samočistilni sposobnosti, se zveča bioprodukcija

nekaterih alg tako močno, da začne presežek, ki ga ne izkoristijo živali kot hrano, gniti in se usedati na dno. Zaradi čezmernega vnosa raztopljenih in partikularnih organskih in anorganskih snovi v jezero, se zmanjšuje vodni volumen jezerske kotanje. Širitev litoralnega predela vodi v povečan razvoj visoko produktivnih vodnih makrofitov in pospešeno notranje obremenjevanje z organskimi snovmi. V primeru ugodnih razmer govorimo o akutni evtrofikaciji, če pa ugodnih razmer za rast ni, govorimo o latentni evtrofikaciji. Osnovni abiotiski faktorji za nastop evtrofikacije so svetloba, temperatura vode, atmosferski plini, hranila in pretočni časi. Tudi pri evtrofikaciji ločimo naravno evtrofikacijo (staranje jezer), ki poteka ves čas v naravi in umetno (antropogeno), ko človek vpliva s svojimi posegi v hidrosfero.

Jørgensen (Jeffris, 1980) omenja, da do evtrofikacije pride potem, ko je izčrpana puferska kapaciteta jezerskega ekosistema za blaženje presežnih obremenitev s hranili, zlasti s fosforjem in dušikom.

Harper (1992) (Wetzel, 2001) razlaga evtrofikacijo kot "biološki učinek povečanih koncentracij hranil, največkrat dušika in fosforja, včasih tudi silicija, kalija, kalcija, železa ali mangana v vodnih ekosistemih".

Angleška revija *The UK Environment* pa kot evtrofne vode označuje tiste, v katerih je količina hranil tako velika, da rast alg ni več omejena.

OECD opredeljuje evtrofikacijo predvsem z vidika rabe vode in sicer kot "obogatitev vode s hranili, ki se odraža kot spodbujanje vrste simptomatskih sprememb, med katerimi najdemo predvsem povečano produkcijo alg in makrofitov, poslabšanje kakovosti vode in druge simptomatske spremembe, ki veljajo za nezaželjene in ovirajo rabo vode". Potencialni vplivi na rabo vode se nanašajo na oskrbo z vodo, rekreacijo ali namakanje.

Ob relativno visokih obremenitvah s fosforjem, dušikom in tudi drugimi manj kritičnimi nutrienti se značilno poveča planktonska produktivnost na enoto volumna vode, trofogeni sloj pa se zaradi omejene svetlobe zmanjša. Znižanju globine trofogenega sloja sledi

intenziven proces evtrofikacije, zaradi velike gostote fitoplanktona se poveča motnost vode. Sčasoma planktonske populacije zasenčijo same sebe do take mere, da v naravnih svetlobnih razmerah nadaljnje povečevanje planktona ni več možno. Planktonska produkcija doseže stopnjo, pri kateri se začne postopno odmiranje, ki se nadaljuje do popolnega odmrtja v procesu sedimentacije. V epilimniju nastala organska snov tone in se razgrajuje s pomočjo akceptorjev elektronov ( $O_2$ ,  $NO_3^-$ ,  $MnO_2$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $SO_4^{2-}$ ,  $CO_2$  in organske molekule z majhnimi molekulskimi masami) v spodnjem delu vodnega stolpca (hipolimniju). Oksidacija s kisikom je najbolj energetska reakcija in do nje pride najprej. Ko se kisik porabi, pride do denitrifikacije, nato do redukcije manganovih oksidov, nitrata in železovih oksidov, sulfatne redukcije ter nastanka metana. Pri razgradnji organske snovi nastajajo reducirane oblike ( $N_2$ ,  $Mn^{2+}$ ,  $NH_4^+$ ,  $Fe^{2+}$ ,  $H_2S$  in  $CH_4$ ), kar privede do pojava hipoksičnih ali celo anoksičnih razmer v hipolimniju. Ta pojav je značilen za visoko produktivna jezera, kjer je preskrba akceptorjev elektronov znatno omejena. Tudi v prisotnosti kisika lahko v teh okoljih prevladujejo anaerobni procesi, saj porabljajo kisik mikroorganizmi za oksidacijo  $CH_4$ ,  $H_2S$  in  $NH_4^+$ , nastalih med razgradnjo organske snovi. Pomanjkanje kisika v hipolimniju tudi upočasni razgradnjo organske snovi, zato se na jezerskem dnu in v sedimentu le-ta kopiči. S procesom evtrofikacije je tako povezano spreminjanje fizikalno-kemijskih lastnosti vodnega stolpca, ki določajo trofično stanje jezera in na osnovi katerih ločimo ultra-oligotrofna, oligotrofna, mezotrofna, evtrofna in hiperevtrofna jezera (OECD, 1982). Zaporedje navedenih trofičnih stopenj predstavlja ontogenetski razvoj posameznega jezera.

Če je vnos hranilnih snovi velik, so spremembe v jezerskem ekosistemu hitre in korenite, prizadetost ekosistema pa se kaže v spremembi števila rastlinskih in živalskih vrst oziroma spremembi trofičnega stanja jezera. Evtrofikacija je torej naravni proces, ki ga človek s svojo intenzivno dejavnostjo v povodju jezer znatno pospešuje.

V evtrofnih in mezotrofnih jezerih zmernih globlin in z majhno površino neredko pride do biološko povzročene meromikcije, ko v jesenskem času ne pride do popolnega premešanja vodnih mas. Na ta proces imajo določen vpliv tudi oblika jezerske kotanje, meteorološki dejavniki in produktivnost jezera. Če je preprečena ponovna porazdelitev s hranili bogate hipolimnijske vode po celotnem vodnem stolpcu, se produktivnost jezera zmanjša, vendar je običajno tako stanje le začasno.

Kljub geografsko in biološko pogojenim razlikam med jezerskimi ekosistemi ima evtrofikacija v večini vodnih teles enako podobo. Zaradi raznolikosti virov fosforja in dušika po svetu je globalni obseg tega problema velik, težavna sta tudi nadzor in odpravljanje posledic. Viri vnosa hranil so lahko točkovni (ang. point source) ali pa razpršeni (ang. diffuse source). V nadaljevanju podajam pregled najbolj pogostih virov obremenitev s hranili.

1. Odpadne vode: Svetovno gledano prispevajo pomembnejši delež k obremenitvam s hranili. To so lahko veliki izpusti iz urbanih naselij ali lokalni točkovni viri kot so npr. slabo vzdrževane greznice. Da bi odstranili grobo organsko onesnaženje in potencialne nevarnosti za razvoj bolezni, so bile zgrajene številne čistilne naprave. Izpusti iz primarne in sekundarne faze čiščenja so sicer varni, vendar še vedno obremenjeni s hranili. Je pa mogoče fosfor uspešno odstranjevati v okviru terciarnega čiščenja, ki pa se praviloma le redko izvaja.
2. Gnojenje: Kmetijska gnojila, večinoma dušik in fosfor, se uporabljajo za povečevanje pridelka. S prekomernim gnojenjem se neporabljena dušik in fosfor izpirata v vodotoke. Še večji problem je vnos hranil v podzemne vode in podtalnico. Ker hranilne snovi počasi pronicajo v globino, se v podzemni vodonosnik izločajo še dolgo po prenehanju gnojenja. Vodotoki, ki tečejo blizu kmetijskih površin so podvrženi onesnaženju iz tega razpršenega vira, viri pitne vode na takem območju pa so podvrženi onesnaženju z dušikovimi spojinami.
3. Detergenti: To so čistilna in pralna sredstva, ki vsebujejo fosforjeve komponente. V svetu se v površinske vode še vedno steka na milijone ton fosfatov, ki izhajajo iz sintetičnih detergentov, ki bi jih bilo mogoče nadomestiti s takimi brez vsebnosti fosforja, pri čemer se učinek čiščenja ne bi zmanjšal.
4. Odvodnja padavinskih voda: Padavinske vode, ki odtekajo s cestišč in pozidanih urbanih območij vsebujejo veliko različnih polutantov med katerimi zavzemajo precejšen delež organski ostanki bogati z nutrienti. Vodotoki, ki tečejo skozi urbana območja in stoječe vode znotraj urbanih območij so zato pogosto evtrofni.
5. Točkovni viri: Vode močno ogroža onesnaževanje s točkovnih virov kot so npr. izpusti iz živinorejskih farm, kmetij, klavnic, mlekarn ipd. Še posebej veliko hranil

vsebuje silažni sok, ki je v tem pogledu dva do trikrat močnejši onesnaževalec kot gnojevka.

6. Spiranje površja: Na evtrofne procese vpliva spiranje hranil po naravni poti iz zemlje in iz odmrlih rastlinskih ostankov. Zaradi razgradnje organskih ostankov iz kopnega, se v globoki vodi razvijejo anoksične razmere in evtrofnost.
7. Iztrebki ptičev: K vnosu hranil, predvsem fosforja in dušika, lahko s svojimi iztrebki prispevajo tudi vodne ptice. Za tovrstne obremenitve so značilna sezonska nihanja, ki so povezana z vedenjskimi in migracijskimi vzorci na vodne in obvodne habitate vezanih ptic.

V večini naravnih vodnih teles so koncentracije hranil nizke, mikroflora v njih pa je prilagojena za učinkovito in hitro porabljanje razpoložljivih hranil. V celinskih vodah je najpogostejši omejitveni dejavnik fosfor, lahko pa je tudi kateri drugi. Odzivi na povečan vnos limitirajočega hranila so zato ponavadi zelo hitri in se kažejo kot močno povečana produkcija na nižjih trofičnih nivojih sistema. Pride tudi do sprememb v vrstni sestavi s splošnim znižanjem vrstne raznolikosti. Značilno je postopno zmanjševanje v številu vrst planktona in diatomej, cianobakterije in enocelične zelene alge pa po preskoku iz oligotrofnega v evtrofno stanje prevladajo. Poveča se tudi epifitska združba. V začetku se običajno poveča biomasa makrofitov, ki pa potem ob visokih koncentracijah hranil začne upadati, ker jo v kompeticiji za svetlobo izrinejo zelene alge. Če je na začetku limitirajoči nutrient kar naenkrat na voljo v dovolj velikih količinah, da zadovolji celotne potrebe po njem, postane tako limitirajoči kateri od drugih nutrientov. Ob upoštevanju tega pa je z uravnavanjem vnosov oziroma razpoložljivosti nutrientov možno nadzorovati produktivnost.

Obsežnost in raznolikost jezerskih ekosistemov, ki so podvrženi evtrofnim procesom, se kaže tudi v številnih poznanih načinih preprečevanja in odpravljanja evtrofnosti. Obstajata dva pristopa in sicer zdravljenje simptomov ter odpravljanje vzrokov. Simptomatsko zdravljenje je privlačno, ker je kratkoročno gledano poceni, vendar pa ne odpravlja vzrokov. Dolgoročno gledano je zato sigurno bolj smiselno in največkrat tudi stroškovno ugodnejše odpravljati vzroke kot pa le blažiti posledice. V nadaljevanju povzemam najbolj pogosto uporabljene načine zmanjševanja evtrofikacije.

1. Ustavitev vnosa hranil v sistem:

- (a) To je možno doseči z zmanjševanjem sproščanja iz razpršenih virov, kar npr. pomeni:
- zmanjšanje uporabe gnojil v kmetijstvu,
  - čiščenje točkovnih virov onesnaževanja pred izpustom,
  - čiščenje oz. odstranjevanje hranil iz obremenjene vode, ki se že nahaja v sistemu ter vračanje očiščene vode nazaj v sistem.
- (b) V določenih primerih se povsem prepreči dotok s hranili bogate vode v občutljiv jezerski ekosistem, kar je še posebej smiselno v primerih, ko na hranilno bogatih dotokih ni mogoče čiščenje.
- (c) Preskrba s popolnoma novim vodnim virom, npr. iz nove vrtine ipd.

2. Odstranjevanje ali zmanjševanje nutrientov, ki so že v sistemu

- (a) To običajno pomeni:
- fizično odstranjevanje sedimentov, ki delujejo kot notranji vir sproščanja hranil,
  - odstranjevanje makrofitske vegetacije,
  - uporaba živalstva kot mehanizma za izločanje in vezavo hranil, ki se tako porabijo ali se jih odstrani.
- (b) Količino hranil je mogoče uspešno znižati tudi:
- z odvajanjem hipolimnijske vode,
  - z razredčenjem z dovodom čiste vode,
  - z ozračevanjem, da se preprečujejo anoksije,
  - destratifikacijo oziroma umetno povzročenim kroženjem vode.

Pri vseh teh načinih gre v bistvu za povrnitev abiotskih pogojev, ki blažijo učinke evtrofikacije.

3. Povrnitvijo biotskih pogojev, ki zavirajo evtrofne procese.

Če gre pri evtrofikaciji za prehod jezerskega ekosistema v drugačno stanje in poteka to napredovanje v novo stanje po naravni poti, je mogoče vzpostaviti prejšnje razmere z



biomanipulacijo rastlin in živali. Pri tem gre za poskus ponovnega vzpostavljanja neevtrofnega naravnega ravnovesja med algami in makrofiti, čemur rečemo biomanipulacija.

### 2.3.1 Značilnosti oligotrofnih jezer

Za oligotrofna jezera z nizko produktivnostjo so velikokrat značilni majhni vnosi anorganskih hranil iz zunanjih virov. Običajno so taka jezera relativno velika, globoka in imajo veliko razmerje med hipolimnijskim in epilimnijskim volumnom. Zaradi nastalih majhnih količin organskih snovi je omejena tudi njihova razgradnja, v hipolimnijski plasti ostajajo oksične razmere, sproščanje hranil iz sedimenta pa je majhno. Oligotrofne razmere se lahko vzdržujejo z vrsto značilnosti, ki vključujejo:

1. Nizek vnos hranil iz zunanjih virov, še posebej fosforja in dušika.
2. Geomorfološke razmere številnih oligotrofnih jezer, ki pogosto onemogočajo obsežen razvoj visoko produktivnih močvirskih in obrežnih združb višjih rastlin in pritrjene mikroflore.
3. Nizka produkcija fitoplanktona, ki je pogojena s številnimi, med seboj povezanimi dejavniki kot so:
  - nizek vnos nutrientov iz zunanjih virov,
  - večja velikost in globina oligotrofnih jezer ter premešanje plasti po globinskem profilu,
  - razmerje ogljika in fosforja (C:P), ki se ob povečani svetlobi poviša, kar spodbudi razvoj fitoplanktona, kasneje pa tudi razvoj in rast zooplanktonov ter njihovo objedanje.
4. Razgradnja nastalih organskih snovi poteka v oksičnih razmerah, pot usedanja snovi pa je zaradi globine počasna, obremenitve sedimenta z nutrienti so majhne kar velja tako za pelagialne kot tudi za litoralne predele jezera.
5. Nizka vsebnost raztopljenih organskih snovi zaradi majhne avtotrofne produkcije in velika prosojnost vode, ki prispeva k povečanju intenzivnosti in globine fotolitične razgradnje iz prispevnega območja vnesenih huminskih snovi.
6. Zaradi omejene količine hranil in raztopljenih anorganskih snovi je razgradnja alg in drugih partikularnih organskih snovi majhna.

7. Posledično je omejena tudi sinteza organskih mikronutrientov, ki so nujno potrebni večini planktonskih alg. Esencialni mikronutrienti, posebno železo, se namreč v oligotrofnih razmerah manj učinkovito sproščajo iz organskih komponent.

Če se v oligotrofnem jezeru obremenjevanje s hranili povečuje, se hitro poveča tudi njegova produktivnost. Podobno, če gre za kratkotrajno motnjo (npr. kratkotrajno trajanje povečanega vnosa hranil) poteka kroženje hranil hitreje, ekosistem si kmalu opomore, produktivnost pa se zmanjša proporcionalno z zmanjšanjem obremenitve.

### **2.3.2 Značilnosti evtrofnih jezer**

Presežen vnos nutrientov v jezerskem ekosistemu sproži zaporedje dogodkov, ki si sledijo po značilnem vzorcu. Čeprav ne potekajo v vseh jezerih ti dogodki enako, je vseeno mogoče povzeti splošen vzorec, ki velja za večino jezer v zmerno toplen pasu.

1. Spremeni se vrstna sestava alg, tako fitoplanktonskih kot perifitonskih, predvsem pa se poveča njihova produktivnost. Razširijo se vrste, ki lahko učinkovito izrabljajo novo nastale razmere. Poveča se motnost vode, podnevi prihaja do prenasičenosti s kisikom in do anoksij ponoči ali v času razgradnje cvetov alg, ko te odmrejo. Nekatere vrste, predvsem cianobakterije, proizvajajo toksine in z napredovanjem evtrofikacije postajajo vse bolj dominantne.
2. Povečan vnos nutrientov povzroči spremembo makrofitskih združb. Nekatere tolerantne vrste ob povečanem vnosu nutrientov na začetku lepo uspevajo, kasneje pa se čezmerno razrastejo in uspevajoče na velikih površinah prevzamejo vlogo nezaželenih vrst. Povečana motnost, cvetenje alg, anoksija in spremembe v sedimentih sčasoma postanejo škodljive celo za tolerantne vrste. Velike izgube makrofitske vegetacije s samo nekaj preostalimi emerznimi vrstami ali nobene od njih, označujejo evtrofične habitate.
3. Prihaja do sprememb v sedimentih. Povečan vnos nutrientov je pogosto v povezavi s povečanim vnosom trdnih neraztopljenih delcev, ki pospešujejo sedimentacijo.

Pogosta značilnost je nestabilno in anoksično jezersko blato, ki nastaja z odmiranjem fitoplanktona in razgradnjo makrofitov, pogosto v anoksičnih razmerah.

4. Spremeni se tudi živalstvo. Čeprav nekaterim vrstam nove razmere s povečano razpoložljivostjo hrane ustrezajo in imajo lahko tudi visoko produktivnost, se na splošno njihova vrstna diverziteteta zmanjša. Vzrok so deloma spremenjene kemijske razmere v vodi, anoksije, deloma pa tudi spremenjene razmere na nivoju alg in vodnih makrofitov. Živalstvo med drugim prizadenejo predvsem zmanjšanje makrofitske vegetacije in posledično izguba kritja, ki jim ga le-ta nudi. Ko populacije nekaterih vrst začnejo upadati, ima to vpliv tudi na druge trofične nivoje in prehranjevalna veriga se lahko zruši. V bentalni favni profundala prevladajo hironomidske ličinke (*Chironomidae*) in maloščetinci (*Oligochaeta*). Sčasoma so prizadete tudi ribe, občutljive komercialne vrste rib izginejo, in če že ostanejo kakšne, so to manj pomembne vrste rib, ki so za prehrano ljudi običajno neprimerne. V ekstremnih primerih (hiperevtrorne vode) pride lahko zaradi anoksij do pomorov rib. Za take dogodke obstaja največje tveganje v poletnih jutrih, ko ponoči obilje fitoplanktona za lastno respiracijo porabi ves kisik. Kritične so lahko tudi dolge in hude zime, ko na zaledenelo vodno površino plitvih jezer zapade sneg in primarni producenti porabijo zaloge kisika, fotosinteze pa zaradi pomanjkanja svetlobe niso zmožni.
5. Poleg bioloških sprememb se izrazito spremeni tudi celoten videz in krajinska privlačnost jezera. Močno evtrofizirane vode dobijo videz, ki spominja na gosto grahovo juho (Jeffris, 1990). Možni so tudi negativni vplivi na okolico jezera – npr. škodljiv in neprijeten vonj, ki se razvije iz cianobakterijskih populacij in aktinomicetnih gliv. Nekateri cianobakterijski cvetovi lahko učinkujejo toksično na različne živalske in rastlinske vrste.

### 2.3.3 Hiperevtrorni sistemi

Evtrofikacija je prepoznavna skupina procesov in simptomov, vendar so lahko včasih razmere, ki se razvijejo, znatno bolj ekstremne. Tako stanje označimo kot hiperevtrorno. Za take vode so značilna velika nihanja v vsebnosti kisika, pomori rib, škodljivo cvetenje alg in cianobakterij. Prihaja do velikih sezonskih ali celo dnevnikih nihanj v kvaliteti vode in produktivnosti. Primeri hiperevtrornih sistemov so običajno jezera z velikim in

nenadzorovanim vnosom hranil, ribniki v katerih poteka intenzivna vzreja rib ter lagune za čiščenje odpadnih voda. Medtem ko je za evtrofne vode velikokrat mogoče v naprej predvideti razvoj značilnih pojavov, predstavljajo hiperevtrofne vode prehod v nestabilen in kaotičen režim. Značilna so neredna in ekstremna nihanja ter izredno velika produktivnost dominantnih vrst. Vsebnost kisika je pogosto zelo visoka, s stopnjo nasičenja do 200 %, kar predstavlja nevarnost za ribe. Zaradi visokega vnosa hranil, ostanejo le-ta neporabljena, kljub maksimalni rasti vegetacije. Ker ne pride do omejitve hranil, se prekomerno razmnoži fitoplankton, pogosto prihaja do stalnih cvetenj alg. Velikokrat so močno prisotne tudi populacije cianobakterij, ki pa včasih, glede na spreminjanje razmer, nihajo tudi iz ure v uro.

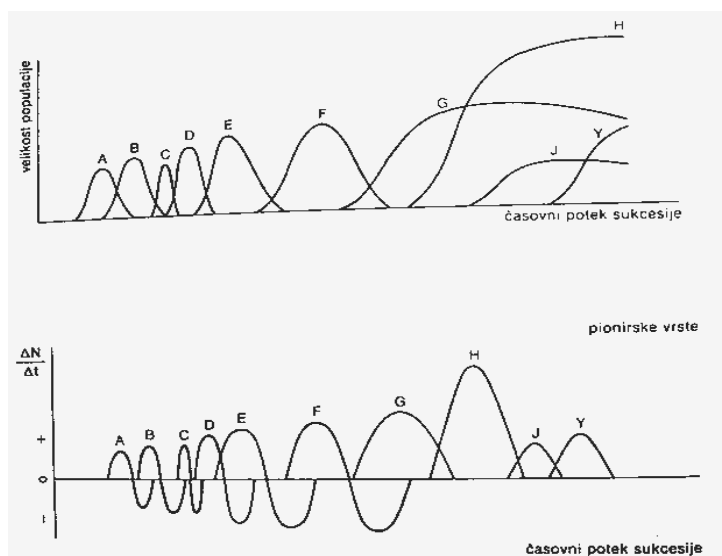
## **2.4 Sukcesijski proces**

V primeru umetno ustvarjenih vodnih okolij kot so zajezitve potokov oz. vodne akumulacije običajno nikdar ne pride do popolnega ekološkega ravnotežja med vsemi dejavniki okolja in vsemi živimi bitji, kar se je v naravnih ekosistemih zgodilo v tisočletnem razvoju. Zaporeden razvoj vodnih združb in postopno zaraščanje sta tako normalna pojava v vseh naravno stoječih vodah in potekata povsod kjer človek tega ne preprečuje. V nadaljevanju sem poskušal predstaviti osnovne zakonitosti sukcesijskega procesa in dinamiko njenega poteka v jezerskih ekosistemih.

Že v prejšnjih poglavjih sem predstavil nekatere primere kompeticijskih odnosov med posameznimi življenjskimi združbami in časovno spreminjanje velikosti populacij znotraj jezerskega ekosistema. Sistem ni stabilen, saj teži k povrnitvi v izhodiščno stanje, torej k prehodu nazaj v terestrični oz. kopenski ekosistem.

Vrstni sestav življenjske združbe se časovno spreminja. Posamezne vrste iz združbe izginjajo in vanjo vstopajo druge. Spremembe združb potekajo zaradi spontanosti v naseljevanju zvezno. Ker pa jih opazujemo v časovnih presledkih, se kažejo v preskokih ali zaporedju posameznih faz. Govorimo o ekoloških sukcesijah ali ekološkem zaporedju. Smer razvoja gre od preprostejše organiziranosti, ki se odraža v majhni raznovrstnosti, v raznovrstno in

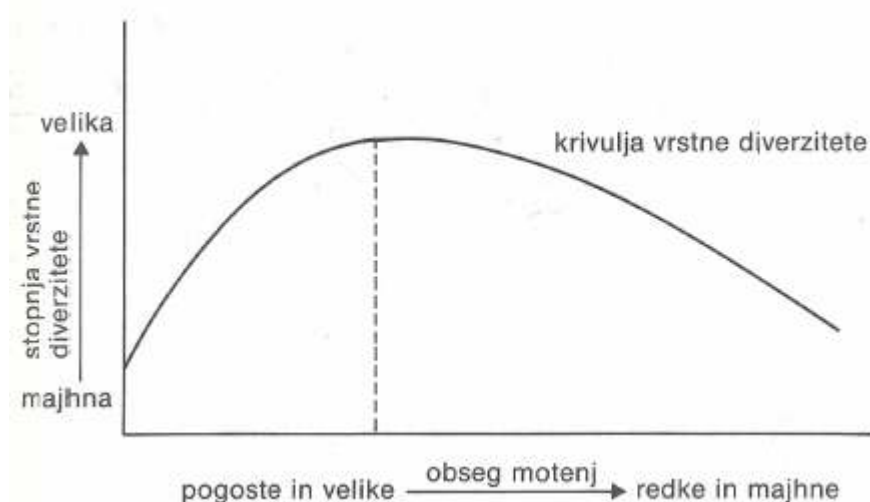
zapleteno združbo. Pravilnost in ponovljivost sukcesijske poti v danem okolju govori o povezanosti interspecifičnih procesov z abiotičnimi dejavniki v okolju.



Slika 5: Shema sukcesijske zamenjave vrst od A do J. A – Spreminjanje velikosti populacij v poteku sukcesije. B – Rast populacij v poteku sukcesije. Pionirske vrste po negativni rasti izumirajo, vrste, ki jim sledijo pa dosežejo ravnovesje, ko njihova rast doseže vrednost 0 (Naughton in Wolf, 1973, cit. po Tarman, 1993).

Med vsako sukcesijo potekata vzporedno dva procesa: spreminjanje združbe, to je proces priseljevanja novih in kompeticijskega izključevanja že prisotnih vrst, ter sočasno spreminjanje fizičnega okolja. Smer razvoja gre od preprostejši organiziranosti, ki se odraža v majhni raznovrstnosti, v raznovrstno in zapleteno življenjsko združbo. Število vrst, ki vstopajo v združbo, se med sukcesijo povečuje. V vrstni sestavi posameznih stadijev se vse manj kaže vpliv abiotskih dejavnikov, vse bolj pa se zastruje kompeticija, torej biotske interakcije. Vrste, ki začnejo sukcesijo, imenujemo pionirske. Njihova značilnost je kratkoživost, velik razmnoževalni potencial in velika sposobnost razširjanja, kar so značilnosti vrst s strategijo življenja r. Zadnjo stopnjo sukcesije imenujemo klimaks ali zrela združba in vrste, ki jo sestavljajo, klimaksne vrste. To so dolgožive, kompeticijsko močne vrste, z majhnim razmnoževalnim potencialom, kar so značilnosti vrst s strategijo življenja K. Pionirske združbe so ponavadi slabi kompetitorji. Med pionirsko in klimakšno stopnjo si sledijo združbe, ki imajo vedno manj pionirskih in več klimakšnih vrst. V začetku poteka izmenjava vrst zelo hitro, z napredovanjem sukcesije pa se proces izmenjave vrst upočasni in preneha, ko združba doseže končno zrelo stanje, ki ga imenujemo klimaks. Med sukcesijo

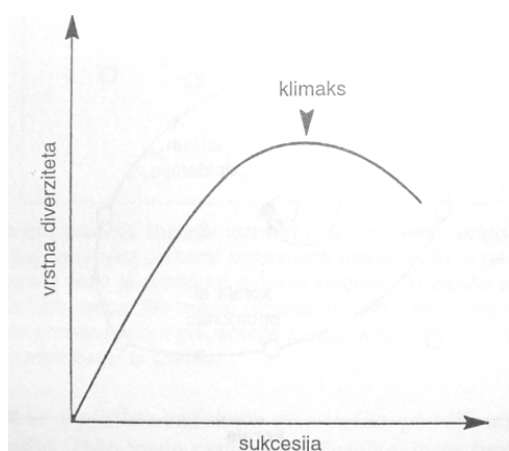
primarna neto produkcija (PN) ves čas narašča, prav tako pa je v sistemu vse večja respiracija (RC). Razlika med energijo v bruto primarnem proizvodu in energijo, uporabljeno za dihanje (respiracijo združbe), je potem neto proizvod združbe oz. višek organske snovi (energije), ki se akumulira v sistemu. Sčasoma pride do uravnoteženja obeh parametrov ( $PN = RC$ ) in sistem doseže klimaksno stanje. Načeloma namreč ne moremo pričakovati nobenih napetosti v samem sistemu, ki bi to ravnotežje premaknile. Dejansko pa sistem ravnovesja oziroma popolnega klimaksa (torej  $PN = RC$ ) nikoli ne doseže. Klimaks zato danes opisujemo kot stanje dinamične stabilnosti in ne stanje nespremenjene zgradbe združbe. Praktično klimaks določimo, ko se prvotna velika dinamika spreminjanja vrstne pestrosti v združbi umiri (Tome, 2006). V zmernih klimatih Evrope sistemi pogosto dosežejo največjo diverzitetu, preden preidejo v klimaksno stanje (slika 6).



Slika 6: Razmerje med vrstno diverzitetu in obsegom (oz. intenziteto) motenj. Hipoteza zmernih motenj predvideva najvišjo diverzitetu v sistemih, ki so izpostavljeni zmernim motnjam. Povzeto po Tarmanu (1993).

Zavedati pa se moramo, da v naravnih razmerah ni zaprtih sistemov, zato je tudi takšno klimaksno stanje vedno izpostavljeno motnjam. Te zmanjšujejo kompetitivno prednost klimaksnih vrst in jo zvišujejo pri vrstah posameznih sukcesijskih stadijev. Takšne motnje so lahko zelo raznovrstne. Poleg človekovega vpliva so to razne stihije (požari, poplave, suše itd.) ali pa biogeni dejavniki (paraziti, bolezni, veliki rastlinojedi ipd.). Vnos določenih kompetitivnih, v prehranjevalni verigi višje postavljenih vrst, se lahko odraža v zmanjšanju biodiverzitete. Neslaven primer vnosa tujih vrst je bil vnos nilskega ostriza v Viktorijino

jezero v Vzhodni Afriki, ki je v dveh desetletjih povzročil izginotje 200 vrst prej avtohtonih vrst rib. Ko govorimo o motnjah, ne smemo zanemariti njihovega obsega in intenzitete. Hipoteza zmernih motenj (ang. intermediate disturbance hypothesis) predvideva največjo diverzitetu v sistemu, ki je izpostavljen zmernim motnjam (Connell, 1978, cit. po Kryštufek, 1999). Če so motnje prevelike, bodo zaradi svoje ekstremnosti zmanjšale diverzitetu, saj jim bodo lahko kljubovale le redke vrste. Po drugi strani pa premajhne motnje dopustijo klimaksnim vrstam, da v stabilnem okolju izkoristijo svoje kompetitivne prednosti in tako izrinejo večje ali manjše število drugih vrst (slika 7).



Slika 7: Vpliv sukcesije na število vrst. Vrstna diverziteteta je pogosto največja, preden ekosistem doseže klimaksno stanje (povzeto po Kryštufek, 1999).

Nekaj dodatnih značilnosti sukcesij je še:

- stopnje sukcesije med sabo prehajajo zvezno ena v drugo, zato natančnih mej med njimi ne moremo določiti;
- veliko vrst preživi le v razmerah posameznih sukcesijskih stopenj, ko sukcesija napreduje v naslednjo, izginejo;
- v različnih sukcesijskih stopnjah prevladujejo različne vrste;
- vrste, ki živijo sočasno v istih sukcesijskih stopnjah, imajo podobne ekološke značilnosti;
- v različnih okoljih so pionirske vrste različne, klimaksne vrste pa imajo različno število vrst.

Zrelost, ki jo označuje velika raznovrstnost združbe, je posledica medvrstnih odnosov in njihove populacijske dinamike. Hitrost spreminjanja vrstnega sestava (ang. species turnover time) pa je posledica ravnovesja med imigracijo novih vrst in izumiranjem že prisotnih vrst, ki se z napredovanjem procesa zmanjšuje. Hitrost upadanja izumiranja je odvisna od razmer v ekosistemu. Povečuje se produktivnost, hkrati pa se zmanjšuje odtok hranilnih snovi, saj se velik del teh biotično veže v organizmih.

Čeprav ne poznamo dejavnikov, ki diverzitetu določajo in generirajo, pa je le-ta zagotovo višja v predvidljivih in konstantnih sistemih. V ekologiji je ustaljeno prepričanje o soodvisnosti med diverzitetu sistema in njegovo stabilnostjo. Kompleksni sistemi z višjo biodiverzitetu veljajo tudi za stabilnejše. Višja diverzitetu zagotavlja večjo prepletenost trofičnih razmerij; nekateri avtorji govorijo o "preobilju v strukturi združbe". V primeru izpada enega od členov (vrst), bo sistem lahko ubral alternativno pot. V poenostavljenih prehranjevalnih mrežah, ki so v skrajnih primerih lahko zreducirane na linearno prehranjevalno verigo, alternativnih poti preprosto ni. Izpad enega samega člana lahko pretrga verigo in destabilizira celotni ekosistem. Kompleksnejši ekosistemi so tudi sestavljeni iz večjega števila podsistemov. Če so podsistemi stabilni, interakcije med njimi pa šibke, potem bo stabilen celotni sistem.

Osnovna skupna značilnost razvoja jezerskih ekosistemov je proces sedimentacije, ki postopoma polni jezersko kotanjo. S kopnega nosijo v jezero dotekajoči potoki in površinsko izplakovanje kopnih tal prod, pesek, glino in organske delce, kar se useda na jezersko dno (alohtoni del). Vnos anorganskih snovi je odvisen od geoloških značilnosti prispevnega območja. Deli sedimentov so tudi avtohtonega izvora (organski proizvodi, obarjanje železa itd.). Proces sedimentacije poteka običajno dokaj počasi, saj se večina vnesenih anorganskih snovi mineralizira že pred začetkom sedimentacije ali kmalu po njej. Vendar pa se lahko razmerje med odloženimi organskimi in anorganskimi snovmi včasih značilno spremeni, največkrat kot odgovor na spremembo vnosa hranil, značilnosti prispevnega območja in oblike jezerske kotanje. Do tega pojava pride, ko odlaganje organskih snovi preseže sposobnost njihove razgradnje. Poveča se intenzivnost sedimentacijskega procesa kar vodi v



postopno zakopnjevanje jezerske kotanje oziroma prehod iz jezerskega ekosistema v močvirje. Tako so sedaj barja in celo gozdovi tam, kjer so bila pred tisočletji jezera.

Do usedanja organskih ostankov prihaja v evtrofnih jezerih, kjer je bruto primarna produkcija večja od potrošnje ali respiracije. Obseg sedimentacije določa hitrost zmanjševanja jezerske globine. Zasipavanje oligotrofnih jezer gre predvsem na račun zaprojevanja. Hitrost zaraščanja je v stoječih vodah zelo različna in je odvisna predvsem od globine, količine hranilnih snovi in temperature vode. Zato so gorska jezera še vedno zelo bistra in imajo malo rastlinskega planktona in drugih vodnih rastlin (oligotrofna jezera), medtem ko se plitvejša nižinska jezera, v katerih so velike količine fosforja in dušika (evtrofna jezera) mnogo hitreje zaraščajo.

Čeprav sukcesijo pogosto omejujejo na rastlinski del združbe, se prav v njenem poteku kažejo povezave med floro in favno. Zgradbo rastlinske komponente, ki daje temelj združbi, ustvarjajo rastlinske vrste, ki so hrana herbivorim živalim. Zato s svojo potrošnjo herbivori vplivajo tudi na rastlinsko komponento življenjske združbe. Ker so herbivori plen karnivorih vrst, imajo posredno svoj vpliv na rastline tudi plenilske vrste, ker regulirajo velikost populacij herbivorih živali in s tem velikost objedanja rastlin. Samo v skupnem delovanju se potem ustvarja ravnovesje, značilno za zrelo združbo.

Ves potek poraščanja temelji na počasnem odlaganju odmrlih rastlinskih delov na jezersko dno, kjer se naseljujejo druge rastlinske vrste. Veliki vodni makrofiti, ki so prvotno rasli samo ob obrežju, se zaradi plitvosti vode širijo proti sredini. V nadaljnjem razvoju se plitvo jezero začne postopoma spreminjati v močvirje. Z napredovanjem osuševanja področja začnejo šaši in trstje izpodrivati rogoz. Vzporedno se spreminja tudi sestav živalstva. Značilne vodne zoocenoze z ribami, raki, školjkami izginejo in namesto njih se razvijejo močvirske. Tam kjer je bilo prej jezero, prosta vodna površina postopno izginja in sčasoma se razvije močvirski gozd črne jelše in vrbe. Takšno sukcesijo je preživelo veliko Barjansko jezero pri Ljubljani v času holocena. Čas za popolno zakopnitev je odvisen od jezerske globine, velikosti pritokov, geološke zgradbe prispevnega območja, podnebnih razmer in biološke produktivnosti v jezeru.

Med plitva jezera prištevamo jezerske kotanje, ki niso bile nikoli del velikega, globokega jezera in jezerske kotanje, ki predstavljajo končno stanje v izginjanju nekdanjega globljega jezera. Majhna jezera imajo večjo dolžino obale glede na vodno površino, zato je večja tudi produktivnost litoralnega pasu. Vpliv vodnih makrofitov in perifitona na celotno produktivnost jezera tako upada proporcionalno z njegovo površino in globino. Večanje površine litorala omogoči razvoj vodnih makrofitov, ki imajo visoko produktivnost in predstavljajo notranji prispevek k organski obremenitvi jezera. Visoka produktivnost emerznih makrofitov poveča delež ligninskih in celuloznih podpornih tkiv, ki so težje razgradljiva, še posebej v anoksičnih razmerah. S tem ko jezero postaja plitvejše je omogočen boljši stik med sedimentom in produktivno trofogeno cono, zato je izmenjava snovi lažja.

Bolj ko je jezero plitvo in izpostavljeno delovanju vetra, bolj pogosto so njegove površinske usedline podvržene resuspenziji. To vodi do povečane kalnosti, pri čemer pride do izrazitega zmanjšanja prodiranja svetlobe, kar vpliva na fitoplankton. Za jezera, ki imajo močan pretok, je resuspenzija osnovni mehanizem, ki upočasni povečevanje plitvosti (Wetzel, 2001).

V evtrofnih jezerih v epilimniju prevladuje primarna produkcija nad respiracijo. Pod kompenzacijsko ravnino procesi primarne produkcije ne potekajo več. Preostanejo le še procesi respiracije organskih snovi, ki se sedimentirajo iz zgornjih plasti vodnega stolpca. Večja kot je epilimnijska produkcija, večji je vnos snovi v hipolimniju in več kisika je potrebno, da se obnovijo hipolimnijske rezerve kisika. Učinek koncentracije raztopljenega kisika v vodi ni določen le z epilimnijsko produkcijo, ampak tudi z volumnom hipolimnija in temperaturo v njem. Zato je razumljivo, da se razpoložljive količine kisika v globini plitvih jezer hitreje porabijo kot pri globljih jezerih z isto koncentracijo hranil. V velikih jezerih in akumulacijah je volumen vode s primerno količino svetlobe, ki omogoča proces fotosinteze (evfotična cona), majhen v primerjavi s celotnim volumnom jezerske vode, ki vsebuje znatne količine raztopljenega kisika, ki se lahko porablja za heterotrofno respiracijo. Drugače je v majhnih in relativno plitvih jezerih, ki imajo delež vodnega volumna v katerem poteka fotosinteza zelo velik v primerjavi s celotnim volumnom jezera, zato lahko respiratorne potrebe po kisiku presežejo zaloge raztopljenega kisika v spodnjih plasteh vodnega stolpca. Iz

tega sledi, kako pomembno lahko vplivajo na kakovost jezerske vode in vode v umetnih akumulacijah že zelo nizke koncentracije hranil.

Določena epilimnijska produkcija lahko povzroči povsem anaerobne hipolimnijske razmere v 10 metrov globokem jezeru, ki ima polovico svojega volumna pod termoklino in s temperaturo 10°C, hkrati pa ima zanemarljiv vpliv na koncentracije kisika v 100 metrov globokem jezeru z 90% vode s temperaturo 4°C v hipolimniju.

V plitvih jezerih je breme nutrientov sorazmerno večje kot v globokih, količine hranil, ki se skladiščijo v usedlinah so manjše, kroženje hranil pa je hitrejše kot v globokih (Wetzel, 2001).

Z vidika gospodarjenja je možno določiti obremenjevanje s hranili, če je le to še sprejemljivo ali preseženo v smislu produktivnosti alg, ki se v takih razmerah razvijejo. Pri tem sta ključna dejavnika morfometrija jezerske kotanje in zadrževalni čas (Vollenweider, 1990, cit. po Perrow, 2003). Morfometrične spremembe, ki spremljajo povzročeno evtrofikacijo, povečujejo sedimentacijo, polnjenje jezerske kotanje pa ima značilne vplive na stratifikacijo, oksidacijske razmere v hipolimnijski plasti in na kroženje nutrientov. Te spremembe postajajo ob povečevanju produktivnosti vse bolj očitne in povzročajo še nadaljnje stopnjevanje evtrofikacije.

## **2.5 Nadzorovanje makrofitske vegetacije in omejevanje evtrofikacije**

Prekomerno razraščanje vodnih makrofitov in posledične spremembe jezerskih ekosistemov so pogost pojav na vseh kontinentih. Za plitva jezera je običajno značilno obilje vodne makrovegetacije in pridružene mikroflore, ki je pritrjena na razne površine. Neredko se zgodi, da se vegetacija razširi po celotni površini jezera. Da bi dosegli dolgoročne učinke je potrebno spremljati okoljske in biološke dejavnike, ki vplivajo na vegetacijo. Za nadzorovanje sezonske dinamike združb vodnih rastlin se uporabljajo različni fizikalni, kemijski in biološki načini. Dnevna in sezonska ponavljajoča nihanja raztopljenega kisika, koncentracije hranil in vrednosti pH, ki jih pripisujemo vodnim rastlinam, imajo pomemben vpliv na vzdrževanje življenjskih združb. Vsaka sprememba v združbi lahko spremeni trofična razmerja in povzroči

ugodne razmere za cvetenje alg, spremeni kakovost vode in vodi v nov spremenjen ekosistem. Za najbolj uporaben in hkrati tudi najbolj uspešen način nadzora nad čezmernim zaraščanjem se je izkazalo kemijsko zatiranje. Vendar pa imajo številni herbicidi, ki so v uporabi, lahko toksičen učinek na druge neciljne vrste rastlin kot tudi na invertebrate in ribe. Dobro se obnese košenje pod vodno gladino, ki se je npr. pri *Phragmites* izkazalo za posebej učinkovito. Pogosto uporabljana praksa je tudi presuševanje jezer.

Na uspevanje in vrstno sestavo makrofitske vegetacije vpliva tudi višina vodne gladine. Znižanje vodne gladine vzpodbudi kalitev emerznih vrst makrofitov, hkrati pa z boljšimi svetlobnimi razmerami omogoči rast submerznih makrofitov. Skrajni ukrep je, da vodo iz ribnika v celoti spustimo, kar je že dolgo znan in tudi uspešen način kontrole rasti nezaželjene vegetacije v ribniku. Tudi v zamuljenih in z nutrienti bogatih jezerih je s tem načinom, vsaj za kratek čas mogoče doseči bolj čisto vodo, zamuljeno dno pa po presušitvi postane bolj zgoščeno oziroma otrdi. V času presušitve prihaja do pospešene aerobne razgradnje, oksidacije organskih snovi ter sproščanja hranil in povečane začetne produktivnosti ob ponovni preplavitvi. Ob odsotnosti planktivorih rib so omogočene razmere za razvoj zooplanktona, ki z objedanjem vrši pritisk nad fitoplanktonom in posledično privede do bolj čiste vode. Tako so ustvarjene ustrezne razmere za rast in uspevanje submerznih makrofitov. Ta pojav je dobro znan za primere jezer z organsko bogato sestavo tal, v katerih so s presušitvijo želeli ponovno vzpostaviti normalne razmere. V prvem letu po revitalizaciji je bila voda v jezeru bistveno bolj čista z obiljem submerznih makrofitov in to kljub še vedno visokim koncentracijam nutrientov v vodi. Vendar pa ta učinek ni trajal dolgo, saj se je po nekaj letih situacija ponovila in so se po zaslugi priseljenih planktivorih rib v jezeru povrnila evtrofne razmere.

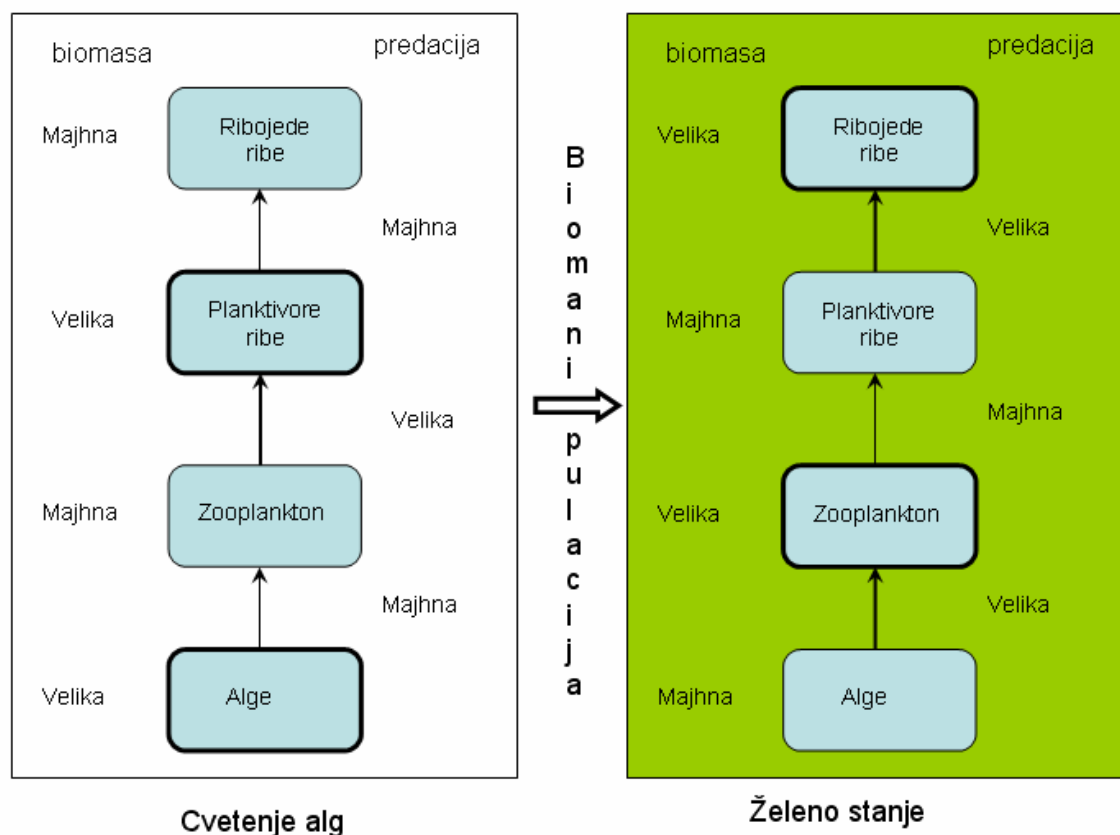
Omenil sem že, da teoretično gledano odstranitev velikega deleža zooplanktivorih rib vodi v povečano količino zooplanktona, ki z objedanjem vrši pritisk nad fitoplanktonom. Ohranjanje zooplanktonskih populacij ob zmanjševanju zooplanktivorih rib ali povečanju številčnosti ribojedih vrst rib, ponuja možnosti za zmanjševanje rasti alg v evtrofnih jezerih v katerih je možen le omejen nadzor nad nutrienti. Dober primer za vpliv zooplanktivorih rib na rast alg

so vrtni ribniki, v katerih uspevajo zlate ribice, voda v njih pa je kot posledica rasti alg pogosto svetlo zelena.

Planktonske združbe so izredno raznolike, še posebej glede na relativno preprostost njihovega habitata. Ta raznolikost je funkcija stalnih sprememb. Preden zaporedje odnosov kot je npr. kompeticija, privede v neke vrste ravnovesje, se okolje že spremeni in življenjske združbe začnejo pot proti novemu ravnovesju, do katerega pa ne pride nikoli. In ravno ta odzivnost na spremembe je razlog, ki kaže, zakaj je razmeroma enostavno manipulirati z življenjsko združbo kot načinom upravljanja, da bi zmanjšali količino fitoplanktona oz. spremenili naravo njegovega pojavljanja

Razpoložljivost in uravnoteženost med količino nujno potrebnih hranil, nadzoruje produktivnost sistema. Hranila določajo potencialni razrast fitoplanktonov, objedanje pa določa obseg do katerega je potencial dosežen. Namen biomanipulacije je torej doseči najmanjšo možno mero koncentracij klorofila a ob danih obremenitvah s hranili.

Meritve kisika, ki je odraz aktivnosti živih alg, so pokazale, da je bilo več kisika proizvedenega na enoto biomase alg na mestih herbivorega objedanja. Čeprav je bilo na teh mestih v času opravljanja meritev prisotnih malo alg, je bila njihova združba bolj zdrava in tudi bolj produktivna (Hilt et al., 2006). Do bolj čiste vode kot končnega cilja biomanipulacije je mogoče priti s spreminjanjem biomase na višjih trofičnih nivojih (Scheffer et al. 1993, cit. po Perrow, 2003). Osnovni princip biomanipulacije je, da z ohranjanjem dovolj visoke biomase zooplanktona preprečujemo nezaželjeno razraščanje alg za kar ima zasluge zooplanktonsko objedanje oz. pašni pritisk zooplanktonov na alge (Slika 8).



Slika 8: Shematska pregleda situacij pred biomanipulacijo in po njej (povzeto po Sagehashi, Sakoda & Suzuki, 2000).

Če je biomasa rijojedih vrst rib v jezeru majhna, so majhni tudi predacijski pritiski na planktivore ribe, ki jih je zato v jezeru veliko. Velika biomasa planktivorih rib pa s plenjenjem močno poseže v zooplanktonske populacije, ki postanejo potem maloštevilne. Posledično se to odraža tudi v zmanjšanem objedanju alg, katerih biomasa ostaja velika oz. lahko prihaja do pojavov cvetenja alg. Povsem obrnjena pa je situacija, če se v jezeru nahaja dovolj velika biomasa rijojedih vrst rib kar se potem odraža tudi na nižjih trofičnih nivojih vse do alg, katerih biomasa zaradi močne prisotnosti zooplanktonskega objedanja ostaja majhna (slika 8).

Zanimivi so rezultati poskusa biomanipulacije v dveh jezerih na Švedskem, ki so pokazali, da si submerzni makrofiti ob izboljšanju razmer hitro opomorejo (Strand & Weisner, 2001, cit. po Perrow, 2003). Za doseg želenih rezultatov je bistveno zmanjšanje količine rib s čimer se poveča Secchijeva globina in je vodnim makrofitom omogočena ponovna rast. V študiji obeh jezer se je pokazalo, da je za uspeh odločilen delež odstranjenih rib in sicer naj bi bil ta vsaj

75%, če želimo doseči zadovoljive učinke na dolgi rok. Tako so se zelo dobri rezultati pokazali v jezeru Finjasjön, iz katerega so odstranili 80% ciprinidne populacije rib, do skoraj nobenih sprememb v makrofitski vegetaciji pa ni prišlo v jezeru Ringsjön, iz katerega so odstranili le 49-60 % ciprinidov. V literaturi se priporoča, da mora biti jezero majhno in z maksimalno globino do 4 metre, če želimo v jezeru z biomanipulacijo vzpostaviti normalne trofične razmere. Prav tako nista bistveni največja in povprečna globina, pač pa predvsem delež majhne globine vode, ki je gotovo v neposredni povezavi s Secchijevo globino. V jezeru Finjasjön se je Secchijeva globina povečala iz 0,2 do 0,3 metra pred začetkom biomanipulacije, na več kot 2 metra s posledično razrastjo do 3 metrov globine in sicer na 30% celotne površine jezera. Na jezeru Ringsjön je prišlo le do povečanja Secchijeve globine iz prvotnih 0,75 metra na 1,2 metra, kar pa ni zadoščalo za ponovno rast submerzne vegetacije na večji površini jezera. Je pa pri vzpostavljanju primernih razmer z biomanipulacijo potrebno upoštevati tudi vrsto podlage, saj je npr. zelo kamnita struktura substrata ali valovanju izpostavljena podlaga dokaj neugodna za naselitev in uspevanje vodnih makrofitov.

Vendar pa biomanipulacija ni vedno tako zelo učinkovita, alternativna in poceni metoda kontrole evtrofikacije kot se na prvi pogled zdi. Opravljene so bile številne študije, ki so pokazale, da ob visoki stopnji objedanja začasno res pride do navideznega zmanjšanja biomase alg, kasneje pa pride do razmaha hitrorastočega ultrafitoplanktona in nezaželenega cvetenja cianobakterij, ki pa zooplanktonom za konzumacijo niso zanimive. Literatura navaja številne primere uporabe biomanipulacije po svetu, vendar je do zadovoljivih uspehov prišlo le na kratki rok (2-5 let). Vprašljiva pa ostaja ideja, da bi z biomanipulacijo uspeli doseči tudi dolgoročno stabilnost sistema (Shapiro, 1990, cit. po Sagehashi, 2000). Prej omenjeni primer biomanipulacije jezera na Finskem je bil sicer zelo uspešen, vendar pa so poleg povečanega komercialnega ribolova oz. eliminacije planktivorih rib izpeljali še druge prav tako odločilne ukrepe. Zmanjšali so vnos hranil, izboljšali rabo tal v hidrografskem zaledju ter izvedli še nekatere druge ukrepe zmanjšanja biomase fitoplanktona na sprejemljivo raven za splošno rabo. Ta primer revitalizacije jezera kaže, da metoda biomanipulacije rib zahteva stalno in trajnostno vključevanje tudi drugih načinov omejevanja hranil in nadzora procesov. V stalno obremenjenih jezerih, kljub intenzivnim strategijam dobrega gospodarjenja, ni možno doseči zadovoljivega zmanjšanja biomase alg. Celo ob agresivnih programih zmanjšanja obremenitev z nutrienti, je mogoče z biomanipulacijo višjih trofičnih nivojev in konzumacijo

fitoplanktona doseči le kratkotrajne terapevtske učinke. Vneseni nutrienti so v tem primeru samo začasno premeščeni drugam in ne odstranjeni iz jezerskega ekosistema. Nadaljnje obremenjevanje s hranili pa vodi v povečanje primarne produktivnosti.

Wetzel (Wetzel, 2001) trdi, da spreminjanje razširjenosti alg in biomase z biomanipulacijo, kljub trditvam nekaterih znanstvenikov ne moremo šteti za biološki način kontrole evtrofikacije. S samo biomanipulacijo je sicer mogoče vplivati na kozmetsko-estetsko stanje vode v jezerskem ekosistemu, vendar s takim načinom gospodarjenja dosežemo le deponiranje nutrientov, predvsem fosforja, v neaktivni fazi, ki pa se bo kasneje gotovo vključil v kroženje oziroma se bo izrabljajal v fotosintetski produkciji. Tudi ideja, da je tovrstna biomanipulacija v jezerih učinkovita, ko se ustrezno spremenijo kemijski in fizikalni parametri, ni učinkovit pristop k reševanju problema evtrofikacije površinskih voda. Z dobro razvitim monitoringom in pravim načinom gospodarjenja pa biomanipulacija sigurno ostaja uporabna, čeprav hkrati tudi draga terapevtska metoda zmanjševanja učinkov evtrofikacije.

Drugi način je izpiranje oziroma izplakovanje jezera. Jezera s kratkim zadrževalnim časom so običajno bolj čista kot pa bi glede na obremenitve z nutrienti pričakovali. Izgube s hitro menjavo vode skupaj z drugimi faktorji presegajo prirastek fitoplanktona. Vendar pa ta metoda poleti ni uporabna, saj ob toplih razmerah fitoplankton potrebuje le 3 do 5 dni, da se ponovno razvije. Če pa je dodana količina vode primerno velika, je možno na ta način odplaviti celice alg in z razredčenjem vzdrževati primerno produktivnost. Zmanjšano biomaso alg je mogoče vzdrževati celo s tokom z nutrienti bogate vode, če je tok primerno velik, da je odplavljanje alg hitrejše kot njihova rast. Težava je edino kako zagotoviti zadostne količine z nutrienti revne vode, ki so še posebej odločilne v obdobju velike produktivnosti. Drugače je pozimi, ko je rast fitoplanktona počasna. Revitalizacija jezera z izplakovanjem v zimskem delu leta se je izkazala za uspešno v jezerih, ki so imela visoke koncentracije cianobakterij, ki zimo "prezimijo". To metodo so uspešno uporabili na nekaterih nizozemskih jezerih, na katerih so z zimskim izplakovanjem dosegli očiščenje cianobakterij, zgodaj spomladi pa se je razvila makrofitska vegetacija (Hosper & Meijer, 1986, cit. po Perrow, 2003).



Eden od načinov, ki lahko prispeva k zmanjšanju produktivnosti jezera je tudi odvajanje z nutrienti bogate hipolimnijske vode. S tem se skrajša zadrževalni čas hipolimnijske vode, povišajo se koncentracije kisika v hipolimniju in hkrati se zmanjša obremenitev s fosforjem iz sedimenta. Ob ustrezni izvedbi je možno doseči odzemanje hipolimnijske vode ne da bi povzročili termalno destratifikacijo jezera.

Včasih v jezerskem ekosistemu kljub zmanjšanemu vnosu hranil ne pride do željenih rezultatov. Sprememb v bioloških združbah v plitvih jezerih zmernotoplega pasu načeloma ne moremo pričakovati, če koncentracija celotnega fosforja ne pade pod 0,05-0,1 mg/l. Čeprav učinkovito zmanjšamo ali celo prekinemo vnos fosforja, se fosfor še naprej sprošča iz sedimenta kar lahko traja tudi nekaj let. Trajanje tega procesa pa je odvisno od trajanja presežnih obremenitev s hranili, zadrževalnega časa in vnosa železa iz okolice. V splošnem velja, da se bodo oligotrofna jezera na povečane obremenitve s hranili odzivala počasi, hitri pa bodo odzivi na zmanjšanje oziroma prenehanje obremenjevanja s hranili, še posebej, če obremenjevanje ni trajalo dolgo. Prav nasprotno pa je z jezeri, ki imajo dolgo eutrofno zgodovino in velike zaloge nutrientov v sedimentih. Njihovo odzivanje na zmanjševanje obremenjevanja s hranili bo zato počasnejše. Vzpostavljanje oligotrofnih razmer bo potekalo počasneje tudi v plitvejših jezerih, ki imajo v svojih sedimentih velike zaloge fosforja.

Precej drugače je z novo ustvarjenimi vodnimi telesi za katere je vsaj v začetku značilna odsotnost vodnih makrofitov. Eden od uspešnih načinov naselitve zelenih vrst vodnih makrofitov je s prenosom sedimenta iz bližnjih obstoječih jezerskih ekosistemov v novo ustvarjena vodna telesa. Tekoč sediment se s pomočjo črpalke prečrpa na keson tovornega vozila ter prepelje na novo lokacijo, nato se ga pod pritiskom razprši po vodni gladini. V prenesenem sedimentu se nahajajo semena, ki potem ob ustreznih temperaturnih in svetlobnih razmerah začnejo kaliti. Hitrejši in bolj učinkovit je vegetativni način s prenosom mladih rastlin, vendar zahteva več časa in ročnega dela (Perrow, 2003).

Osrednja vloga, ki jo vodni makrofiti v vodnih ekosistemih imajo, pomeni da je najbolj učinkovit način gospodarjenja ravno z nadzorom uspevanja in razraščanja makrofitske vegetacije. Najbolj pomembni so globina in motnost vode ter epifitska rast. Bolj kot same

tehnike za doseganje zelenih makrofitskih združb je pomembna usmerjenost na zagotavljanje ugodnih razmer, ki želeno stanje vodnega ekosistema omogočajo.

## 2.6 Ribogojstvo

Omenil sem že, da lahko populacije rib bistveno vplivajo na evtrofne procese v jezerskem ekosistemu in tudi obratno. Še toliko bolj izraziti pa so lahko vplivi intenzivnega ribogojstva, zato bom poskušal v okviru tega poglavja na kratko predstaviti interakcije med ribogojško dejavnostjo, makrofitsko vegetacijo in jezerskim ekosistemom kot celoto.

Če je ribnik prekomerno preraščen z makrofitsko vegetacijo, se povečujejo populacije majhnih rib, ki imajo pred večjimi predatorskimi ribami med makrofitsko vegetacijo obilo kritja. Vsako jezero ima tudi omejeno kapaciteto rib, ki v njem lahko živijo. Ta pa je določena s trofičnim stanjem jezera. Tako imajo vodni makrofiti vpliv tudi na vrstno sestavo ribjih populacij v ribniku.

Ribogojstvo temelji na vzreji rib za prodajo na trg, za repopulacijo odprtih voda in ohranjanju avtohtonih vrst rib. Čeprav v ribnike naseljene ribe veljajo za "divje živali" (v nasprotju z npr. kravjimi ali prašičjimi farmami za vzgojo "domačih živali"), pa se intenzivni način proizvodnje rib ne razlikuje dosti od farmske proizvodnje. Intenzivno ribogojstvo predstavlja "tujek" v okolju, kjer ni veliko možnosti za razvoj in obstoj rastlinskih in živalskih vrst. Ribogojci ribe dodatno hranijo, spreminjajo vodni režim in naseljujejo rastlinojede vrste, ki preprečijo razrast naravne vodne vegetacije. Gosto naseljene ribe požrejo tudi hrano, ki jo potrebujejo drugi organizmi, plenijo ličinke žuželk in razvojne oblike dvoživk. Intenzivno ribogojstvo močno poseže v kvaliteto vode v ribniku, saj vodo obremenjuje z velikimi količinami ribjih izločkov oziroma iztrebkov, nekaj hrane ostane tudi nepoužite, ki se potem razkaja, odvzema kisik in obremenjuje vodno okolje z amonijakom. Tudi če ima ribnik preliv, se le to onesnaženje prenaša dolvodno v naslednjih ribnik oz. potok, kjer lahko neugodno vpliva na okoljske razmere. Če pa gojenje rib v ribnikih ni tako intenzivno, so takšni objekti pravi raj za rastlinske in živalske vrste, predvsem nevretenčarje, dvoživke, ptice in druge skupine. Na ribnikih, kjer je dovoljen športni ribolov, pa se poleg omenjenih

problemov, ki nastajajo npr. pri intenzivnih ribogojnih objektih, pojavlja še vznemirjanje s strani ribičev.

Hranjenje rib je nujno potrebno, če gostota rib v ribniku presega količino naravne hrane, ki se nahaja v ribniku. Eden od načinov zagotovitve večjih količin naravne hrane v ribnikih je tudi z dodajanjem hranil, s čimer se poveča lastna produktivnost jezera. Kot vir hranil se lahko uporabi hlevski gnoj, pridobljen pri govedoreji ali prašičereji, še posebej močan učinek imajo posušeni iztrebki kokoši. Produktivnost jezera je možno enako učinkovito povečati tudi z vnosom mineralnih gnojil, ki se uporabljajo v kmetijstvu. Tovrstna praksa se, vsaj po navedbah literature (Jeffris & Mills, 1990), uporablja npr. v Izraelu in na Tajvanu, kjer so območja ribogojne dejavnosti tesno povezana z živalskimi farmami. V Maleziji pa npr. kombinirajo rejo prašičev in rib, in sicer tako, da pri prašičereji nastale odplake, odvajajo v ribnike v katerih vzgajajo krape in amurje. Z dušikom bogate odplake iz prašičjih farm spodbujajo rast posebne rastline *Ipomoea reptans* imenovane tudi kangkong, ki potem služi kot hrana tako za prašiče kot tudi ljudem (Jeffris & Mills, 1990). K povečanju produktivnosti ribnika prispeva tudi reja rac oz. gosi na ribniku, saj predstavljajo njihovi iztrebki bogat vir dušika.

Bentične ribe se prehranjujejo na različne načine in lahko včasih, ob spremembi okoljskih razmer in posledično spremenjenih prehranskih virih, spremenijo svoje prehranjevalne navade, čemur rečemo trofična prilagodljivost vrste. Tudi načini prehranjevanja so različni, saj brskajo po odloženem sedimentu, strgajo perifiton s kamnitih površin, pobirajo invertebrate s površine sedimenta in drobijo mehkužce. Znano je, da lahko nekatere bentične vrste rib kot je npr. krap (*Cyprinus carpio*) s svojimi prehranjevalnimi navadami ustvarjajo kalnost in dvigajo sediment po vodnem stolpcu navzgor. Na tak način iz virov hrane in detritusa prehajata iz sedimentov v zgornje plasti vode tudi fosfor in dušik, od katerih se določen delež sprošča kot raztopljeni fosfor in amonij. Te notranje obremenitve sproščanja nutrientov iz sedimenta so lahko pomembne za planktonske alge in druge mikroorganizme, še posebej v suhih poletnih obdobjih, ko so zunanji vnosi hranil majhni. Povečane koncentracije hranil posledično vodijo v porast gostote rib in preskok v prevlado ciprinidnih vrst. Opravljen je bilo številno študij o vplivu planktivorih rib na uravnavanje zooplanktonskih populacij, predvsem vodnih bolh (*Cladocera*), ki so pokazale, da je njihova vloga pri tem

velika. S plenjenjem vršijo pritisk predvsem na telesno večje vrste zooplanktona kar ima razlago v boljši energetski učinkovitosti. Tako se po določenem času spremeni populacijska struktura zooplanktona, saj se močno zmanjša število večjih vrst, medtem ko so manjše vrste favorizirane. Prevladovati začnejo manjše vrste zooplanktonskih rakcev, ki ne jedo alg. Zaradi povečanja biomase fitoplanktona se zmanjša prosojnost vode oziroma se zniža Secchijeva globina. Posledično izgine vegetacija vodnih makrofitov, hkrati pa se omeji tudi vir hrane in habitat na vodo vezanih ptic. Rezultat je jezero z veliko biomaso ciprinidnih vrst rib, obiljem fitoplanktona z nekaj ali nič submerznih makrofitov in močno zmanjšano številčnostjo ptic s prevlado ribojedih vrst (Jeppesen et al., 2000, cit. po Perrow, 2003).

Da bi lahko ocenili učinkovitost predacijskih pritiskov rib na produkcijo bentičnih invertebratov je potrebno ovrednotiti celotne izgube do katerih prihaja zaradi predacije, naravnega staranja in odmiranja ter horizontalne in vertikalne migracije invertebratov. V določenih razmerah so ribje populacije zmožne bistveno zmanjšati biomaso in produkcijo bentičnih makroinvertebratov, hkrati pa tudi značilno spremeniti njihovo vrstno sestavo ali s selektivnim plenjenjem celo izločiti posamezne vrste.

Povečan ribolov ali naselitev plenilskih vrst rib spremeni razmerja med vrstami kladocernih rakcev v prid telesno večjih, s čimer se zmanjša količina fitoplanktona v toliki meri, da postane voda bistrejša oz. da se zavira proces evtrofikacije. Procesi razkrojevanja organskega sedimenta na dnu jezera tečejo znova oksidativno. Seveda bi bilo napačno sklepati, da so plenilske ribe edini regulator odnosov med fito- in zooplanktoni (Tarman, 1992).

Pogost problem intenzivne vzreje rib v ribniku so tudi številne bolezni, ki jih je potrebno nadzorovati s preventivnimi in kurativnimi ukrepi. Pomembna je preventiva bolezni v širšem smislu, kjer je potrebno poskrbeti za vzpostavitev ravnotežja med elementi okolja in fiziološkimi potrebami posameznih vrst. Prenos bolezni je možen z vodo, različnimi transportnimi sredstvi, ribiškimi priborom, še posebej pogost in težko obvladljiv pa je prenos z nekaterimi na vodo vezanimi ribojedimi in drugimi pticami. Ribje bolezni in paraziti se lahko razširijo preko prelivov dolvodno na naslednjih ribnik ali po potoku navzdol. Prenos je možen

v obeh smereh, tako iz gojene populacije na avtohtono populacijo kot tudi obratno, širi se lahko tako dolvodno kot tudi gorvodno. Rizičen dejavnik je tudi pregosta naselitev rib.

Čezmerni ribolov lahko povzroči zmanjšanje številčnosti določene vrste ali njeno popolno izginotje, vendar je slednje običajno povezano zlasti s spreminjanjem habitatov, preseljevanjem rib med porečji in naseljevanjem rib iz geografsko zelo oddaljenih predelov. Kljub temu, da zakon prepoveduje vlaganje tujerodnih vrst v slovenske vodotoke, ribiči in ribogojci pogosto naseljujejo nekatere take ribe, največkrat zaradi lajšanja in "popestrivte" ribolova ali "polnenja" voda, za katere menijo, da je v njih premalo rib. V veliki večini vodnih habitatov se je po naselitvi porušilo naravno ravnotežje. Taki primeri so naseljevanje belega amurja (*Cteropharyngodon idella*), srebrnega tolstolobika (*Hypophthalmichthys molitrix*) in sivega tolstolobika (*Hypophthalmichthys nobilis*). Prvega so naseljevali v ribnike, da bi jih očistil vodnega rastlinja, druga dva pa da bi odstranili rastlinski plankton. Vendar pa amurji z uživanjem in prebavljanjem makrofitske vegetacije spreminjajo tkiva ukoreninjenih makrofitov v raztopljen in razpoložljiv vir nutrientov, kar lahko privede do povečanja planktonskih alg oz. njihovega cvetenja. Prehod hranil iz ukoreninjenih makrofitov v fitoplankton lahko celo slabše vpliva na kakovost vode v jezeru kot gosta prerast z makrofitsko vegetacijo (Hestand & Carter, 1978, cit. po Ross, 1997). Amurji so pri svojem prehranjevanju močno selektivni in lahko določene vrste povsem uničijo, medtem ko se za druge sploh ne zmenijo. Vendar pa z naselitvijo primerno velikega števila in ob spremljanju njihove prehranjevalne aktivnosti, amurji ostajajo učinkovito, čeprav tudi omejeno orodje za nadzorovanje razraščanja makrofitske vegetacije.

Tuje vrste lahko v novem okolju povzročijo različne negativne vplive, čeprav so imele doslej pomembno vlogo pri hitri rasti evropske ribogojne industrije. Poleg spreminjanja in drobljenja življenjskega prostora so invazivne tujerodne vrste najpomembnejši vzrok ogroženosti biotske raznovrstnosti na svetu. Vrste lahko v novem okolju propadejo, se udomačijo ali pa se začnejo močno širiti (invazivne vrste). To pa lahko vpliva na zmanjšanje števila osebkov avtohtone vrste ali njihovo izumrtje. Avtohtone živalske in rastlinske vrste so namreč prilagojene naravnim razmeram v vodnem telesu in se težko prilagajajo novim vrstam, ki imajo drugačne vzorce vedenja, metabolizma, okoljsko toleranco, bolezenska stanja ipd.

Kot sem že omenil so za življenje rib v ribniku velikega pomena koncentracije kisika v vodi. Biološki procesi v vodi povzročajo, da lahko količina kisika v vodi zelo niha. Pri koncentraciji 0,5 mg kisika na liter začne krap hlastati po zračnem kisiku in glavo močno potiska iz vode. Koncentracija kisika 3 do 3,5 mg/l je spodnja meja za obstoj krapa. Če hočemo, da prehrana in vsi fiziološki procesi pri krapu nemoteno potekajo, se količina kisika ne sme zmanjšati pod 4,5 mg/l (Skalin, 1993). Pri normalnem zračnem tlaku je količina kisika pri različnih temperaturah različna (Preglednica 1).

Preglednica 1: Koncentracije raztopljenega kisika v vodi pri različnih temperaturah

Temperatura [°C]	Koncentracija O <sub>2</sub> [mg/l]
0	14,55
4	13,06
8	11,81
12	10,75
16	9,85
20	9,09
25	8,26
30	7,49
40	6,41

V preglednici 1 navedene količine kisika pri določenih temperaturah veljajo takrat, ko ni učinkov fitoplanktona, ki lahko pri močnem soncu povzroči prenasičenost vode s kisikom. V literaturi dobimo podatke, da je možna celo 300% nasičenost vode s kisikom. Kadar je tako velika biomasa, se lahko čez noč zgodi prav nasprotno: zaradi disimilacije se porabi toliko kisika, da ribe poginjajo. Posebno rado se to zgodi v jutranjih urah pri spremembi vremena ali ob nevihtah, ko se hitro spremeni tudi zračni tlak in slaba osvetlitev podaljšuje nočno temo. Pri nizkih koncentracijah kisika v vodi lahko nastane tudi škoda, ki je povezana z ostalimi dejavniki. Npr. amonijak je lahko pri isti koncentraciji strupen za ribe, če se v vodi zmanjša količina kisika.

Pomanjkanje kisika oz. nastop anoksičnih razmer v hipolimniju ima lahko tudi posreden negativen učinek na ribje populacije, saj ribe prisili, da preživijo več časa višje v vodnem stolpcu, kjer pa jim toplejša voda najbolj ne ustreza. Fiziološki stres, ki ga doživljajo v povezavi z zadrževanjem v območju suboptimalne temperature in kisikovimi razmerami ima

lahko za posledico večjo smrtnost, povečane možnosti za pojav bolezni zaradi gneče in med drugim tudi zmanjšan reprodukcijski potencial v letu, ki sledi (Coutant & Benson, 1990, cit. po Ross, 1997). Izpostavljene so tudi večjim predacijskim pritiskom, še zlasti če so to telesno manjše vrste ali mladice.

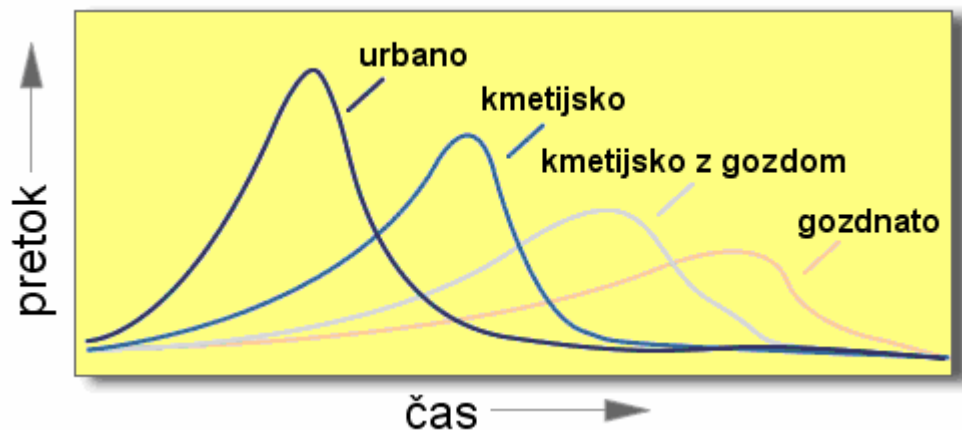
Za zatiranje in preprečevanje ribjih bolezni se uporabljajo številne kemikalije, ki lahko v zadosti velikih koncentracijah negativno vplivajo na druge vodne organizme. Največ se uporabljajo razna razkužila kot sta npr. formalin in malahitno zelenilo in pa prehranska dopolnila kot so npr. vitamini, minerali, pigmenti in hormoni. V primeru večjega izbruha bolezni je indicirano tudi antibiotično zdravljenje. Vendar pa je glavni problem, da je treba za doseg želenega učinka uporabiti precejšnje količine teh sredstev, saj so izgube zaradi velike količine vode in nepoužite hrane precejšnje. Splošno znano je tudi, da je mogoče bolezni preprečevati tudi s precej manj agresivnimi metodami, vsaj kar se zastrupljanja okolja tiče. Še posebej to velja pri zemeljskih ribnikih, ki se jih pred dezinfekcijo pusti izpraznjene in izsušene. Dezinfekcijo opravijo izsušitev in sonce (UV žarki) ter zmrzovanje pozimi. Že dobro uveljavljena praksa pa je tudi posipavanje z živim apnom.

## **2.7 Vpliv rabe tal na prispevnem območju**

Na razvoj evtrofikacije in napredovanje sukcesijskega procesa ima bistven vpliv tudi hidrografska zaledje oziroma prispevno območje. Ob padavinah prihaja do izpiranja hranilnih snovi, ki se s površinskim odtokom ali podtalnim pronicanjem vnašajo v vodotoke in končajo v jezerskem ekosistemu. Pospeševanje evtrofnega procesa je pripeljalo do sanacijskih metod, ki naj bi omilile tovrstne probleme in jezera povrnili v izboljšano stanje z nižjo produktivnostjo. Drug velik in prav tako zelo pogost problem povezan z jezери pa je erozija prsti, ki ima vpliv na zamuljevanje in izgubo volumna vodnega habitata.

Raba tal ima pomemben vpliv na kakovost in količino vode, ki prihaja v jezero. Kot prikazuje slika 9 obstajajo bistvene razlike v padavinskem odtoku glede na rabo oz. pokrovnost tal na prispevnem območju. Npr. velik delež neprepustnih površin v urbanih predelih preprečuje absorpcijo padavinskih voda in povečuje površinski odtok. Ob velikih odtokih pa se poveča

obrežna erozija in moč vode, da lahko nosi s seboj tudi večje delce (npr. prst). Se pravi, da velikost odtoka vpliva tudi na kakovost vode.



Slika 9: Vpliv rabe zemljišč oz. pokrovnosti tal na količino in časovni potek odtoka

Jezerca z velikim prispevnim območjem imajo večji vnos snovi s kopnega. Pomembno je razmerje med površino jezera in površino prispevnega območja. Večji kot je erozijski vnos s kopnega v jezero, krajša je življenjska doba jezera. Zato ne preseneča, da nekatera jezera v pokrajini izginjajo tako hitro.

Glavni obliki rabe tal sta kmetijstvo in gozdarstvo, obstajajo različne kmetijske prakse kot tudi načini gospodarjenja z gozdovi, ki imajo lahko tako posreden kot tudi neposreden vpliv na vodne habitate.

### 2.7.1 Gozdarstvo

Gospodarjenje z gozdovi lahko vpliva na stanje vodnih teles na različne načine. Zaradi zagotavljanja možnosti gospodarskega izkoriščanja gozda in pomena za ohranjanje drugih naravnih virov, je gozdarstvo že po svoji funkciji usmerjeno k sonaravnemu gospodarjenju. Zaradi visoke stopnje naravne ohranjenosti je pomembno pri zagotavljanju višje kvalitete bivalnega okolja. Cilji v okviru prostorskega razvoja gozdarstva so: ohranitev sklenjenih območij gozda na produktivnih rastiščih, varstvo gozdov na strmih in labilnih zemljiščih, zagotavljanje krajinsko-ekološke pestrosti v ravninskih in obvodnih krajinah ter



multifunkcionalne vloge gozdov v primestni in mestni krajini, povečevanje vloge gozdov pri varstvu vodnih virov ter ohranitev življenjskih prostorov velikih zveri.

Pri trajnostnem gospodarjenju z gozdovi je ključnega pomena dobro razumevanje povezanosti med gozdnimi ekosistemi in kakovostjo površinske in podpovršinske vode, saj so spremembe v kakovosti vode pogosto odraz načina gospodarjenja z gozdom. Ta pa ima lahko tako negativne kot tudi pozitivne učinke na kakovost voda, ki se stekajo z določenega prispevnega območja. Npr. izkoriščanje lesne mase in gradnja gozdarske infrastrukture za spravilo lesa lahko ob neupoštevanju protierozijskih ukrepov povzroči povečano sedimentacijo v vodotoku in poslabšanje kvalitete vode. Nasprotno pa prehod iz poljedeljske rabe tal v gozdni ekosistem običajno ugodno vpliva na kvaliteto vode, saj se zmanjšajo erozijske izgube tal, ustvarjajo se tudi dalj časa trajajoče zaloge vode v gozdnih tleh in lesni biomasi.

Izvajanje nekaterih gozdarskih ukrepov kot so npr. izgradnja gozdnih cest, vlak, poti, sečnja, priprava površin za pogozdovanje in podobno lahko v določenih primerih s povzročenimi povečanimi obremenitvami s sedimentom, spremembami osončenosti, raztopljenega kisika in raztopljenih hranil, zlasti dušika, bistveno poseže v kvaliteto vode. Pri tovrstnih posegih skoraj vedno prihaja do uničenja krovnih tal, ki so potem izpostavljena erozijskim procesom. Odkrita tla se po izgradnji gozdnih poti in vlak pod težo gozdarske mehanizacije zgostijo, bistveno se zmanjša njihova infiltracijska sposobnost in mnogo hitreje pride do površinskega odtoka. Erozijske izgube so največje takoj po izgradnji ter takrat, ko poteka spravilo lesa po obilnejših padavinah, ko je zemlja namočena.

V času padavin prihaja do izpiranja prsti, ki se potem odplavlja v bližnji vodotok. Čeprav sam proces poteka dokaj prikrito, lahko včasih spremeni življenjske razmere v potoku. Z namenom, da se ohranjajo naravne razmere v potokih, je potrebno z ustreznimi ukrepi erozijske procese preprečevati ali vsaj blažiti njihove posledice. Nujno je treba varovati in ohranjati obrežno vegetacijo, nanašanje zemlje pa odvracati od vodnih tokov. Na gozdnih poteh je treba zagotoviti ustrezno odvodnjavanje in se izogibati neposrednim iztokom v vodotok.

Vendar pa literatura navaja, da so opažena poslabšanja kakovosti vode, ki izhajajo iz gozdarske dejavnosti, relativno kratkega trajanja in se po ponovni zarasti vegetacije močno zmanjšajo. Poleg tega do njih prihaja poredkoma, saj se posegi v gozd običajno vršijo enkrat ali dvakrat v življenju ene generacije dreves, kar pomeni od nekaj let pri intenzivnem gospodarjenju s hitrorastočimi drevesi v tropskih predelih do nekaj stoletij v gozdovih nizke produktivnosti.

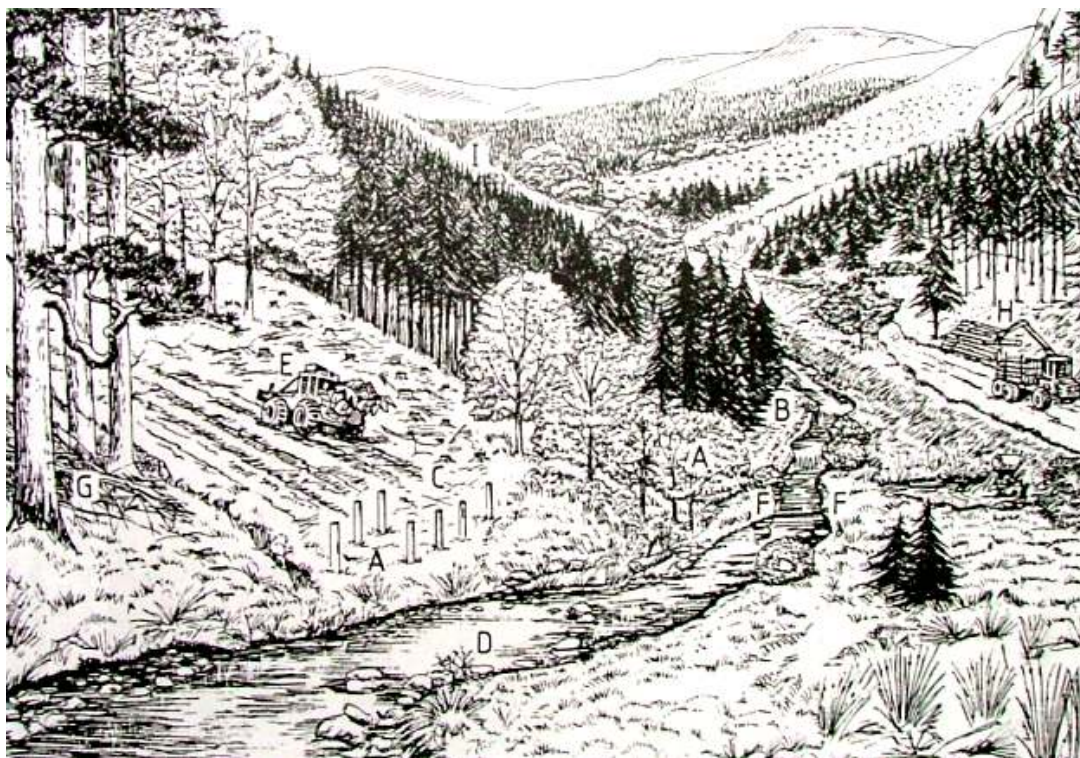
Drevesna vegetacija ima bistveno vlogo pri procesih kot so prestrezanje padavin, izhlapevanje, transpiracija, evapotranspiracija ter kroženje energije. Na razmere v vodnem okolju vpliva tudi izbira in razporeditev drevesnih vrst – npr. preblizu brežin vodotoka posajeni iglavci vplivajo na spremembo produktivnosti vodotoka, spremeni se lastna produktivnost in tudi alohtoni vnos. V takem vodotoku, ki teče skozi zrel gozd z gostimi krošnjami, ki preprečujejo zarast podrasti, pride do zmanjšanja biološke pestrosti, predvsem žuželk in rib. Obrežna vegetacija namreč predstavlja kritje za številne živali in s preprečevanjem bočne erozije bistveno prispeva k ohranjanju tolmunov. Goste drevesne krošnje pa učinkujejo tudi blažilno, saj voda v takih potokih doseže nižje temperaturne ekstreme tako v poletnem kot tudi v zimskem času. To se odraža tudi na rasti rib, še posebej na nivoju iker, spremembe so opazne tudi pri larvalnih stadijih nekaterih skupin vodnih žuželk.

Kot uspešen način zagotavljanja na gozd vezanih pozitivnih učinkov, ki se odražajo tudi v vodnem okolju, literatura navaja obrežno zasaditev grmovne vegetacije v presledkih. Tako naj bi bilo z grmovno vegetacijo osenčenega le 50% vodotoka, od grmovnih in drevesnih vrst pa se omenjajo predvsem jesen, trepetlika, breza, leska, jrebika in vrba. Listi teh dreves posredno služijo kot vir hrane za ribe, saj z njih padajo v vodo razne žuželke, odmrli rastlinski deli pa so pomembni za razkrojevalno združbo invertebratov (Jeffris & Mills, 1990).

Koncentracija raztopljenega kisika v vodi je funkcija njegove topnosti (pogojena s temperaturo) ter ravnotežja med porabo kisika (npr. respiracijo, dekompozicijo) in njegovim vnosom (predvsem s fotosintezo vodnih rastlin in turbulentnega mešanja tekoče vode). Na količino raztopljenega kisika vpliva oksidacija organske snovi in razgradnja organske snovi,

ki jo vršijo vodni mikroorganizmi. Tako npr. dodaten vnos hranil in suspendiranih snovi v vodotok kot posledica sečnje gozdov, zaradi povečane razgradnje, potencialno močno poveča potrebo po kisiku.

Posledice sečnje in spravila lesa se v vodnem okolju lahko odražajo tudi kot spremembe toka in temperature vode, transporta plavin, izgube hranil, lahko pride tudi do uničenja dristišč rib ipd. Podrta drevesa in vejevje lahko ovirajo tok vode in hkrati preprečijo gibanje rib vzdolž vodotoka. V takih primerih je potrebno čim prej ukrepati in zataknjeno plavje odstraniti. Poleg tega, da zataknjeni hlodi preprečujejo ali vsaj ovirajo prehod rib, pa lahko špranje med njimi nudijo ribam tudi primerna skrivališča v katera se umaknejo, zlasti v času drstenja. Pri vleki posekanega lesa do nakladalne rampe je treba paziti, da hlodi preveč ne poškodujejo gozdne ruše, saj je potem le-ta izpostavljena erozijskim procesom. Posek dreves v neposredni okolici vzdolž vodotoka vpliva na povečanje temperature vode, saj se zmanjša osenčenost.



Slika 10: Priporočeni gozdarski ukrepi varovanja vodnega okolja na pogozdenih območjih (povzeto po Jeffris & Mills, 1990).

- A...Zasaditev širokolistnih dreves blizu vodotoka
- B...Ohranjati približno polovico površine toka vode osenčenega, preostali del pa osenčen
- C...Izogibati se oranju v neposredni bližini vodotoka

D...Ohranjati vodne količine

E...Ne orati po nepotrebem

F... Vzdrževati zaščitne nezarasle pasove v širini ne manj kot 5 metrov na obeh bregovih

G...Zadrževati vejevje stran od vodnega toka

H...Les, pripravljen za odvoz, odlagati na suha tla stran od vodotoka

I...Oblikovati brežine vodotoka v harmoniji s krajino

Učinki gozdarjenja se torej lahko odražajo tudi na procesih v vodnem okolju. Zmanjšata se transpiracija in prestrezanje padavin, kar se kaže tudi v spremembi rečnega režima. Zaradi izpostavljenosti soncu se poveča temperatura vodotoka, poveča se primarna produkcija, ki ob obremenitvi z organskimi hranili pogosto privede do evtrofikacije.

### **2.7.2 Vpliv gozdnosti prispevnega območja na jezerski ekosistem**

Na prispevnem območju poraslem z gozdom sestavljajo hidrološki krog padavine, prestrezanje le-teh na krošnjah dreves, evapotranspiracija, površinski in podpovršinski odtok, podzemni tok ter odtekanje vode z vodotokom. Od načina gibanja vode v tem hidrološkem krogu je odvisna tudi njena kakovost, saj voda na svoji poti skozi gozd pobira in nosi sediment ter raztopljenih hranila (Burley, 2004).

Voda, ki se steka s prispevnega območja poraslega z gozdom, je v splošnem najvišje kakovosti za npr. pitno vodo, vodne habitate in rekreacijsko rabo. Pregled literature dosledno navaja pojavljanje relativno visoke kakovosti za vodo, ki prihaja z gozdom poraslega zaledja, še posebej v primerjavi s prispevnimi površinami na katerih je prisotna kmetijska dejavnost ali poselitev. Prepoznavanje vloge gozdov pri preskrbi s kakovostno vodo je postala ključna gonilna sila pri oblikovanju usmeritev za varovanje in ohranjanje gozdov ter razvoj dobre gozdarske prakse.

Vpliv obdajajočega gozda na jezera in bajerje se kaže predvsem v kvaliteti vode, ki prihaja v njih z vodotoki ali le-te napajajo podzemne vode. Tip gozda in vrsta tal vplivata na količino in

sestavo hranil, pH in vnos organskih snovi. Učinek na senčenje in temperaturo vode pa je, za razliko od vodotokov, v jezerih, ki jih obdaja gozd, minimalen (Westlake, 1998).

Fizikalno-kemijski parametri se med posameznimi tipi vodotokov močno spreminjajo. V odvisnosti od geologije, morfologije in deleža gozdnih površin na prispevnem območju se pojavljajo velike razlike v količini suspendiranih snovi, raztopljenih hranil, kisika in pH vrednosti. Vendar pa je za take vodotoke, vsaj v primerjavi s tistimi, ki tečejo skozi negozdne površine, vseeno možno narediti nekaj posplošitev. Gozdovi prestrezajo padavine in skladiščijo zaloge vode kar se odraža na zmanjšanih pretokih. Slabša je osvetljenost in drugačna je spektralna sestava svetlobe, saj gozd prestreže znaten delež vpadne svetlobe. Ta učinek je še posebej izražen pri manjših vodotokih, katerih gladino povsem prekrivajo krošnje dreves. Temperatura vode v njih je zato bistveno nižja kot bi bila, če jih ne bi prekrivala riparijska vegetacija. Večji je vnos raztopljenih in partikularnih organskih snovi, drugačna je tudi njihova osnovna sestava. Za vodotoke listnatih gozdov so značilna nihanja vnosov organskih snovi, predvsem odpadlega listja, ki se pojavlja sezonsko. Prihaja do naplavljanja listja, ki skupaj z zapadlim lesom ustvarja zajezitve ter ima pomemben vpliv na hidrologijo. Vnos z riparijske vegetacije odpadlega rastlinskega materiala (ang. litter fall) ima velik vpliv na ekosistemske procese v vodotoku. Prevladuje odpadlo listje, ki ima pomembno vlogo v kroženju hranil in pretoku energije, predstavlja pa tudi vir hrane in habitat vodnim makroinvertebratom.

Površinske in podzemne vode, ki se stekajo iz neprizadetih gozdnatih prispevnih površin vsebujejo običajno malo hranil, saj se jih večinoma porabi že znotraj gozdnega ekosistema.

Koncentracije raztopljenih hranil so funkcija kroženja hranil, ki obsega:

- prispevek preperevanja geološke podlage (primarni viri fosforja, kalcija, magnezija, natrija in kalija) ali direktno iz atmosfere (primarni viri dušika),
- zaloge v zemljini,
- izraba rastlin (črpanje hranil iz prsti) in vgrajevanje v biomaso,
- sproščanje organsko vezanih nutrientov v procesu razgradnje,
- odplavljanje z vodnim tokom ali izpiranje v podtalje.

V gozdovih sta med raztopljenimi hranili najpomembnejša fosfor v obliki fosfatov ( $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{HPO}_4^{2-}$ ,  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ) in nitratni dušik ( $\text{NO}_3^-$ ), ki pogosto omejujeta produktivnost vodnih rastlin.

Njuno sproščanje potencialno povečuje tudi gozdarska dejavnost, predvsem s sečnjo pa tudi gozdni požari. Raztopljeni dušik se nahaja kot nitrit ( $\text{NO}_2^{2-}$ ), amoniak ( $\text{NH}_3$ ), amonij ( $\text{NH}_4^+$ ) in organski dušik. Visoke koncentracije raztopljenih nitratov predstavljajo tveganje za zdravje ljudi v kolikor se voda uporablja kot pitna voda. Ameriška agencija za zaščito okolja (USEPA) in kanadski standard za pitno vodo dovoljujeta kot zgornjo mejo nitratov v vodi 10 mg/l. Nekoliko višje imata postavljeno zgornjo mejo Svetovna zdravstvena organizacija (WHO) in Evropska skupnost (EU), ki imata v standardu kot mejno dopustno koncentracijo nitratov vodi 11,3 mg/l. Raztopljen amoniak je lahko toksičen za vodne organizme že pri koncentracijah manjših od 0,03 mg/l, medtem ko je njegova dolgotrajna prisotnost potencialno toksična že pri koncentraciji 0,002 mg/l. Netoksičen amonij ( $\text{NH}_4^+$ ) nastaja iz amoniaka pri pH vrednostih, ki so navadno značilne za gozdne vodotoke. Fosfati niso toksični. Priporočene vrednosti fosfatov, ki jih navajajo standardi o kakovosti vode se gibljejo med 0,025 do 0,1 mg/l celotnega fosforja. Vode nedegradiranih rek po svetu vsebujejo v povprečju 0,015 mg/l amoniaka in 0,1 mg/l nitratov. Vodotoki velikih gozdnatih območij v ZDA imajo v povprečju 0,23 mg/l nitratov. Na splošno pa velja, da koncentracije nitratov nad 1,0 mg/l kažejo na antropogene vplive. Nitrat je nujno potreben za rast rastlin, vendar pa se potrebe rastlin po nitratih skozi leto spreminjajo, zato prihaja do sezonskih nihanj v koncentracijah nitratov, tako v zemljini kot tudi v površinskih vodah. Vendar pa se v gozdnih vodotokih odstranijo precejšne količine nitratov. Pri gravitacijskem toku vodotoka porabljajo dušik različne življenjske združbe, nekaj se ga veže v sediment ali pretvori v plinasto obliko. Na količino raztopljenih hranilnih snovi vplivajo tip in starost vegetacije, geološka podlaga, velikost vodotoka, velikost in topografija porečja ter podnebje. Zaradi tega se pojavljajo precejšne razlike v kemijskih značilnostih vode, tako med posameznimi vodotoki, kot tudi znotraj enega vodotoka. Iglasti gozdovi imajo npr. običajno več raztopljenega dušika v organski obliki, medtem ko je za listnate gozdove značilno več dušika v anorganski obliki. Nekatera območja, npr. gozdovi rdeče jelše (*Alnus rubra*) v Oregonu v ZDA imajo naravno povečane vrednosti nitratov, saj je za jelšo značilna fiksacija atmosferskega dušika. Listi črne jelše (*Alnus glutinosa*) vsebujejo do štirikrat več dušika v primerjavi z listi drugih listavcev. V vodotokih ob katerih med riparijsko vegetacijo prevladuje črna jelša lahko pričakujemo precej večje količine dušika.

Odpadlo listje in neposredno v vodo odpihnjeni rastlinski material je lahko pomemben pri majhnih jezerih in ribnikih v kolikor se okoli njih nahajajo močni gozdi sestoji, vendar pa je v splošnem ta vpliv v primerjavi z organskim obremenjevanjem iz drugih zunanjih virov precej majhen. Povsem drugače je pri manjših, z drevesno ali grmovno vegetacijo povsem prekritih vodotokih, ki z odpadlimi rastlinskimi deli pridobijo večino organskih snovi. Tudi povprečne koncentracije raztopljenega partikularnega organskega ogljika v vodi manjših vodotokov so neposredno povezane z vnesenimi količinami odpadlega listja. Za vodotoke zmernih širin so značilna sezonska nihanja v virih raztopljenega organskega ogljika, ki so zaradi odpadanja listja največji jeseni in pozimi, najmanjši pa spomladi in poleti. Čeprav z odpadlim listjem pride v vodotoke večina partikularnih organskih snovi, se precejšen delež nutrientov in raztopljenih organskih snovi izloči kmalu zatem, ko listje odpade z dreves. Še več raztopljenih snovi pa se sprostijo iz sveže odpadlega listja (Westlake, 1998).

Večina organske snovi v vodnih ekosistemih je neživeče in jo skupno imenujemo detritus. Organski detritus ali "biodetritus" sta Odum in de la Cruz (1963) opisala kot mrtvo partikularno snov, ki jo naseljujejo mikroorganizmi razgrajevalci. Delovanje vodnih ekosistemov temelji na kroženju organskega ogljika med živečimi in neživečimi komponentami. Detritus je sestavljen iz vseh neživečih organskih snovi tako v raztopljeni kot tudi partikularni obliki. V vodnih ekosistemih so v splošnem skoraj vse organske snovi iz raztopljenega organskega ogljika (DOC) in partikularnega organskega ogljika (POC). Razmerje med DOC in POC je v jezerih in tekočih vodah običajno med 6:1 in 10:1. Organske snovi same po sebi izhajajo iz fotosinteze, ki poteka znotraj jezerskega ali rečnega sistema ali na prispevnem območju. Obremenitve s partikularnim organskim ogljikom s prispevnega območja so običajno dokaj majhne, saj se večina organskega ogljika transportira in vnese v raztopljeni obliki (Hauer, 1996).

V večini majhnih in zelo majhnih jezer po svetu večina avtohtone produkcije detritusa izhaja iz bentičnega litorala in vodne oz. močvirske vegetacije, ki dodatno prispeva k obremenitvam z raztopljenimi organskimi snovmi s kopnega. Podobno pa v potokih prevladuje heterotrofni detritski metabolizem, pri katerem predstavlja glavni vir alohtoni rastlinski material s kopnega. Detritski metabolizem zagotavlja vodnim ekosistemom osnovno metabolno stabilnost in prevladuje tako v jezerih kot v vodotokih. Počasna razgradnja detritusa

zagotavlja naravno stabilnost ekosistema, ki energetsko blaži kratkotrajna spremenljiva nihanja populacij višjih trofičnih vrst, ko se le-te z rastjo in razmnoževanjem prilagajajo spremembam okolja (Westlake, 1998).

Organske snovi v prsti in vodi lahko gledamo kot mešanico rastlinskih, mikrobnih in živalskih produktov, ki se nahajajo v različnih razgradnih stadijih. Sestavljeni so iz snovi, ki so se biološko ali kemijsko sintetizirale iz razgradnih produktov oz. v okviru različnih mikrobnih procesov. Kljub njihovi kompleksni zgradbi jih lahko preprosto razdelimo na dve skupini in sicer na nehuminske in huminske snovi. Nehuminske snovi so snovi, ki vsebujejo ogljikove hidrate, beljakovine, peptide, aminokisliline, maščobe, rastlinske smole, pigmente in druge nizkomolekularne substance. Te snovi so v splošnem dokaj nestabilne, zato jih lahko mikroorganizmi s svojimi hidrolitičnimi encimi razmeroma hitro razgradijo. Huminske snovi so običajno temneje obarvane (rumenkasto do črno) in nastajajo večinoma kot rezultat mikrobne aktivnosti na rastlinskem materialu, kasneje pa sledi polimerizacija. Tako nastale snovi so relativno odporne na nadaljnjo mikrobno razgradnjo. K huminskim snovem prispevata največji delež celuloza in lignin v rastlinskem materialu. Lignin sestavljajo številni aromatski obroči, ne vsebuje pa dušika.

Stopnja mineralizacije organskega materiala rastlinskega in živalskega izvora je odvisna od razgradljivosti snovi, ki jih organski material vsebuje, aktivnosti potrebnih mikroorganizmov in razmer v katerih potekajo procesi dekompozicije. Dekompozicija organske snovi je izrednega pomena za delovanje vsakega jezerskega oz. močvirskega ekosistema. Boyd je odkril, da poteka mineralizacija predhodno suhih tkiv, ki se razgrajujejo v vodi, precej hitreje kot v zraku nad vodno površino (Boyd, 1969 cit. po Westlake, 1998). V poskusih, ki jih je opravil Boyd, se je izkazalo, da so razgrajujoče alge boljši vir dušika v primerjavi z višjimi rastlinami – npr. z rogozem (*Typha sp.*).

Večina sedimenta, ki ga lahko opazimo v vodotokih, ki imajo z gozdom porasle prispevne površine, je običajno rezultat geološkega preperevanja in erozije, ki sta oba naravna procesa. Pomemben naravni vir sedimenta so tudi same struge vodotokov vključno z brežinami, ki največkrat prispevajo največji delež suspendiranih snovi v neprizadetih gozdnih prispevnih



površinah (drugače je, če gre za geološko nestabilen in plazanju podvržen teren). Tako so npr. povečane koncentracije suspendiranih snovi v vodi, ki jih izmerimo po nalivu odraz ponovnega premeščanja po strugi vodotoka navzdol ali zdrsa nestabilnega dela brežine v vodotok.

Povečanje količine suspendiranih snovi, ki izhaja iz erozijskega procesa in zemeljskih plazov lahko poslabša kakovost vode, ki potem npr. ni več primerna za rekreacijsko rabo, zmanjša se globina vodotoka, zapolni tolmine, poveča širino vodotoka in povzroči sedimentacijo kar vpliva na zmanjšanje prepustnosti, obenem pa se zaradi poslabšanja kakovosti vode poslabšajo tudi razmere za življenje rib, še posebej v času drsta. Akumuliranje finih delcev tudi zapre pot svetlobi in prekrije bentične združbe, ki so tako izločene iz prehranjevalne verige. Rezultirajoče koncentracije suspendiranih snovi so funkcija učinkov podnebja, lokacijskih posebnosti in načina gospodarjenja z gozdovi. Podnebje ima vpliv na erozijske izgube prsti, ki so odvisne predvsem od trajanja, količine, intenzivnosti in oblike padavin. Pri površinskem odtoku je pomembna povezava med intenzivnostjo padavin in infiltracijsko sposobnostjo zemljine. Na zemljinah z visoko infiltracijsko kapaciteto redkeje pride do površinskega odtoka in erozijskega odplavljanja prsti, razen v primerih, ko je ob dovolj veliki intenzivnosti padavin presežena infiltracijska kapaciteta. V večini primerov pri gozdnih prsteh infiltracijska kapaciteta presega običajno intenziteto padavin, zato do površinskega odtoka in odnašanja prsti v neprizadetih gozdnih prihaja redko. Bistvenega pomena je tudi pokrovnost tal oz. sestava in struktura vegetacije oz. njena vloga pri transpiraciji, prestrezanju padavin in zadrževanju vlage. Vegetacija prispeva tudi organsko snov z razgradnjo odpadlega listja, ki kot zaščitna krovna plast varuje humus. Prst še dodatno stabilizira koreninski sistem, ki bistveno zmanjšuje odnašanje zemljine. Dodatno vplivajo na erozivnost in posledično odnašanje sedimenta v vodotok še dolžina in strmost pobočja ter gostota mreže vodotokov. Erozivnosti so bolj podvržena dolga in strma pobočja, odnašanje sedimenta v vodotok pa je bolj verjetno, če obstaja gosta mreža vodotokov. Erozivnost se lahko spreminja prostorsko in časovno tudi na naravnih gozdnatih prispevnih površinah na katera človek še ni posegel.

V primerih spremenjene rabe tal, ko npr. prvotno kmetijska zemljišča (polja, pašniki) načrtno pogozdijo ali le-te zaradi opuščanja kmetijstva samodejno preraste gozd, se vplivi tako spremenjene rabe tal, vsaj po navedbah literature, kažejo v izboljšanju kakovosti vode.

Vendar pa o tovrstnih ugodnih vplivih spremenjene rabe tal na kakovost vode v literaturi obstaja malo primerjav, vsaj med prvotno kmetijsko rabo in kasnejšim gozdom na isti površini. Vplivi na kvaliteto vode zavisijo od prejšnje rabe in načina obdelave tal, trenutnega gospodarjenja z gozdom, vrste tal, lokalnih hidroloških značilnosti in podnebja. V splošnem prehod iz prvotno kmetijskih površin v gozdni ekosistem pomeni potencialno zmanjšanje erozije in kasnejše sedimentacije, obenem pa tudi zmanjšanje raztopljenih hranil in pesticidov v površinskih vodah oziroma podtalnici. Izboljšanje kakovosti vode je predvsem funkcija manjšega odtoka in izpiranja pa tudi nižjih koncentracij potencialnih polutantov, ki sledijo po prehodu v gozdno površino. Potem ko je gozd prerasel prvotna polja oz. pašnike, je bilo opaženo zmanjševanje odtoka in izpiranja, najverjetneje kot odraz povečanega prestrezanja padavin na rastlinju in evapotranspiracije. Odpadli deli rastlin, predvsem listje, so prispevali k izboljšanju strukture tal in poroznosti ob čemer se je povečala infiltracijska kapaciteta tal. Zmanjšal ali celo povsem prekinil se je tudi vnos prej prisotnih pesticidov in gnojil. Varovanje gozdov in trajnostno gospodarjenje z njimi je zato bistvenega pomena za izboljšanje ali vzdrževanje dobre kakovosti voda.

### **2.7.3 Kmetijstvo**

Z vidika varovanja vodnih virov in ohranjanja vodnega volumna v jezerski kotanji je bistvenega pomena tudi način izvajanja kmetijske dejavnosti na samem prispevnem območju. Kmetijstvo lahko negativno vpliva na razmere v jezerskem ekosistemu z vnosom hranil, predvsem fosforja in dušika, ki sta odgovorna za evtrofikacijo. Neustrezna raba kmetijskih zemljišč pa lahko prispeva k izgubljanju prsti z erozijo in povečanemu vnosu plavin v jezersko kotanjo.

V Sloveniji je vodna erozija v rahlem upadanju, vsaj tista, katere vzrok so obdelana kmetijska zemljišča. Te pozitivne vplive lahko pripišemo dejstvu, da je mnogo obdelovalnih zemljišč v reliefu z nagibom spremenjenih v travnike, številni bolj strmi travniki pa so opuščeni in se zaraščajo z začetno gozdno vegetacijo. Intenzivna kmetijska pridelava lahko v nekaterih primerih povzroči zbijanje tal, pri čemer se zaradi manjše infiltracijske sposobnosti tal povečuje površinski odtok vode. Hkratno zmanjševanje deleža organske snovi v obdelovalnih

horizontih povzroča slabšo obstojnost strukturnih agregatov. S tem pa so dane razmere za povečanje erozije. V novejšem času se pojavljajo tudi nekatere klimatske spremembe (npr. daljša sušna obdobja in močna deževja). Močno izsušena tla imajo zelo zmanjšano sposobnost vpijanja (infiltracije), kar ob močnem nalivu izredno poveča površinski odtok vode, s tem pa tudi vodno erozijo. Nekatere poljščine ne dajejo veliko zaščite tlom pred erozijo – npr. koroza, medtem ko imajo posevki travno-deteljnih mešaníc izrazito varovalen vpliv.



Slika 11: Strukturna tla (levo) kljubujejo dežnim kapljam in ohranijo ugodno razmerje med makro in mikro porami, pri nestrukturiranih tleh pa skupki delcev tal razpadajo, ko se tla osušijo pa razpokajo (desno).

Pri eroziji tal zaradi učinka padavin ali tekočih voda pride lahko do poškodb tal tako na površino kot v globljih plasteh tal. Ob fizičnih poškodbah tal pride tudi do izpiranja hranil v vodo. Varovanje tal pred erozijo z vodo pomeni tudi varovanje voda pred onesnaženjem. Neustrezna obdelava površin lahko dolgoročno na večjih območjih poveča raven potencialno nevarnih snovi v vodah. Pri rabi kmetijskih zemljišč je zato treba upoštevati naslednje:

- Strukturna tla z veliko organske snovi in visoko mikrobiološko aktivnostjo so manj dovzetna za poškodbe z erozijo vode.
- Učinek delovanja erozije z vodo je predvsem odvisen od nagiba zemljišča, zato bi morala biti tista z naklonom večjim od 20% (12°) trajno zatravljena. Pri nakloninah med 10 in 20% (6-12°) tla lahko obdelujemo, vendar je potrebno redno izvajati agrotehnične ukrepe za zmanjševanje učinka delovanja vode na tla.
- Obdelava tal ter setev ali saditev kmetijskih rastlin in drugi agrotehnični ukrepi naj bodo opravljeni prečno na naklonino.
- Na nakloninah ima pred oranjem prednost priprava tal brez njihovega obračanja. Plug naj zamenjajo razna orodja za konzervacijsko obdelavo tal, v primeru dobre strukture tal tudi direktna setev.

- Na tleh s slabo strukturo v primeru, da na njih pridelujemo okopavine (koruza, pesa, krompir), lahko izboljšamo vpijanje vode z vrezovanjem jarkov ali poglobljenih brazd v določeni razdalji, ki jih pustimo odprte celo rastno dobo.
- Primeren kolobar v katerega so vključene metuljnice, travno deteljne mešanice ter ozimna rž in ječmen (pred zimo gosto prekrijejo tla) že sam po sebi pomembno zmanjšuje erozijo tal.
- Preko zime naj zemljišča ne ostanejo brez zelenega pokrova ali vsaj žetvenih ostankov.

Intenzivno kmetovanje pogosto vodi do prevelikega obremenjevanja s hranili, predvsem z nitrati in v določeni meri tudi fosfati. Najpogostejši vir hranil je neustrezno ali čezmerno gnojenje kmetijskih površin. Do izpiranja hranil prihaja, če količine hranil v tleh presegajo potrebe rastlin. V kmetijstvu se uporablja tako gnojenje z živinskimi gnojili kot tudi z mineralnimi gnojili. Preobremenjevanju okolja s hranili se je mogoče izogniti s količinsko in časovno ustrezno uporabo gnojil glede na potrebe kmetijskih rastlin po hranilih. Pri takem načinu gospodarjenja so možnosti za izpiranje in izgube teh hranil veliko manjše.

Živinska gnojila se najbolj izkoristijo v času vegetacije. Na splošno je najprimernejši čas za gnojenje z živinskimi gnojili pozno pozimi in spomladi. Z gnojenjem jeseni ali pozimi se povečajo izgube dušika v vode, z gnojenjem poleti pa izgube amonijaka v zrak. Tveganje za onesnaževanje voda z gnojivko in gnojnico je odvisno od stanja tal. Še posebej veliko je, če:

- so tla razmočena,
- so tla zamrznjena ali zasnežena z visoko snežno odejo,
- so tla preveč suha in razpokana,
- so tla plitva, na peščeni ali kamniti podlagi,
- so tla na površini zbita,
- so zemljišča poplavna,
- so zemljišča nagnjena,
- so zemljišča drenirana ali prepletena z drenažnimi jarki,
- če so bila zemljišča nedavno obdelana s podrahljačem,
- če se zemljišča nahajajo v bližini vodotokov.

Gnojenje z mineralnimi gnojili moramo prilagoditi potrebam rastlin, s tem da upoštevamo rezultate analiz tal in vnos hranil v tla z organskimi gnojili. V primeru uporabe živinskih gnojil je zato treba ustrezno zmanjšati odmerke mineralnih gnojil, kar pa je odvisno od količine ter vrste uporabljenih živinskih gnojil. Živinska gnojila se med seboj razlikujejo po vsebnosti hranil, kar je treba upoštevati pri izdelavi gnojilnih načrtov oziroma največjih dovoljenih letnih odmerkov živinskih gnojil na hektar kmetijskih površin (preglednica 2).

Preglednica 2: Vsebnost rastlinskih hranil v živinskih gnojilih (v kg/t oz. kg/m<sup>3</sup> pri tekočih gnojilih) in največji dovoljeni letni odmerki živinskih gnojil (povzeto po Verbič, 2006).

Živinsko gnojilo	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Mejne vrednosti letnega vnosa (t, oziroma m <sup>3</sup> /ha)
Goveji gnoj	3,0	2,9	5,0	40
Goveja gnojnica	2,0	0,3	3,3	85
Goveja gnojevka	4,4	1,6	4,0	40
Prašičja gnojevka	5,0	2,7	2,7	35
Ovčji gnoj	5,0	3,0	7,0	35
Konjski gnoj	4,3	3,0	6,0	40
Kokošji gnoj (suhi kurjeki)	18,0	24,0	14,0	5

Opomba: Navedene vsebnosti hranil v živinskih gnojilih predstavljajo količine hranil, ki že vključujejo izgube hranil (N) med skladiščenjem. V preglednici navedene vrednosti za vsebnosti rastlinskih hranil v gnojilih so okvirne, kar pomeni, da v vsaki vrsti živinskega gnojila ni vedno toliko hranil kot je navedeno. V primeru govejega in kokošjega gnoja je omejitveni dejavnik letnega vnosa fosfor, v ostalih primerih pa dušik.

Odmerke živinskih gnojil je potrebno prilagoditi tudi drugim dejavnikom, kot so:

- založenost tal,
- letni gnojilni načrt,
- predviden kolobar,
- čas uporabe živinskih gnojil,
- posebne zahteve za gnojenje na vodovarstvenih območjih.

Poleg izgub med skladiščenjem se nekaj hranil iz živinskih gnojil porabi tudi po uporabi (gnojenju) na kmetijskih zemljiščih. Deležu v tla vnesenih rastlinskih hranil, ki jih rastline lahko uporabijo za rast in razvoj, pravimo izkoristek hranil iz živinskih gnojil. Ta je odvisen od vrste, količine in časa uporabe živinskega gnojila. Okvirni izkoristki dušika pri gnojenju so naslednji:

- gnojnica 85 %
- gnojevka 75 %
- hlevski gnoj (njiva) 70 %
- hlevski gnoj (travnik) 50 %

Vzrok za navedene razlike v izkoristkih gre iskati v različnih kemijskih oblikah dušika v posameznih živinskih gnojilih. V goveji gnojnici je 90 % dušika v amonijakovi obliki, ki jo rastline lahko takoj neposredno koristijo. V goveji gnojevki je delež amonijakovega dušika manjši (50 %), še manjši pa je v hlevskem gnoju (10-15 %). Ker amonijakov dušik rastline neposredno uporabijo za rast in razvoj, so torej izkoristki dušika boljši v tistih primerih, ko vsebuje živinsko gnojilo več amonijakovega dušika.

Velike količine dušika, ki lahko onesnaži podtalnico se sprostijo tudi pri preoravanju trajnega travinja. Če se odločimo za preoravanje večjih površin naravnih travnikov na enem mestu, storimo to postopoma v več zaporednih letih. Njive moramo zasejati čim prej po preoravanju. Tudi pri izvajanju pašne živinoreje je potrebno poskrbeti, da se živina ne zadržuje na enem mestu in da so zemljišča, kjer se zadržuje, vedno ozelenjena.

Onesnaženje podtalnice s hranili je odvisno tudi od nekaterih naravnih dejavnikov, na katere človek nima vpliva ali pa je njegov vpliv majhen. Ti dejavniki so:

- Vrsta tal: za onesnaženje so nevarna predvsem lahka prepustna tla.
- Kmetijska rastlina: na travinju je izpiranje hranil bistveno manjše kot na njivah.
- Količina padavin in izhlapevanje vode: velik pretok vode zagotavlja hitro obnovo podtalnice in s tem redčenje hranil v podtalnici. Glede onesnaženja z nitrati so najbolj ogrožena območja z majhno količino padavin in intenzivnim izhlapevanjem vode.
- Zaledna nekmetijska in neposeljena območja: dotok čiste vode s teh območij zagotavlja redčenje nitratov v podtalnici.

Na posameznih lokacijah, kjer so skladišča hlevskega gnoja, jame oz. lagune za gnojevko in gnojnico, silažni stolpi, korita z odpadnim silažnim sokom, lahko ob neupoštevanju stanja okolja in izbiri napačne tehnologije, prihaja do lokalnega (točkovnega) onesnaženja vode.

Živinska gnojila se morajo skladiščiti v ustreznih zbiralnikih kot so lagune, gnojišča ali gnojnične jame, ki morajo biti vodotesni in izdelani iz betona ali drugih ustreznih materialov, odpornih proti kislinam. Gnojišča morajo biti drenirana in ne smejo imeti odtoka v površinske ali podzemne vode. Skladišča živinskih gnojil morajo zadostovati za obdobje skladiščenja, ki ustreza obdobju, ko gnojenje z organskimi gnojili ni dovoljeno ter dodatno še za obdobje ko vremenske razmere ne dopuščajo gnojenja. Priporočljiva dolžina skladiščenja na območju Slovenije je 6 mesecev in na to morajo biti preračunane tudi kapacitete gnojišč ali gnojnih jam. Natančneje se skladiščne kapacitete preračunajo glede na kategorijo živali in na klimatsko območje v katerem se nahaja kmetijsko gospodarstvo.

Pri tekočih gnojilih je nevarnost onesnaženja voda bistveno večja kot pri hlevskem gnoju s steljo. Pri jamah za gnojnico je potrebno nadzirati vodotesnost in po potrebi opraviti vzdrževalna dela ali obnovo.

Najpogostejša biogena elementa, ki prihajata v jezero, sta torej fosfor in dušik. Do njunega vnašanja v jezerski ekosistem prihaja zaradi neustreznega odvajanja komunalnih odpadkov, na kmetijsko usmerjenih območjih pa z njunim izpiranjem z intenzivno obdelanih kmetijskih površin. Vsebnost hranil v jezeru je zato zelo odvisna od gostote prebivalstva oziroma intenzivnosti rabe prostora v pojezerju. Proces, kot sta evtrofikacija in sukcesija jezerskega ekosistema sta sicer naravna procesa, ki pa lahko ob povečanem vnosu hranil in povečanemu dotoku plavin, potekata bistveno hitreje in ustvarjata opazne spremembe v rastlinskih in živalskih združbah tako v jezeru kot v njegovi okolici.

### **3 Metode vrednotenja kakovosti jezerskih ekosistemov**

Stanje vodnega okolja je rezultat kumulativnega učinka naravnih razmer in antropogenih vplivov (kmetijska dejavnost, poselitev, gospodarjenje s samim jezerskim ekosistemom in njegovim prispevnim območjem). Poslabšanje kakovosti vode in vodnega okolja zaznavamo vizualno in preučujemo na podlagi različnih kemijskih in ekoloških analiz. Namen spremljanja stanja jezer je celovit pregled ekološkega in kemijskega stanja oziroma ekološkega potenciala zadrževalnikov ter sledenje dolgoročnih sprememb, naravnih in tistih

zaradi stopnjevanja človekovih pritiskov na okolje. Ugotovljeno stanje kakovosti vodnega telesa služi kot osnova pri nadaljnjem odločanju o ukrepih, ki se bodo izvajali na neki površinski vodi in njenem prispevnem območju.

Za ugotavljanje povezanosti med hidrološkimi pojavi in stanjem kvalitete površinskih vodnih teles je potrebno pridobiti podatke o kvaliteti vode na terenu z enkratnimi točkovnimi meritvami ali kontinuirnim merjenjem v času, ko pričakujemo spremembe kvalitete vode kot posledico nastalih hidroloških razmer. Poglavitnega pomena ni izvedba sicer zelo natančnih analiz kakovosti vode, ki so ponavadi dolgotrajne, zamudne in zahtevajo poglobljeno znanje zlasti s področja kemije in vodne biologije, ampak pridobitev vpogleda v kakovostno stanje vodnega telesa.

Za vsako raziskovanje procesov v jezerih, akumulacijah ali drugi vodnih telesih, ki ga želimo podpreti z izvajanjem meritev kakovosti vode, moramo predhodno imeti dobro definiran cilj, ki ga želimo doseči ter izbrati ustrezno oz. optimalno metodologijo, s katero bomo pridobili kar najbolj realne in uporabne podatke. Številne izkušnje v preteklosti so namreč pokazale, da je dokaj enostavno zbrati podatke o kakovosti vode, vendar pa je ves trud zaman, v kolikor ne naredimo tudi potrebnih analiz, ne interpretiramo rezultatov oziroma ne znamo uporabiti pridobljenih informacij (Straškraba, 1996).

Pri izvajanju meritev je potrebno za vsak merjen parameter upoštevati tri značilnosti merilne opreme oz. njene preciznosti. Te značilnosti pa so stopnja občutljivosti (najmanjša razlika, ki jo konkretni postopek pri merjenju še zazna), spodnja meja detekcije (nekatero metode ne dajejo realnih ocen za nizke vrednosti, čeprav so zelo natančne pri višjih koncentracijah) in pa stopnja natančnosti (moderni elektronskih inštrumenti so zelo občutljivi, vendar lahko tudi zelo netočni, če niso ustrezno in dovolj redno kalibrirani).



### 3.1 Opis merilne opreme

Kot merilno opremo sem uporabljal tehnično visoko dovršeno sondo Hydrolab DataSonder 4, za meritve prosojnosti pa sem uporabil Secchijev disk. Opis uporabljene merilne opreme sledi v nadaljevanju.

#### 3.1.1 Hydrolab DataSonder 4

Hydrolab Datasonder 4 je multifunkcionalna sonda, s katero je možno simultano meriti do 15 parametrov kvalitete vode. Zasnovana je kot prenosna aparatura za analizo površinskih voda in omogoča hitro pridobivanje podatkov o kvaliteti vode. Omogoča merjenje parametrov v vodotokih, jezerih, akumulacijah, morju in v drugih vodnih telesih. Celotno aparaturo sestavljajo sonda, ročni upravljalnik (logger) ter komunikacijski kabel za neposredno povezavo ročnega upravljalnika in osebnega računalnika. Na glavi sonde, ki ima obliko tulca, so nameščeni merilni senzorji (slika 12). Sonda, ki je na Katedri za splošno hidrotehniko, je opremljena s senzorji za merjenje temperature, specifične prevodnosti, pH vrednosti, raztopljenega kisika, redoks potenciala, globine vode ter koncentracije nitratov. Dodatno je možno dokupiti še dodatne senzorje za merjenje kalnosti, slanosti, osvetljenosti okolja, prosojnosti, koncentracije amoniaka, kloridov, skupne količine raztopljenih plinov, klorofila a ter zračnega tlaka. Glava sonde z merilnimi senzorji je med merjenjem pokrita s kovinskim perforiranim pokrovčkom, ki ščiti merilne senzorje pred mehanskimi poškodbami. Sestavni del glave sonde je tudi majhen in preprost cirkulator, ki z mešanjem vodne mase stalno usmerja tok vode iz zunanosti do merilnih senzorjev s čimer zagotavlja večjo reprezentativnost izmerjenih parametrov. Delo s sondo zahteva dobro poznavanje upravljanja s sondo in postopkov za njeno vzdrževanje in kalibriranje. Pred začetkom merjenja je potrebno plastičen pokrov glave sonde, ki je napolnjen z destilirano vodo (ta preprečuje, da bi se senzorji izsušili), zamenjati s kovinskim perforiranim pokrovom. Sondo se nato lahko potopi v vodo, prižge ročni upravljalnik in aktivira cirkulator vode. Počakati je potrebno nekaj minut, da se merjene vrednosti na ročnem upravljalniku približno umirijo (točno vrednost je nemogoče izmeriti, saj se vrednosti merjenih parametrov v vodnem okolju neprestano rahlo spreminjajo). Po izvedeni meritvi je treba vse senzorje splakniti z destilirano vodo in zamenjati kovinski perforiran pokrov glave sonde s plastičnim, ki ga predhodno do polovice

napolnimo z destilirano vodo. S Hydrolab DataSonder-jem 4 je mogoče zabeležiti do 120.000 meritev, v ročni upravljalnik (Surveyor 40) pa shraniti kar 375.000 meritev s časovnim intervalom, ki si ga kot uporabnik poljubno določimo. Podatke zbrane v ročnem upravljalniku lahko preprosto prenesemo na osebni računalnik, s katerim jih nadalje obdelamo in analiziramo. Izklop in vklop začetka merjenja je avtomatski in se ga nastavi pred začetkom kontinuirnega merjenja. Kljub na videz dokaj preprosti uporabi, pa za reprezentativne meritve ter posledično razpolaganje z relevantnimi podatki, Hydrolab DataSonder 4 zahteva redno vzdrževanje in kalibracijo, ki naj bi se predvidoma izvajala vsake 14 dni. Sonde ameriškega proizvajalca lahko delujejo samodejno (v določenem časovnem intervalu izmerijo in shranijo v spomin), priključene na osebni računalnik ali logger Surveyor 4a ali pa so vključene v on-line mreže hidroloških postaj. Prenos podatkov je mogoč tudi preko modemskih, radijskih ali satelitskih povezav, kar omogoča nadzor nad kakovostjo vode v realnem času.

Preglednica 3: Tehnični podatki - Hydrolab Data Sonder 4

Tehnični podatki: Hydrolab DataSonder 4		
Merjen Parameter	Razpon	Točnost
Temperatura	-5-50 °C	± 0.10 °C
Specifična prevodnost	0-100 mS/cm	± 1% izpisa
pH	0-14 enot	± 0.2 enot
Raztopljen kisik	0-50mg/l	± 0.2 enote
ORP	-999-999 mV	± 20 mV
Globina/0-25m	0-25m	± 0.08 m
Nitrati	0-100 mg/L-N	Več kot ± 5% zapisa ali ± 2 mg/L-N



Slika 12: Pogled na spodnji del Minisonde – merilno glavo, z različnimi senzorji



Slika 13: Merilna oprema Hydrolab

Med fizikalno-kemijskimi parametri, ki sem jih meril z merilno sondo Hydrolab DataSonder 4 so bili temperatura, pH, koncentracija raztopljenega, kisika in nitrati, od katerih sem vse podrobneje predstavil v poglavju Abiotski dejavniki v jezerskih ekosistemih (poglavje 2.1). Hkrati pa sem meril tudi elektroprevodnost in redoks potencial od katerih vsakemu nekaj več pozornosti namenjam v naslednjih dveh podpoglavjih.

### 3.1.1.1 Elektroprevodnost

Elektroprevodnost se nanaša na zmožnost vode da prevaja električni tok. Odvisna je od temperature raztopine in koncentracije ionov v raztopini ter njihove stopnje disociiranosti, električnega naboja in mobilnosti. Bolj kot je vodno telo obremenjeno s hranili, višja je elektroprevodnost, saj se z dotokom soli praviloma poveča količina nabitih delcev (Urbanič & Toman, 2003). Specifična prevodnost je preračunana na 25°C, kar omogoča direktno primerjavo med vzorci odvzetimi pri različnih temperaturah. Prevodnost izražamo v mikrosiemensih na centimeter ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), nekateri v ekvivalentih NaCl ali KCl v ppm oziroma mg/l. Upornost je recipročna vrednost prevodnosti. Vsota vseh parcialnih prevodnosti vseh anionov in kationov v vodi predstavlja vrednost prevodnosti, ki jo izmerimo tudi s sondo.

Specifična prevodnost vode iz običajnega jezera bikarbonatnega tipa in rečne vode je tesno v sorazmerju s koncentracijami glavnih ionov. Če torej poznamo koncentracije glavnih ionov v vodi, nam spremembe v specifični prevodnosti odražajo proporcionalne spremembe v koncentracijah ionov. Vendar pa to ni vedno res oz. ne velja npr. dušik, železo, mangan, stroncij ali še toliko manj za fosfor (Rodhe, 1951, cit. po Wetzel, 2001).

Prevodnost vode je določena s prevodnostjo padavinske vode, s soljenjem cest pozimi (s cestišč odplavljena sol povzroča povišanje prevodnosti), z uporabo gnojil, odtokom s kmetijskih površin, s točkovnimi viri onesnaženja (prepustne septične jame povečujejo kloride, fosfate in nitrate v okolju in zvišujejo prevodnost), z evaporacijo (zvišuje prevodnost), geološko podlago (granitna matična podlaga zmanjšuje prevodnost, prisotnost glinenih delcev pa jo povečuje) (Kuzma, 2003). Vrednosti so višje ob intenzivni dekompoziciji organskega materiala. Visoke vrednosti prevodnosti in očitne nenadne

spremembe so kazalec človeške aktivnosti v prispevnem območju in iz njih lahko sklepamo na obremenjenost vodnega telesa. Priporočljivo merjenje prevodnosti je takoj po padavinah.

### 3.1.1.2 Redoks potencial (oksidoredukcijski potencial ORP)

Merjenje redoks potenciala nam pove ali je konkretno vodno okolje reducirajoče (oddaja elektrone) ali oksigenirajoče (sprejema elektrone). Večji ko je redoks potencial, večja je oksigenirajoča kapaciteta vode. Reducirajoče snovi zelo hitro reagirajo s kisikom, kar lahko povzroči, da se količina raztopljenega kisika v vodi poveča. Na ORP močno vpliva prisotnost oziroma odsotnost raztopljenega kisika v vodi. V naravnih polno oksigeniranih vodah so vrednosti redoks potenciala običajno nekaj več kot 500 mV. Celó pri izrazito klinogradni kisikovi krivulji bo, vsaj dokler niso blizu anoksije, redoks potencial ostal pozitiven in dokaj visok (300-500 mV). Ko pa se koncentracije kisika približajo vrednosti nič in se pojavijo anoksične razmere, kot se to dogaja v spodnjem hipolimniju ali blizu sedimenta, se bo vrednost redoks potenciala strmo znižala (preglednica 4). V sedimentih prevladujejo reducirajoče razmere in ORP pada do vrednosti 0 mV ali še nižje. Wetzel navaja primer jezera, v katerem so nad površino sedimenta izmerili vrednost redoks potenciala v mejah med 200 in 300 mV, le 4 centimetre pod površino sedimenta pa so vrednosti znašale -200 mV, kar nakazuje ekstremno reducirajoče in popolnoma anoksične razmere.

Preglednica 4: Vpliv zniževanja redoks potenciala v hipolimniju stratificiranih jezer z naraščajočo produktivnostjo (povzeto po Wetzel, 2001)

Stanje jezera	[O <sub>2</sub> ]	E <sub>h</sub>	Fe <sup>+2</sup>	H <sub>2</sub> S	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>
Oligotrofno	Velika (ortogradna krivulja)	400-500mV	Odsoten	Odsoten	Zelo malo
↓	↓	↓	↓	↓	↓
	Močno zmanjšana (klinogradna krivulja)	400-500mV	Odsoten	Odsoten	Zelo malo
	↓	↓	↓	↓	↓
Evtrofno	Močno zmanjšana (klinogradna krivulja)	Približno 250mV	Veliko	Odsoten	Veliko
↓	↓	↓	↓	↓	↓
Hiperevtrofno	Močno zmanjšana ali povsem brez	< 100mV	V upadanju	Veliko	Zelo veliko

Obstaja močna povezava med oksidoredukcijskim stanjem in kroženjem hranil (med njimi verjetno najbolj izstopa fosfor) v jezerskem ekosistemu (Straškraba, 1996). V naravnih vodnih sistemih je med najbolj elektroaktivnimi redoks reaktanti železo - v reducirani in oksidirani obliki ( $\text{Fe}^{2+}$  in  $\text{Fe}^{3+}$ ).  $\text{Fe}^{2+}$  iz sedimenta močno prispeva k zniževanju ORP.  $\text{Fe}^{2+}$  ioni praviloma difundirajo iz sedimenta, ko se redoks potencial zniža na okrog 200 mV, medtem ko se prehajanje mangana iz sedimenta začne že pri malo višjih vrednostih. Količina železa v vodni raztopini naravnih voda in stopnja oksidacije  $\text{Fe}^{2+}$  v  $\text{Fe}^{3+}$  v oksigenirani vodi je odvisna predvsem od pH, ORP in temperature (Wetzel, 2001).

Na nizke vrednosti ORP običajno vpliva močna zastopanost in intenzivna rast heterotrofnih mikroorganizmov, ki izrabljajo razpoložljive zaloge raztopljenega kisika. Pri nizkih redoks potencialih v anaerobnih hipolimnijih produktivnih in meromiktičnih jezer je pogosta bakterijska redukcija sulfatov v sulfide (Weztel, 2001). Redoks potencial je izjemno pomemben ne le kot kapaciteta za razgradnjo odpadnih snovi, temveč tudi kemijsko, saj le primerne vrednosti redoks potenciala podpirajo obstoj rib, rastlin in vodnih nevretenčarjev. (<http://www.wetwebmedia.com/redox.htm>)

### 3.1.2 Secchijev disk

Meritve prosojnosti vode lahko dajo dober vpogled v trofično stanje jezera, bajerja ali akumulacije. Prosojnost je definirana kot sposobnost prehajanje svetlobe po vodnem stolpcu ter je odraz v vodi prisotnih organskih ali anorganskih partikularnih in raztopljenih snovi. Za merjenje prosojnosti se uporablja optični način in sicer s svetlometerom (fotometer) ali pa bolj približni način s Secchijevim diskom, ko na osnovi odboja svetlobe s površine potopljene plošče ocenimo prosojnost vode in ob tem posredno tudi gostoto fitoplanktona. Secchijev disk je preprosta okrogla obtežena plošča premera 20 cm, katere zgornja ploskev je razdeljena na četrtine, ki so izmenično pobarvane v črni in beli barvi.

Z merjenjem Secchijeve globine lahko na preprost in poceni način pridobimo vpogled v prostorsko in časovno spreminjanje gostote fitoplanktonskih populacij in drugih suspendiranih snovi v jezerih, še posebej, če nimamo strokovnega biološkega znanja, da bi prepoznali posamezne značilne vrste, ki so povezane s kopičenjem hranil v jezerskem

ekosistemu. Postopek določanja Secchijeve globine je zelo preprost. Secchijev disk z odvijanjem vododoporne vrvice, na koncu katere je pritrjen, počasi spuščamo v globino vse dokler ga ne vidimo več. Nato ga počasi dvigamo vse do točke, ko ga ponovno zagledamo (slika 14). Povprečje obeh globin predstavlja Secchijevo globino. Do Secchijeve globine seže približno 10% svetlobe s površine jezera. Dvakratna Secchijeva globina predstavlja kompenzacijsko ravnino, pri kateri sta fotosinteza in dihanje v ravnotežju. Do kompenzacijske ravnine seže le še 1% vpadne svetlobe.



Slika 14: Merjenje prosojnosti s Secchijevim diskom

Da bi pri merjenju dobili kar najbolj točne vrednosti, je potrebno upoštevati sledeča priporočila:

- vse meritve naj izvaja ena oseba, saj vsi nimamo enake ostrine vida,
- priporočljivo je, da se meritve opravijo med 10:00 in 14:00 uro, ko je svetlobe največ, vpadni kot svetlobe žarkov pa je med posameznimi merjenji čim bolj podoben,
- merjenja ne izvajamo, če gladina jezera ni umirjena,
- merimo na najglobljem delu jezera,
- merimo na senčni strani čolna,
- pri spremljanju stanja skozi daljši čas je pomembno, da merjenje vedno izvajamo na istem mestu. Za označitev točne lokacije se priporoča uporaba boje.

Najbolj uporabne informacije dobimo, če merimo spreminjanje Secchijeve globine iz tedna v teden. Le majhno treutno uporabno vrednost pa daje npr. povprečna poletna Secchijeva globina. Povprečne vrednosti bi se izkazale kot koristne šele po nekaj letih, ko bi na njihovi

osnovi lahko sklepali o trendu kakovosti vode v jezeru, če le-ta ostaja enaka, se izboljšuje ali poslabšuje.

Čeprav so poznane odvisnosti med Secchijevo globino in klorofilom alg, se lahko vseeno zgodi, da izmerjene vrednosti ne odražajo dejanskega trofičnega stanja jezera. Do tega lahko pride, če dviganje jezerskega mulja ali razpršeno obarvanje vode (ne alge) povzroči povečano motnost. V tem primeru bo, glede na izmerjeno Secchijevo globino, številčnost alg precenjena. Zato v takih primerih Secchijev disk ni primerna izbira za ocenjevanje trofičnega stanja jezera.

Do Secchijeve globine seže približno 10 % svetlobe s površine jezera.

Če pride do povečanja prosojnosti vode po prvem tednu pomladi je vzrok lahko:

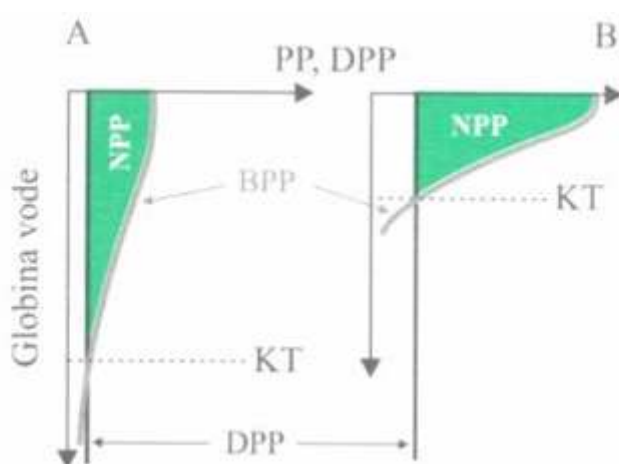
- zmanjšan vnos nutrientov iz prispevnega območja,
- povečano zooplanktonsko objedanje alg,
- zmanjšanje erozije prsti v jezero,
- sezonska sukcesija alg.

Če pa pride do zmanjšanja Secchijeve globine v poletnem času je lahko vzrok:

- povečanje številčnosti prosto plavajočih alg,
- erozija brežin ali erozija v neposredni bližini jezera,
- recirkulacija sedimenta zaradi motornih čolnov,
- vtoka spremenjene barve s prispevnega območja ali razgradnje rastlinja,
- povečana kalnost,
- zmanjšanje zooplanktonskih populacij.

Po Wetzlu je prosojnost določena s Secchi diskom funkcija odboja svetlobe od vodne površine. Na Secchijevo globino zato vplivajo absorpcijske karakteristike vode in raztopljenih oz. partikularnih snovi v njej. S teoretičnimi analizami in empiričnimi opazovanji je bilo ugotovljeno, da na Secchijevo globino precej bolj vplivajo partikularne suspendirane snovi kot pa raztopljenih organskih snovi (Wetzel, 2001). Partikularne suspendirane snovi so lahko alge ali druge suspendirane snovi.

Prosojnost vode skupaj z vpadnim kotom svetlobe in vremenom vpliva tudi na globino evfotične cone. V zgornjih plasteh vode, kjer je svetlobe dovolj, so hranila glavni omejujoči dejavnik za primarno produkcijo. Če jih je malo, bo nosilna kapaciteta vode za primarne producente majhna, malo bo tudi organizmov. Voda bo prosojna, količina sevanja bo z globino upadala počasi, kompenzacijska točka bo globoko pod površino. Zaradi vsega tega bo primarna produkcija pod površino majhna, pozitivna bilanca fotosinteze pa bo mogoča do velikih globin (slika 15A). Če je hranil v vodi veliko, bo v vodnem stolpcu veliko organizmov. Voda bo manj prosojna, količina svetlobe bo z globino hitro upadala, kompenzacijska točka bo blizu površine. Primarna produkcija na površini bo velika, a bo z globino hitro upadala (slika 15B) (Tome, 2006).



Slika 15: V prosojni vodi z malo hranili je kompenzacijska točka (KT) globoko. Primarna produkcija (PP) pod površino je majhna, z globino upada le počasi (A). V neprosojni vodi z veliko hranili je kompenzacijska točka (KT) blizu površine, večina PP je pod površino (B). BPP = bruto primarna produkcija, NPP = neto primarna produkcija, DPP = dihanje primarnih producentov.

### 3.2 Izvajanje meritev na ribnikih

S ciljem dobiti boljši vpogled v dogajanje v posameznih ribnikih ter ugotoviti eventualne povezave med načinom gospodarjenja z ribniki ter kakovostjo vode v njih, sem poleti in jeseni 2007 izvedel nekaj meritev osnovnih parametrov za oceno kakovosti vode. Pri tem sem, kot sem že omenil, uporabljal Secchijev disk in pa podvodno sondo Hydrolab DataSonder 4. Skoraj vse meritve sem opravil s čolna (kanuja), saj je le na ta način mogoče narediti meritve parametrov po globinskem profilu. Pri meritvah, zlasti če želimo dobiti vpogled, kako se



posamezni parametri na izbranem merilnem mestu spreminjajo od gladine do dna, je nujno, da je čoln ves čas merjenja na izbranem mestu, kar pa ni vedno tako preprosto doseči kot se zdi. Zaradi časa, ki je potreben, da se na logerju Hydrolabove sonde vrednosti parametrov umirijo in ponovitve postopka na večih globinah, lahko skupni čas merjenja na posamezni točki znaša tudi več kot 10 minut (odvisno od globine). Ker sem meritve izvajal s kanuja, ki ima še posebej majhen ugrez, je bil le-ta zelo občutljiv tudi na najmanjši veter, ki ga je odnašal iz zelenega mesta. Ohranjanje kanuja na želenem mestu z veslanjem v tem primeru ni prišlo v poštev, saj bi s premešanjem vodnih mas porušil stratifikacijo v zgornjem delu vodnega stolpca. Kot rešitev sem uporabil utež, ki sem jo privezano na vrvi spustil do dna kar se je izkazalo kot učinkovit način ohranjanja čolna na izbranem merilnem mestu. Pri opravljanju meritev s sondo Hydrolab je dobro vsaj približno poznati konfiguracijo dna jezera, predvsem pa mesta na katerih se nahajajo korenine ali potopljeno plavje, saj obstaja možnost, da bi se sonda zataknila. Eventualno odnašanje čolna iz smeri ob meritvi tik nad sedimentom to nevarnost bistveno povečuje.

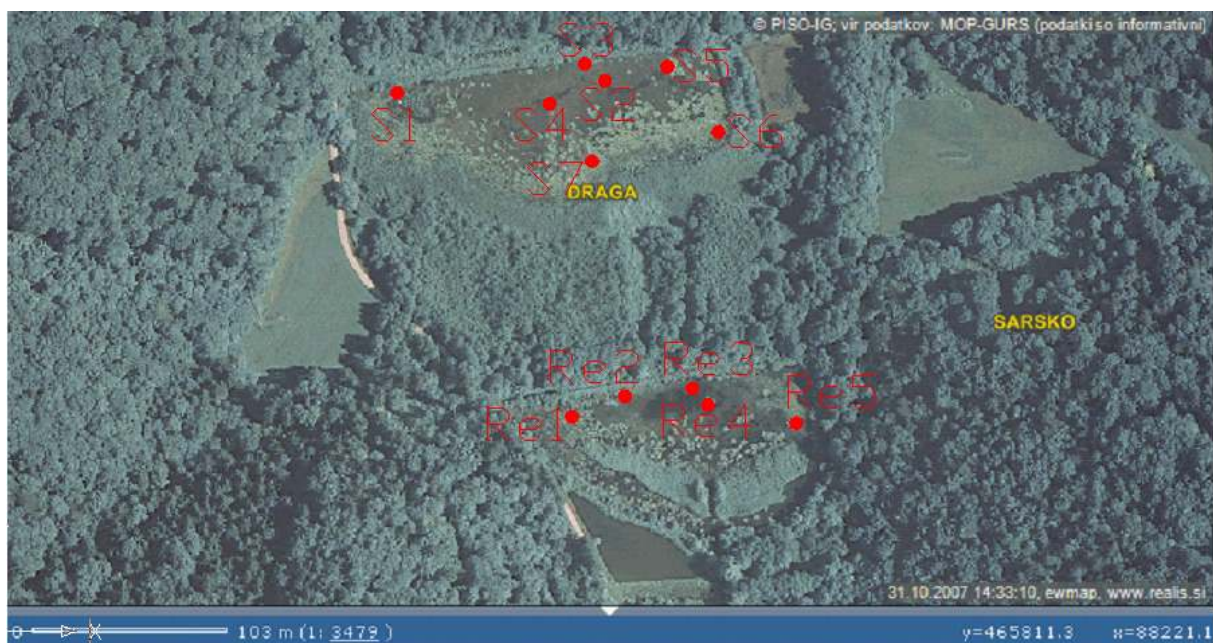


Slika 16: Opravljanje meritev na Velikem ribniku 30. septembra 2007

Merilna mesta sem izbral po lastni presoji, in sicer z namenom, da bi dobil čim boljši vpogled v stanje jezerskih ekosistemov ter eventualnih razlik, ki se pojavljajo tako med posameznimi ribniki, kot tudi znotraj vsakega od njih. Merilna mesta sem poimenoval po začetnicah imen ribnikov ter številkami, tako sem na primer na Velikem ribniku meritve opravljal na merilnih mestih V1, V2, V3, V4, V5, V6 in V7. Vsa merilna mesta sem tudi prikazal na ortofoto posnetkih ribnikov. Slike 17 do 20 v nadaljevanju prikazujejo merilna mesta po posameznih ribnikih.



Slika 17: Veliki ribnik – merilna mesta V1 – V7



Slika 18: Srednji ribnik – merilna mesta S1 – S7 in Rezani ribnik – merilna mesta Re1 – Re5





Slika 19: Zadnji ribnik – merilna mesta Z1 – Z3 in merilno mesto Gr (potok)



Slika 20: Rakovnik – merilna mesta R1 – R10 in Špilgut - merilno mesto Š1 (zapornica)

## 4 REZULTATI

Na južnem robu Ljubljanskega barja se v dolini Drage pri Igu nahaja sedem ribnikov pretočnega tipa, ki predstavljajo praktično še edini močvirni predel z večjimi vodnimi površinami na Ljubljanskem barju. Čeprav gre za umetno ustvarjene vodne in močvirske površine, so se skozi čas na njih oblikovali različni habitatni tipi z izredno bogato pestrostjo rastlinskih in živalskih vrst. Območje je predvsem poznano po bogati ornitofavni, saj s svojimi ekološkimi razmerami nudi življenjski prostor številnim na vodo vezanim in drugim pticam. Za ptice je območje pomembno tudi kot selitvena postaja, saj se na Ljubljanskem barju križata dve selitveni poti. Ena poteka iz severne Evrope proti jugozahodu na Apeninski polotok, druga pa proti jugovzhodu v Malo Azijo in Afriko. Območje ribnikov je bilo z odlokom leta 1986 razglašeno za naravno znamenitost z lastnostmi naravnega spomenika in sicer z namenom, da se ohrani in varuje obstoječe stanje naravnih in kulturnih vrednot, zavaruje avtohtono rastlinstvo in živalstvo ter značilnosti neživega sveta. (Odlok o razglasitvi območja ribnikov v dolini Drage pri Igu za naravno znamenitost, UL SRS, št. 23/1986).



Slika 21: Letalski posnetek doline Drage – pogled na Veliki in Prvi ribnik, junij 2002

Naravni spomenik obsega dva ločena dela: severni in južni. Severni del se razprostira v smeri severozahod – jugovzhod med vasjo Ig in zaselkom Draga. Tu se dolina razširi in odpre proti Ljubljanskemu barju. Južni del leži v dolini južno od zaselka Draga v smeri sever – jug in sega do nekdanje kmetije Grum. V južnem delu naravnega spomenika je pet ribnikov, skozi katere teče potok Draščica – to so: Prvi, Veliki, Srednji, Rezani in Zadnji ribnik. V severnem delu naravnega spomenika, zahodno od zaselka Draga, je ribnik Rakovnik, južno od njega pa ribnik Špilgut.

Ribnike so za potrebe ribogojstva zgradili in uredili turjaški grofje Auerspergi, verjetno konec 17. stoletja. Pisne dokaze za ribnike najdemo v spisih Terezijanskega katastra iz leta 1749. V Franciscejskem katastru iz leta 1825 pa so ti ribniki narisani na kartah v skoraj enaki velikosti in obliki kot so danes. Iz Arhiva Slovenije sem pridobil kopije Francijskega in Reambulančnega katastra za območje ribnikov (priloga D).

Čeprav so današnji ribniki umetnega nastanka imajo izredno velik ekološki potencial in so kot taki enakovredni naravnim (Odlok o razglasitvi območja ribnikov v dolini Drage pri Igu za naravno znamenitost, UL SRS, št. 23/1986). Pomembni so tudi za ohranitev pronaravne kulturne krajine, ki se odlikuje z veliko ekološko pestrostjo na majhnem prostoru.

Zaradi zamuljevanja in čezmernega zaraščanja emerznih makrofitov se vodne površine ribnikov iz leta v leto zmanjšujejo. Vse pogostejša so cvetenja alg, občasno prihaja tudi do poginov rib. V okviru tega poglavja bom poskušal bolj podrobno opisati trenutne razmere in ekološke dejavnike, ki bi lahko potencialno vplivali na evτροφne oziroma sukcesijske procese na ribnikih v dolini Drage.

#### **4.1 Vodne razmere**

Vodni režim na ribnikih se uravnava z zapornicami, ki jih imajo vsi ribniki. Špilgut, Veliki in Prvi ribnik imajo zapornice v armiranobetonski izvedbi, na vseh drugih so zapornice lesene. Za primer visokih voda ima vsak od ribnikov urejen tudi odtok preko preliva. Visoke vode se pojavljajo spomladi in jeseni, ko je tudi največ padavin. Iz nekaterih ribnikov enkrat letno, običajno v oktobru, spustijo vodo, da odlovijo ribe, nato pustijo ribnike nekaj časa suhe, nakar



jih ponovno napolnijo z vodo. Čas praznjenja in polnjenja zavisi od količine padavin v tistem času.

Ribniki so pomembni tudi zaradi svoje hidrološke funkcije, saj delujejo kot zadrževalniki ob nastopu visokih voda. Maksimalni pretoki dolvodno so tako manjši in nastopijo kasneje kot če ribnikov ne bi bilo.

V nadaljnjih točkah prikazujem vodne razmere v dolini Drage po posameznih tipih.

#### 4.1.1 Tekoče vode

Med tekoče vode spadajo potok Draščica, ki teče po dolini Drage, studenca Špilgut in Pantar ter studenec, ki izvira ob travniku nad cesto zahodno od Srednjega ribnika in se vanj tudi izliva. K tekočim vodam spada tudi voda, ki se pretaka po kanalih iz ribnika v ribnik.

Potok Draščica teče ob zahodnem robu ceste, ki poteka tik ob Zadnjem ribniku. Za dotok vode zanj je urejen stranski odvzem vode v strugi Draščice. Nato Draščica pod mostom prečka cesto in zavije severno od Zadnjega ribnika. Od tod teče naprej proti severu mimo Rezanega in Srednjega ribnika. Ob vzhodnem koncu nasipa Srednjega ribnika zavije proti severozahodu in teče ob robu jelševega sestoja ter se nato izliva v Veliki ribnik.

Voda iz Velikega ribnika odteka skozi armiranobetonsko zapornico in po betonski, pod nasipom vgrajeni cevi, naprej v Prvi ribnik. Hkrati nekaj vode iz Velikega ribnika odteka tudi preko preliva na koncu jezua, kar pride še posebej do izraza ob visokih vodah. Na isti način je urejen tudi odtok vode iz Prvega ribnika od koder voda odteka kot potok Draščica, ki potem bolj ali manj vijugajoče teče proti Igu oz. Iščici v katero se tudi izliva.



Slika 22: Slap pod prelivom Velikega ribnika

#### 4.1.2 Ribniki

Območje naravnega spomenika obsega 7 ribnikov. Najmanjši je Zadnji ribnik, ki je velik le 0,56 ha in globok do 2 m. Severno za nasipom Zadnjega ribnika je speljana voda po kanalu iz potoka Draščice v Rezani ribnik, ki je glede na svojo površino dokaj plitev in meri 0,88 ha. Dolvodno mu sledi Srednji ribnik s površino 1,25 ha in največjo globino 2 m. Vanj se izliva potoček, ki izvira na travniku nad cesto, zahodno od ribnika. Iz Srednjega ribnika je voda speljana po jašku v kanal in po njem naprej v Veliki ribnik, ki je največji ribnik v dolini Drage. Njegova površina znaša 6,9 ha, največja globina pa 5 m, ima tudi največjo prosto vodno površino med vsemi ribniki. Prvi ribnik s površino 1,9 ha je precej zaraščen, ob njegovi vzhodni in zahodni strani je bila pred 20 leti izvedena poglobitev v obliki kanala. Drugi največji ribnik je Rakovnik s površino 3,8 ha in globino do 3 m, ki dobiva vodo iz ribnika Špilgut. Ribnik Špilgut pa napaja istoimenski izvir na njegovem južnem robu. Iz ribnika Rakovnik je voda speljana po jašku v kanal, po katerem odteka v potok Draščico.

Leta 2001 so uredili še manjši ribnik na zahodni strani Rezanega ribnika ob cesti, ki je speljana po dolini. Še kakšni dve leti prej pa je z zaježitvijo hidravličnih izgub vode, ki pronica pod nasipom Velikega ribnika, nastal dodaten manjši ribnik pod lovsko kočo. Ta ribnik je stalno napolnjen z vodo, nima zapornice, zato ga ni možno izprazniti. Gladina vode nekoliko upade, ko spustijo vodo iz Velikega ribnika.

Do približno leta 1993 sta bila napolnjena z vodo še dva manjša ribnika in sicer eden vzhodno od Srednjega ribnika, drugi pa severno pod nasipom Rakovnika.



Slika 23: Veliki ribnik in beli cvetovi lasastolistne vodne zlatice (junij 2002)



Slika 24: Srednji ribnik (oktober 2007)

#### 4.1.3 Tipi vodnih razmer v zelo vlažnih močvirnatih tleh

Z vidika varovanja in ohranjanja naravne dediščine je pomembno območje zelo vlažnih, mokrih tal ali močvirnatih tal z občasno ali stalno stoječo oz. zastajajočo vodo.

V območje močvirnatih tal spadajo naslednji ravninski predeli:

- območje ravninskega sveta ob Zadnjem, Rezanem, Srednjem, Velikem ribniku ter ob ribniku Rakovniku,
- območje ravninskega sveta med nasipom Srednjega ribnika in Velikim ribnikom,
- precejšen del ravninskega sveta med nasipom severovzhodno od nasipa ribnika Rakovnik in ponekod vzhodno od potoka Draščica na severnem delu naravnega spomenika.

Razširjenost območja zelo vlažnih oz. mokrih tal nakazuje rastlinska združba trstičja, ki sukcesivno prehaja v stadij zaraščanja s črno jelšo.

#### 4.2 Opis makrofitske vegetacije

Ker na ribnikih v Dragi še ni bilo opravljeno evidentiranje makrofitske vegetacije sem na osnovi svojih opazovanj poskušal podati grob opis trenutnega stanja. Vzorec porazdelitve makrofitske vegetacije je na vseh ribnikih dokaj podoben. Razlike so edino v gostoti in vrstni pestrosti makrofitske vegetacije. V obrežnem delu ribnikov se najprej pojavljajo sestoji šašev (*Carex spp.*), ki na posameznih delih ribnikov zavzema širok pas, saj se pojavlja od zelo plitvih predelov do močvirnih tal na katerih uspevata že črna jelša (*Alnus glutinosa*) in vrba (*Salix sp.*). Proti notranjosti ribnika do globine vode, ki ne presega 1 m, se pojavljajo sestoji trsta (*Phragmites australis*), ki nekje že prehajajo v sestoj širokolistnega rogoza (*Typha latifolia*). Vodne površine zarasle z rogozem se na Velikem ribniku iz leta v leto povečujejo in prispevajo k zmanjševanju proste vodne gladine. Širijo se tudi sestoji trsta. Od emerznih makrofitov se v Velikem ribniku pojavljata še pokončni ježek (*Sparganium erectum*), vse manjši in redkejši pa so sestoji jezerskega bička (*Schoenoplectus lacustris*). Jezerski biček uspeva tudi v Zadnjem in Srednjem ribniku. Obrežnim rastlinam sledijo proti notranjosti



makrofiti s plavajočimi listi, prožnimi stebli in koreninami, ki so usidrani v muljastem dnu. Še posebej izstopajo cvetovi in listi belega lokvanja (*Nymphaea alba*). Največ lokvanjev je v Prvem, Velikem in Srednjem ribniku, povsem pa je izginil na Rakovniku. Globlje v vodi uspevajo še plavajoči (*Potamogeton natans*), kodravi (*Potamogeton crispus*) in bleščeči dristavec (*Potamogeton lucens*), klasasti rmanec (*Myriophyllum spicatum*) ter vodna dresen (*Polygonum amphibium*). V Velikem in Srednjem ribniku uspeva navadna smrečica (*Hippuris vulgaris*), katere zračni poganjki segajo tudi do 15 cm nad vodno gladino. Še posebej pa s svojimi cvetovi izstopa lasastolistna vodna zlatca (*Ranunculus trychophyllus*), ki se pojavlja na majhnih površinah v Velikem ribniku. Za ribnike v Dragi je značilna tudi mesojeda rastlina mala mešinka (*Utricularia minor*).



Slika 25: Bleščeči dristavec in beli lokvanj na Velikem ribniku



Slika 26: Sestoj jezerskega bička na Zadnjem ribnik

### 4.3 Živalstvo

Od rib živijo v ribnikih krap (*Cyprinus carpio*), navadni koreselj (*Carassius carassius*), linj (*Tinca tinca*), srebrni koreselj (*Carassius auratus gibelio*), klen (*Leuciscus cephalus*), rdečeperka (*Scardinius erythrophthalmus*), pezdirek (*Rhodeus sericeus amarus*), globoček (*Gobio gobio*), beli amur (*Ctenopharingodon idella*), ščuka (*Esox lucius*), navadni ostriž (*Perca fluviatilis*), smuč (*Stizostedion lucioperca*), sončni ostriž (*Lepomis gibosus*). Pred leti so bili v ribnike zanešeni tudi koi krapji, ki imajo zaradi mnogoterih živopisanih različic v svetovni akvakulturi velik pomen. So okrasne ribe, ki so namenjene gojenju v okrasnih ribnikih z recirkulacijo vode.

Od školjk živi v ribnikih jezerska brezzobka (*Anodonta cygnea*), v potoku pa potočni škržek (*Unio pictorum*). Značilna predstavnika vodnih polžev pa sta veliki mlakar (*Lymnea stagnalis*) in roženi svitek (*Planorbis corneus*). Od dekapodnih rakov živi jelševac (*Astacus astacus*). Med žabami so značilne zelena žaba (*Rana esculenta*), zelena rega (*Hyla arborea*), navadna krastača (*Bufo bufo*), sekulja (*Rana temporaria*), posebej redka je postala rosnica (*Rana dalmatina*). Od plazilcev je avtohtona vodna želva močvirska sklednica (*Emys orbicularis*), ki jo izpodriva ameriška rdečevratka (*Trachemys scripta elegans*), od kuščarjev je ogrožen zelenec (*Lacerta viridis*). Med kačami je pogosta belouška (*Natrix natrix*), redka pa je postala smokulja (*Coronella austriaca*).

Za dolino Drage je značilno tudi izredno bogastvo in vrstna pestrost žuželk. Med bolj opazne zagotovo spadajo metulji, med najbolj značilne in markantne vrste sodijo veliki trepetlikar (*Limnitis populi*) ter veliki (*Apatura iris*) in mali spreminjevalček (*Apatura ilia*). Velika je tudi številčnost in vrstna pestrost kačjih pastirjev. Predvsem pa so ribniki v Dragi znani po številnih in zanimivih vrstah ptic, v vseh letih opazovanj jih je bilo skupaj opaženih kar 154. Ob selitvi lahko v dolini Drage srečamo skoraj vse vrste čapelj, in sicer sivo (*Ardea cinerea*), rjavo (*Ardea purpurea*), malo in veliko belo (*Egretta garzetta* in *Egretta alba*), kvakača (*Nycticorax nycticorax*), čopasto čapljo (*Ardeola ralloides*), različne vrste rac, kot so npr. reglja (*Anas querquedula*), kreheljc (*Anas crecca*), žvižgavka (*Anas penelope*), dolgorepka (*Anas acuta*), žlicarica (*Anas clypeata*), zvonec (*Bucephala clangula*), čopasta črnica (*Aythya fuligula*) in raca sivka (*Aythya ferina*). Ravno tako lahko občasno opazujemo različne ujede, kot so ribji orel (*Pandion haliaetus*), orel kačar (*Circaetus gallicus*), sršenar (*Pernis apivorus*), celo orel belorepec (*Haliaetus albicilla*), različne in številne pobrežnike (*Charadriiformes*), kot so različni kljunači, martinci, tudi galebi in čigre, žolne in detli ter še posebej številni in različni pevci (*Passeriformes*). Ravno tako so zanimivi nekateri nekdanji gnezdilci, ki se danes pojavljajo le še ob selitvi, npr. mala tukalica (*Porzana parva*), grahasta tukalica (*Porzana porzana*), velika bobnarica (*Botaurus stellaris*). Občasni ali redno gnezdilci pa so mali (*Tachybaptus ruficollis*) in čopasti ponirek (*Podiceps cristatus*), raca mlakarica (*Anas platythynchos*), črna liska (*Fulica atra*), zelenonoga tukalica (*Gallinula chloropus*), mokož (*Ralus aquaticus*), mala bobnarica (*Ixobrychus minutus*), trstni cvrčalec (*Locustella luscinioides*), rečni kobiličar (*Locustella fluviatilis*), tamariskovka (*Acrocephalus*

*melanopogon*), bičja trstnica (*Acrocephalus schoenobaenus*), močvirska trstnica (*Acrocephalus palustris*) in rakar (*Acrocephalus arundinaceus*). Med na vodo vezanimi živalmi naj omenim še vidro (*Lutra lutra*), pred leti so se pojavile in potem kmalu izginile nutrije (*Myocastor coypus*). Do približno leta 1984 so bile na ribnikih pogoste tudi pižmovke, ki so s spodkopavanjem in preluknjavanjem nasipov povzročale precejšno škodo.

#### 4.4 Geologija

Zasnova doline Drage je tektonska. Nastala je z erozijo, ki jo je sprožilo tonjenje Ljubljanskega barja. V severnem delu, kjer se ta razširi in odpre proti Ljubljanskemu barju, so na njenem dnu fluvialni nanosi potokov. Večino teh nanosov sestavljajo pesek, melj in glina. Kamnine, ki se na tam delu doline vzdigujejo, so iz triade. V osnovi skitijskih plasti, ki pripadajo spodnji triadi, leži dva metra debela plast slabo vezanega kremenovega konglomerata, ki vsebuje tudi prodnike sljudastega skrilavca in dolomita. Nad konglomeratom leži zelenkast in rožnat peščen skrilavec in svetlo do temno siv skladoviti dolomit, ki se menjava s sljudastimi rjavkastimi peščenjaki in skrilavci. Srednji triadi pripadajo skladi zgornjega dela ladinijske stopnje. Kamnina je bel do svetlo siv zrnati dolomit. Med njima nastopajo ponekod večji ali manjši vložki sivobelega do rožnatega apnenca. V zgornjetriadnih plasteh, v norijski in retijski stopnji nastopa pasasti dolomit. Ponekod posebno v zgornjem delu, je razvit med pasastim dolomitom še bel drobnozrnati dolomit. Na aluvialnih naplavinah na dnu doline so razvita močvirna srednje do močno oglašena tla z visoko podtalnico. Tam, kjer se teren nekoliko dvigne, prehajajo v rjava gozdna tla.

#### 4.5 Opis prispevnega območja

Prispevno območje potoka Draščice seže vse do vasi Golo (slika 27) pod katero so tudi njeni izviri. Druge vasi znotraj prispevnega območja so še Škrilje, Dobravica, Sarsko in Klada. Po dolini gorvodno od Velikega ribnika razen kmetije pri Rebolju ni nobenih naselij oz. stanovanjskih objektov. Pobočja doline pokrivajo gozdovi, prevladuje mešani gozd, na pobočjih v zgornjem toku Draščice pod vasjo Klada je zaradi kamninske sestave tal lesne mase zelo malo, prevladuje grmovno rastje z borovničevjem. Prispevno območje potoka

Draščice oziroma ribnikov v dolini Drage je precej heterogeno, strme predele zaraščajo gozdovi, ki se zaradi opuščanja košenja širijo tudi na travniške površine, gre predvsem za območje med Dobravico in cesto na Golo, kjer nekdanje senožeti že prerašča brezov gozd. S sestoji rdečega bora je preraščeno tudi precej veliko in strmo območje nekdanjih travnikov pod golsko cerkvijo. Med obdelovalnimi površinami znotraj prispevnega območja prevladujejo travniki, nekaj je tudi njiv. Obdelovalne površine se nahajajo v neposredni bližini vasi oz. vasi obkrožajo. Po številu kmetij izstopata Golo in Škrilje, sledi jima Dobravica. Pri govedoreji pridobljeni gnoj porabljajo kot organsko gnojilo na obdelovalnih površinah, prav tako uporabljajo tudi mineralna gnojila. Za zatiranje plevelov uporabljajo razne herbicide, predvsem na koruznih njivah.



Slika 27: Pogled na vas Golo pod katero izvira Draščica



Slika 28: Gosta riparijska vegetacija v zgornjem toku Draščice



Slika 29: Zapadli les v izvirmih delih Draščice

Nobena od vasi nima urejenega kanalizacijskega omrežja, večinoma imajo greznice, njihovo vsebino pa izrabljajo kot organsko gnojilo na okoliških travnikih. Marsikje tudi nimajo ustrezno urejenih odlagalnih površin za hlevski gnoj.

Iz reliefa je mogoče sklepati, da ima vseh pet vasi lahko potencialen vpliv na kvaliteto vode v potoku Draščica oz. na ribnike skozi katere ta teče. Zaradi lege vasi Dobravica na hribu tik nad ribniki ter strmih pobočij pod vasjo, ocenjujem, da bi Dobravica lahko imela največji potencialni vpliv na vnos hranilnih snovi v Veliki in Prvi ribnik. Ribnika Rakovnik in Špilgut, ki se napajata iz izvira Špilgut, pa dobivata vodo iz prispevnega območja znotraj katerega je edini potencialni vir onesnaženja vas Dobravica oz. kmetijske površine pod vasjo. V času obilnejših padavin je za strma pobočja pod Dobravico značilen tudi površinski odtok padavinskih voda.

Dolžina potoka Draščica od izvira do mosta pri Zadnjem ribniku, pred katerim je prvi odvzem vode za Zadnji ribnik, znaša 6,4 km, povprečni padec istega odseka pa znaša 9,6 metra na 100 metrov dolžine.

#### **4.6 Trenutne razmere in gospodarjenje z ribniki**

Obstoječe stanje ribnikov v dolini Drage je odraz specifičnih razmer v hidrografskem zaledju, predvsem pa gospodarjenja z ribniki, tako sedanjega kot tudi gospodarjenja v preteklosti. Ker gre za umetno ustvarjene vodne površine so ribniki podvrženi naravnemu procesu sukcesije in zamuljevanju, ki pa na posameznih ribnikih poteka različno.

Še deset let nazaj se je kot učinkovit ukrep proti zaraščanju v Prvem, Srednjem, Rezanem ribniku ter na Rakovniku izvajalo požiganje trstičja, in sicer ob koncu zime, ko še ni bilo življenjskih aktivnosti živali. Vendar pa so potem zaradi nasprotovanja naravovarstvenikov in ornitologov požiganje opustili.

Ker je v Odloku območje naravnega spomenika ribnikov Dragi razdeljeno v dve ločeni varovani območji in sicer na južno in severno, v nadaljevanju ločeno prikazujem stanje obeh območij.

##### **4.6.1 Južni del**

Na ribnikih južnega dela doline Drage se vodne površine iz leta v leto zmanjšujejo, obrežni emerzni makrofiti, predvsem trst (*Phragmites australis*) in rogoz (*Typha latifolia*), se širijo v vse globljo vodo. Še posebej agresivne so združbe šaša (*Carex spp.*), saj koreninijo v obliki masivnih šopov, ki se dvigajo do površine in za seboj puščajo pogoje za razrast trstičja, ki se mu po umiku vode kmalu pridružita še črna jelša in vrba. V pomladanskem času, predvsem aprila in maja, prihaja vsako leto do izrednega razraščanja submerznih makrofitov, ki potem velikokrat prekrijejo večji del vodne površine. Pred začetkom poletja pride do odmiranja submerznih makrofitov, ki potem potonejo na dno, nekaj odmrlih delov naplavi tudi na brežine. Po odmrtnosti submerznih makrofitov in razgradnji njihovih odmrlih delov se kakovost vode v ribnikih bistveno poslabša, kažejo se značilnosti evtrofnosti. Ta pojav je bolj ali manj

značilen za vse ribnike južnega dela naravnega spomenika, najbolj opazen pa je verjetno na Velikem ribniku, ki ima tudi največjo vodno površino.

Danes s Prvim, Velikim, Srednjim, Rezanim in Zadnjim ribnikom upravlja Lovska družina Ig. V ribnikih gojijo ribe, predvsem se ukvarjajo z vzrejo konzumnega krapa, zraven gojijo še druge vrste rib med katerimi so za trg najbolj zanimive ščuke in smuči, vzgojijo tudi nekaj linja in ostriža. Gojenje drugih rib so pred leti zaradi komercialne nezanimivosti opustili. Z namenom ohranjanja prostih vodnih površin in omejevanja čezmernega razraščanja makrofitske vegetacije, naseljujejo tudi belega amurja, ki se je pri nadzoru čezmernega zaraščanja pokazal kot učinkovit.



Slika 30: Izrjavani in naplavljeni koreninski šopi šašja, ki kažejo na aktivnost belega amurja – Srednji ribnik, oktober 2007



Slika 31: Krmljenje rib na Velikem ribniku

Gojenje rib poteka najbolj intenzivno v Velikem ribniku, kjer ribe od sredine maja do konca septembra tudi hranijo, v glavnem z ribjimi briketi. Poraba krmil za ribe varira glede na količino rib v ribniku in temperaturo vode. V Velikem ribniku letno porabijo tudi do 20 ton ribjih briket in vzredijo od 4 do 8 ton konzumnega krapa. Hranjenje rib se vrši preko dveh tako imenovanih samopostrežnih krmilnikov z nihalom, ki sta nameščena na plavajoči ploščadi. V krmilnik z nihalom je vgrajen mehanizem, ki ga ribe premikajo same, ko se zadevajo ob konico nihala in tako prožijo vsipanje briket v vodo (slika 31). V preostalih ribnikih s katerimi upravlja LD Ig je ribogojstvo ekstenzivno, rib ne hranijo in tudi količina rib v njih ni velika. Na eno do dve leti iz ribnikov spustijo vodo, običajno v oktobru.



Včasih ribnike po izpraznjenju in izlovu rib pustijo določen čas suhe, običajno preko zime da se presušijo oz. premrznejo (naravna dezinfekcija). Izkušnje so pokazale, da je potem naslednje leto voda v ribnikih bolj čista, obenem pa so bistveno zmanjšane možnosti za pojav ribjih bolezni. Če ribnike pustijo od jeseni do spomladi suhe, dotekajoči potok, ki teče skozi izpraznjen ribnik, s seboj odnaša precejšne količine usedlega mulja in kot rezultat tega procesa se ustvari značilna vijugajoča struga po dnu ribnika do zapornice, kjer je najnižja točka v ribniku. Globina in širina ustvarjene struge zavisi od količine in trajanja padavin v obdobju, ko je ribnik brez vode. Na ta način upočasnjujejo staranje jezera oz. sukcesijski proces. Ima pa po dnu jezera izoblikovana struga potoka še eno prednost, saj se lahko v njej pred zapornico v času izlova zberejo ribe, ki imajo tako na razpolago bistveno večji volumen vode kot pa če struge ne bi bilo in bi bile ob odtekajoči vodi ujete v blatu. V Velikem ribniku ribe pri odlovu skupaj z vodo spustijo skozi jašek zapornice ter jih na drugi strani nasipa prestrežejo v izlovnem koritu.



Slika 32: Poglabljanje struge v sediment Velikega ribnika po izpustu vode



Slika 33: Presušeno in izprano dno Velikega ribnika po premrznenju preko zime

Vzdrževanje ribnikov je usmerjeno predvsem na ohranjanje funkcionalnosti ter varnosti nasipov, prelivov in zapornic. Problem predstavljajo finančna sredstva, ki zakonsko niso zagotovljena, upravljavci si sredstva za vzdrževanje zagotavljajo s prodajo rib, ki pa ne zadoščajo in zato vzdrževalnih del ne morejo izvajati v želenem oziroma potrebnem obsegu. Lovci redno kosijo nasip Velikega ribnika, prav tako vsakih nekaj let odstranijo novo zaraslo drevje in grmovje, ki se zaraste na brežini nasipa Velikega ribnika. Brežine preostalih ribnikov, ki jih imajo v upravljanju, že nekaj let ne kosijo, niti z njih ne odstranjujejo dreves in grmovja. Skrbijo le za zapornice in prelive. Prekomerno zaraščanje rastlinja omejujejo le z vlaganjem amurjev, ki pa jih je premalo, da bi lahko učinkovito ohranjali prosto vodno

površino. Na Velikem ribniku ob nasipu naplavljenе ostanke odmrlega rastlinja z grabljami ročno odstranjujejo. Težave se pojavljajo tudi pri vzdrževanju primerne vodostaja v ribnikih, saj imajo npr. Srednji, Rezani in Zadnji ribnik že precej dotrajane nasipe.



Slika 34: Prvi ribnik



Slika 35: Srednji ribnik

Prvi ribnik ostaja že vrsto let isti, precej zaraščen s trstičjem, ki se zaradi omejitev z globino vode in vlaganja amurjev ne širi. Izstopa po izredni razrasti submerznih makrofitov, ki poleti pogosto prekrijejo celotno vodno površino. Predstavlja pomemben življenjski prostor za ptice in dvoživke. Razmere za življenje rib zaradi obilja vodnih makrofitov sicer niso najboljše, vendar pa se večjih količin rib v tem ribniku nikoli ni gojilo. Bolj je pomemben zaradi svoje naravovarstvene funkcije in biotske raznovrstnosti, predvsem pa bogate ornitofavne.

Precej zapuščeno podobo kažejo tudi trije ribniki gorvodno od Velikega ribnika, ki so zaenkrat še napolnjeni z vodo, vendar zelo preraščeni in zamuljeni, brežine se ne kosijo, prav tako tudi ne jezovi, ki jih že prerašča grmovna in drevesna vegetacija, večinoma vrba in črna jelša. Rib v njih je malo, njihovo izlavljanje pa zaradi velikih količin mulja zelo težavno.



Slika 36: Zadnji ribnik



Slika 37: Rezani ribnik



V najslabšem stanju je Srednji ribnik, katerega vodna površina se je tekom časa zmanjšala na manj kot polovico, preostalo vodno površino pa prerašča submerzna makrofitska vegetacija. Razraščanje makrofitske vegetacije poteka v tem ribniku še posebej intenzivno, saj ima ribnik zelo majhen dotok, precejšna zasluga pa gre verjetno tudi sami sestavi tal, ki so organsko zelo bogata. V zelo slabem stanju je nasip ob zapornici.

Rezani ribnik je bil pred desetimi leti deloma poglobljen, izkopan je bil širši kanal. Zadnja leta njegovo površino vse bolj prekrivajo submerzni makrofiti, prevladujejo dristavci (*Potamogeton sp.*) in klasasti rmanec (*Myriophyllum spicatum*).

Stanje Zadnjega ribnika ocenjujem kot zadovoljivo, razraščanje makrofitske vegetacije se je redno zaviralo s košenjem, razmerje proste vodne površine in trstičja je primerno. Kritičen pa je nasip, še posebej na strani ob potoku, kjer je njegova sestava izrazito peščena. Po izgradnji novega mostu novembra 2007 je mogoče ob visokih vodah pričakovati povečano bočno erozijo, saj je os struge za mostom lomljena v nasip Zadnjega ribnika in to na mestu, kjer je le-ta že tako najbolj šibek.

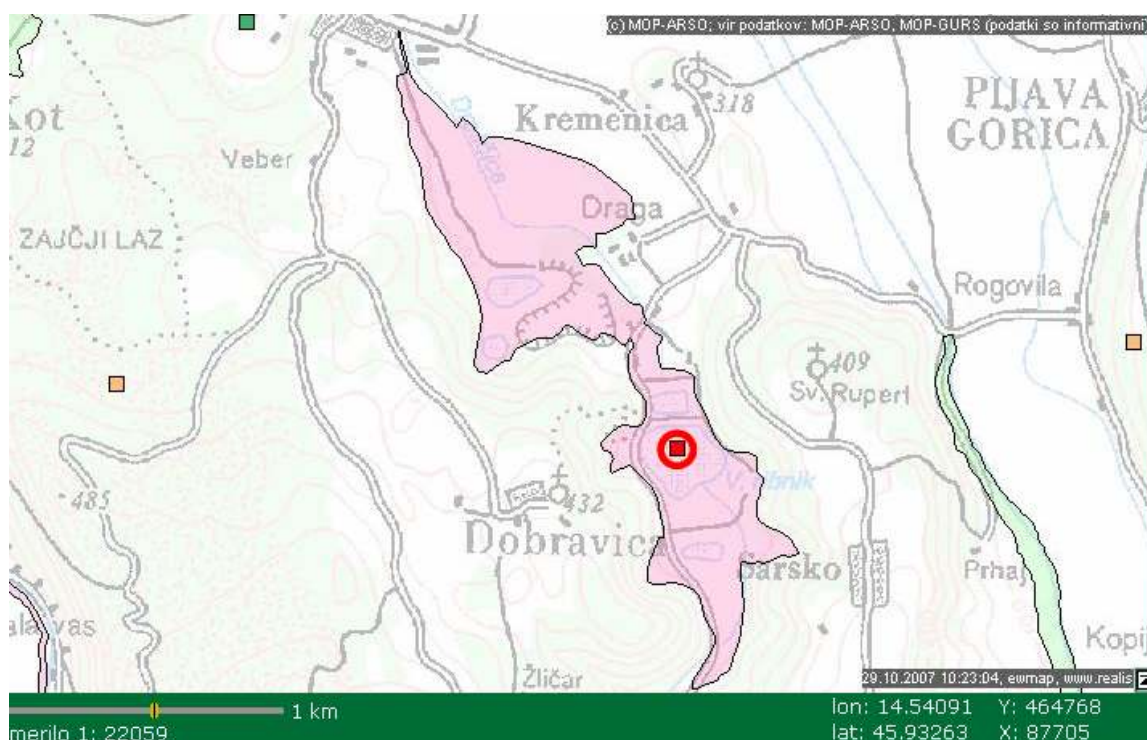
#### 4.6.2 Severni del

Z ribnikoma Rakovnik in Špilgut upravlja Ribiška družina Smuč. Ribnik Špilgut so pred leti obnovili, zamenjali so cevi pod nasipom in postavili zapornico. Poglobili so tudi odtočni kanal proti Rakovniku, ob cesti na nasipu pa postavili nekaj klopce. V Špilgutu gojijo ribe, predvsem mladice, večinoma krape in amurje, ki jih v poletnem času tudi hranijo. Zaraščanje makrofitske vegetacije preprečujejo s košenjem, tako na brežinah kot tudi v vodi. Športnega ribolova na Špilgutu ne izvajajo. Ribnik Rakovnik imajo v upravljanju od novembra 1996, ko so ga prevzeli od takratnega upravljavca Gozd d.o.o. Ljubljana. V tem času so precej opazno spremenili podobo ribnika glede na stanje v kakršnem so ga dobili leta 1996. Z nasipa so v celoti odstranili trstičje, na nasipu postavili klopce za počitek ter po nasipu naredili pot v obliki peščenega nasutja. Na nekaj mestih so z jelševimi piloti utrdili nasip in ustvarili povsem navpične brežine. Že obstoječo in še povsem funkcionalno zapornico pa trajno zabili s čepom, ker jim na zapornici ni uspelo doseči zelenega tesnjenja. Ribnik Rakovnik tako že 12

let ni bil izpraznjen, saj je zapornica nefunkcionalna. V njem gojijo ribe, predvsem krape, amurje, ščuke, rdečeperke in druge. Izvajajo tudi športni ribolov, prirejajo ribiška tekmovanja ipd.

#### **4.7 Pravne razmere in status ribnikov v dolini Drage**

Območje ribnikov v dolini Drage je bilo leta 1986 z odlokom razglašeno za naravni spomenik (Odlok o razglasitvi območja ribnikov v dolini Drage pri Igu za naravno znamenitost, UL SRS št. 23/1986). Glede na Pravilnik o določitvi in varstvu naravnih vrednot (UL RS št. 111/2004 in 70/2006) so ribniki v dolini Drage pri Igu opredeljeni kot naravna vrednota državnega pomena, evidenčna št. 49, skupna površina 81,58 hektarja. Po Uredbi o zvrsteh naravnih vrednot (UL RS št. 52/2002 in 67/2003) je območje ribnikov opredeljeno kot zoološka, hidrološka, botanična in ekosistemska naravna vrednota. Dolina Drage je skupaj z Ljubljanskim barjem kot njegov južni podaljšek vključena tudi med posebna varstvena območja oz. območja NATURA 2000 (Uredba o posebnih varstvenih območjih - območjih NATURA 2000, UL RS št. 49/2004 in 110/2004). V območje NATURA 2000 je dolina Drage vključena po Habitatni direktivi (pSCI – posebna ohranitvena območja oz. območja pomembna za Evropsko skupnost).



Slika 38: Prikaz mej območja naravnih vrednot državnega pomena za ribnike v dolini Drage

Po letu 2000 si je občina Ig prizadevala za spremembe oz. dopolnitve Odloka o razglasitvi območja ribnikov Drage pri Igu za naravno znamenitost iz leta 1986. V letu 2000 je bil izdan Odlok o spremembah in dopolnitvah odloka o razglasitvi območja ribnikov Drage pri Igu za naravno znamenitost (UL RS št. 22/2000, v nadaljevanju odlok). V zvezi s tem odlokom je bil na zahtevo Vlade Republike Slovenije na Ustavnem sodišču sprožen postopek za oceno ustavnosti in zakonitosti. Vlada je odlok izpodbijala. Navedla je, da naj bi odlok bistveno spreminjal varstveni režim zavarovanih naravnih vrednot na območju ribnikov Drage pri Igu, ker je bila iz strožjega varstvenega režima izvzeta prepoved športnega ribolova, lastnikom parcel in izvajalcem del v kamnolomu je bila dovoljena vožnja po cestah in poteh parka ter obiskovalcem parkiranje. Poleg tega je bil za severni del parka v Dragi določen milejši varstveni režim, na vsem območju parka pa je bil dovoljen športni ribolov, sprehajanje, kolesarjenje, vzdrževalna in gradbena dela na obstoječih objektih ter postavljanje objektov, namenjenih vzdrževanju in ohranjanju parka. Vlada se je v svoji zahtevi za presojo ustavnosti in zakonitosti odloka sklicevala na določbe Zakona o ohranjanju narave (UL RS št. 96/2004 in) in ocenila z odlokom spremenjeni varstveni režim na obravnavanem območju kot neprimeren in zato v nasprotju z določbami Zakona o ohranjanju narave. Pri spremembi varstvenega režima, s katerim so bile dovoljene nove dejavnosti na območju, naj po navedbah

Vlade ne bi bile upoštevane značilnosti zavarovanega območja in namena zavarovanja. Prav tako je bilo ocenjeno, da je odlok v nasprotju s Konvencijo o biološki raznovrstnosti (UL RS št. 30/96), ki predvideva ustrezne postopke presoje vplivov predlaganih projektov na okolje, če bi ti lahko imeli občutne škodljive posledice na biološko raznovrstnost. Po Konvenciji o varstvu prosto živečega evropskega rastlinstva in živalstva ter njihovih naravnih življenjskih prostorov (UL RS št. 55/99) naj bi se z ustreznimi in primernimi zakonskimi upravnimi ukrepi zagotavljala ohranitev življenjskih prostorov prosto živečih rastlinskih in živalskih vrst, zlasti tistih, ki so navedeni v dodatkih k citirani konvenciji in med katere sodijo tudi nekatere živalske vrste na tem območju. Konvencija o močvirjih, ki so mednarodnega pomena, zlasti kot prebivališča močvirskih ptic in Konvencija o varstvu selitvenih vrst prosto živečih živali, naj bi prav tako varovali selitvene vrste ter predvidevali ukrepe za varovanje. Ustavno sodišče je potem na predlog Vlade in na osnovi navedenega izdalo Sklep, da se izvrševanje odloka o spremembah in dopolnitvah odloka o razglasitvi območja ribnikov Drage pri Igu za naravno znamenitost do končne odločitve Ustavnega sodišča zadrži (UL RS št. 37/2002).

Vlada je v svoji zahtevi navedla, da naj bi dovoljene aktivnosti na obravnavanem območju že ogrožale naravovarstvene cilje, zlasti tiste lastnosti ribnikov v dolini Drage, ki vzpostavljajo in ohranjajo posebno vrednost tega območja, to je obstoj redkega biotopa in ogroženih živalskih vrst. Ekološki značaj območja naj bi bil prizadet zaradi neposrednih in posrednih motenj (uničenje rastlinskih vrst in gnezdišč ptic, vpliv na sestavo avtohtone flore in favne). Ustavno sodišče se je strinjalo, da na zavarovanem območju izpodbijani predpis spreminja varstveni režim in dovoljuje nove dejavnosti, ki lahko ogrozijo naravovarstvene cilje na obravnavanem območju. Te škodljive posledice bi bilo ob morebitni ugotovitvi neustavnosti in nezakonnosti predpisa težko, če že ne nemogoče, popraviti. Iz teh razlogov je Ustavno sodišče zadržalo izvrševanje odloka. Ker je občina Ig odlok razveljavila (UL RS št. 55/2002), je bil postopek za oceno ustavnosti in zakonitosti odloka ustavljen (UL RS, št. 102/2002).

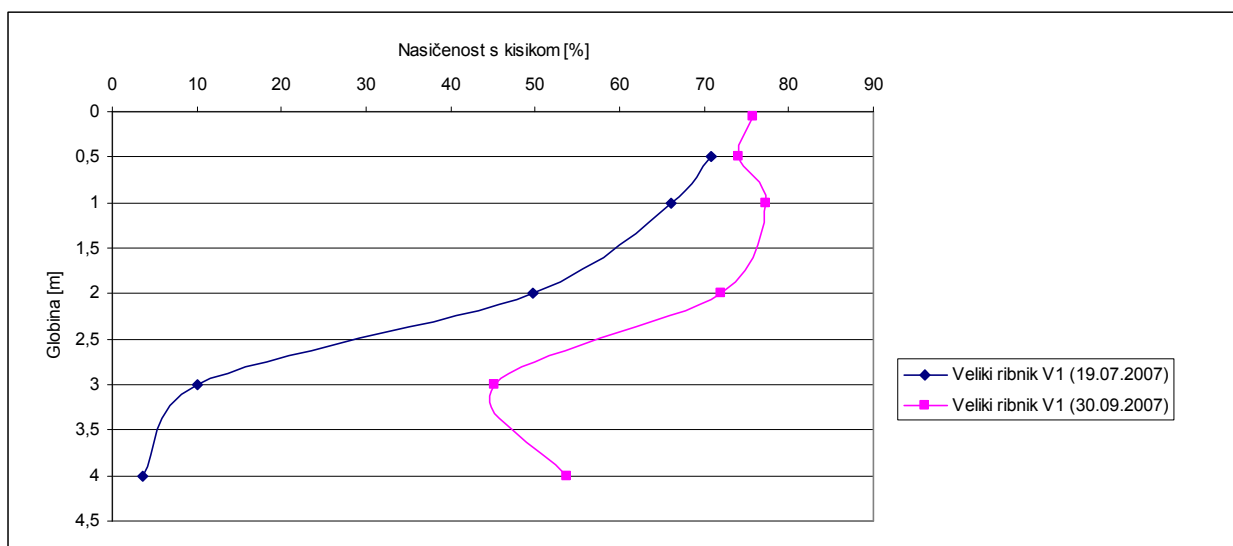
Tako danes še vedno velja le izhodiščni Odlok o razglasitvi območja ribnikov v dolini Drage pri Igu za naravno znamenitost (UL RS št. 23/1986) iz katerega je bila izvzeta prepoved športnega ribolova (UL RS št. 61/2002).



Vrednosti nasičenosti raztopljenega kisika pod 100 % kažejo, da procesi respiracije presegajo fotosintetsko aktivnost. Izredno nizke vrednosti ob sedimentu kažejo na veliko aktivnost razgradnih procesov, pri katerih se porabljajo hipolimnijske zaloge kisika. Zaradi velike biomase fitoplanktona je prosojnost majhna, kar pa zaradi pomanjkanja svetlobe onemogoča primarno produkcijo oz. fotosintezo v spodnjih delih vodnega stolpca. Je pa ob analiziranju izmerjenih vrednosti v tem primeru treba upoštevati tudi to, da so bile meritve opravljene v zgodnjih dopoldanskih urah. Tekom dneva bi bilo zaradi obilja fitoplanktona pričakovati znatno večjo nasičenost kisika, zlasti v zgornjih delih vodnega stolpca, kjer bi po vsej verjetnosti le-ta bistveno presegla mejo 100 %. pH vrednosti, izmerjene pod gladino, so se iz julijskih 7,8 do konca oktobra nekoliko povečale in sicer na 8,2 kar kaže, da se je v procesu fotosinteze porabilo več CO<sub>2</sub> kot se ga je lahko nadomestilo s sproščanjem iz Ca(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>. Ob znižanju koncentracij raztopljenega CO<sub>2</sub>, se je za fotosintezo kot njegov vir izrabljajl hidrogenkarbonat. To je vplivalo na spremembo puferske kapacitete oziroma premik karbonatnega ravnotežja, kar izkazujejo tudi nekoliko povišane pH vrednosti. Zaznati je trend upadanja z globino, kar je pričakovano, saj se z globino vse bolj povečuje respiracija. Z globino se znižuje tudi oksigenirajoča kapaciteta vode, na globini 2 metrov je izrazit preskok v reducirajoče okolje. Na to kažejo izmerjene vrednosti oksido-redukcijskega oziroma redoks potenciala (ORP), ki so pod gladino znašale 516 mV, ob sedimentu pa le 105 mV.

Čeprav Secchijeve globine na Velikem ribniku nisem meril, je bila voda preko celotnega poletja močno motna z obiljem fitoplanktona in tudi suspendiranih snovi. Nekoliko večjo prosojnost so imeli litoralni deli na južnem oz. jugozahodnem delu, kjer je vsako leto močno zastopana tako submerzna kot tudi emerzna makrofitska vegetacija. Iz rezultatov jesenskih meritev z dne 30. septembra so razvidne tudi nekoliko povečane vrednosti nitratov, po globinskem profilu je bila še vedno močno izražena temperaturna stratifikacija, koncentracije raztopljenega kisika pa so se v primerjavi s poletnim obdobjem precej povečale (Grafikon 1), kar je med drugim tudi v povezavi z večjo topnostjo kisika ob znižanju temperature, predvsem pa znižane respiracije. Je bilo pa še vedno opaziti trend zniževanja koncentracij kisika z globino. Isti dan oz. 30. septembra so po zaključku mojih meritev začeli s spuščanjem vode iz Velikega ribnika, 6. oktobra pa je potekal izlov Velikega ribnika. Zaradi obilnih padavin in velikega dotoka so potem z izlovom prekinili ter nadaljevali čez nekaj dni. Dva tedna kasneje

so kot vsako leto izlovili tudi Prvi ribnik. Preko zime v letu 2007/2008 so tako oba ribnika pustili spuščena oz. brez vode. Nadaljnjih meritev na Velikem ribniku zato nisem mogel opraviti.



Grafikon 1: Spreminjanje nasičenosti s kisikom po globini v Velikem ribniku (merilno mesto ustreza največji globini – lokacija zapornice)

Kljub veliki organski obremenitvi, ki v precejšni meri izhaja tudi iz ribogojstva oz. hranjenja rib, so bile izmerjene vrednosti obeh dušikovih frakcij – tako amonija kot nitrata le okoli 0,2 mg/l. Potok pri nekdanji kmetiji Grum, kjer je prvi odzem vode za Zadnji bajer, je imel isti dan (19. julij 2007) 1,1 mg NO<sub>3</sub>/l, kar je prav tako nizka vrednost. Vzrok temu je prisotnost perfitonskih alg v potoku Draščici, ki nitrato izrabljajo kot vir hranil, hkrati pa prispevajo k višjim koncentracijam raztopljenega kisika. Rezultati meritev (Preglednica 6) kažejo, da se temperatura vode med mestom odvzema vode za Zadnji ribnik in mestom preliva Velikega ribnika (V2) poveča za več kot 9°C. Med istima mestoma se je znižala tudi pH vrednost in sicer iz 8,4 (merilno mesto Gr) na 7,7 na merilnem mestu V2. Še malo nižje vrednosti pa je bilo zaznati v hipolimniju pred zapornico (V1), kjer je tudi največja globina Velikega ribnika.

Preglednica 6: Primerjava med izmerjenimi parametri na potoku pred odvzemom vode za Zadnji ribnik (Gr) in prelivom Velikega ribnika (V2)

Merilno mesto	Datum	ura	T [°C]	pH	DO [%]	DO [mg/l]	SPC [μS/cm]	ORP [mV]	NO <sub>3</sub> [mgNO <sub>3</sub> /l]
Gr	19.07.2007	10:40	16,0	8,4	107	10,1	515	428	1,09
Gr	12.11.2007	10:32	4,8	8,2	84	10,8	523	523	4
Preliv - V2	19.07.2007	10:05	24,7	7,7	64,2	5,3	419	429	0,21

Na preostalih ribnikih sem v poletnem obdobju opravil le meritve z brega, zato je iz njih težko sklepati na spreminjanje razmer po globinskem profilu na sredini ribnikov. Opaziti je mogoče postopno upadanje izmerjenih temperatur vode v ribnikih po dolini gorvodno (Preglednica 7), najnižjo temperaturo vode je pričakovano imel Zadnji ribnik, v njem sem na merilnem mestu Z3 izmeril tudi 90% nasičenost s kisikom in vrednost pH 8,1. Glede na relativno velik dotok relativno hladne in s kisikom bogate vode s potoka ter majhno število rib v ribniku so izmerjene vrednosti pričakovane, pri fotosintezi porabljeni ogljikov dioksid pa se nadomešča iz karbonatnega ravnotežja. Nitrati so minimalno višji kot v ribnikih dolvodno, saj se še niso porabili v primarni produkciji. Pri Srednjem ribniku sem v litoralnem delu na merilnem mestu S1 izmeril le 2,1 mg raztopljenega kisika/l oz. 28 % nasičenost. Površina ribnika je bila v celoti prekrita s submerznimi makrofiti od katerih so bili številni že odmrli in v fazi tonjenja. V podobnem stanju je bil tudi Rezani ribnik, ki za razliko od Srednjega ribnika dobiva svežo vodo iz potoka, kar se odraža tudi na nekoliko večjih vrednostih raztopljenega kisika.

Preglednica 7: Primerjava med izmerjenimi parametri med ribniki gorvodno od Velikega ribnika

Merilno mesto	Datum	ura	globina [m]	T [°C]	pH	DO [%]	DO [mg/l]	SPC [ $\mu$ S/cm]	TDS [g/l]	ORP [mV]	NO <sub>3</sub> [mgNO <sub>3</sub> /l]
Z2 Zadnji ribnik (zapornica)	10.11.2007	12:47	0,1	4,7	7,9	76	9,8	371	0,2375	357	3,66
		12:50	0,5	4,6	7,9	71	9,2	371	0,2375	360	3,73
		12:52	1	4,6	7,9	71	9,1	372	0,238	363	3,77
		12:55	1,2	4,6	7,9	66	8,5	373	0,2383	366	3,83
Re3 Rezani ribnik (zapornica)	10.11.2007	12:17	0,1	6,6	7,6	68	8,5	471	0,3008	282	2,84
		12:19	0,5	5,7	7,7	66	8,5	474	0,3032	296	2,8
		12:22	1	5,7	7,8	65	8,1	476	0,3044	312	3
		12:24	1,3	5,5	7,7	59	7,3	482	0,3075	310	2,71
S3 Sredji ribnik (zapornica)	10.11.2007	10:15	0,1	5,9	7,4	59	7,3	450	0,2884	328	1,04
		10:17	0,5	5,6	7,5	49	6,1	450	0,2885	344	1,03
		10:20	1	5,6	7,4	51	6,4	450	0,2884	352	1,01
		10:22	1,7	5,5	7,4	46	5,8	451	0,2885	358	1,06

21. oktobra sem na Srednjem, Rezanem in Zadnjem ribniku meril tudi Secchijo globino (Secchijev disk). Na Srednjem ribniku sem zaradi obilja submerznih makrofitov po celotni površini ribnika le s težavo uspel najti primerno mesto za merjenje. Voda je bila na pogled dobro prosojna, pri zapornici (merilno mesto S3) sem izmeril Secchijevo globino 1,82 metra. Druga merilna mesta za merjenje Secchijeve globine zaradi plitvosti niso bila primerna, saj se je videlo dno. Do dna je bil prosojen tudi Rezani ribnik, voda je bila na videz še nekoliko bolj prosojna kot v Srednjem ribniku, Secchijev disk je bil viden tudi na globini 1.75 m (dno) pri zapornici (merilno mesto Re3). Poleg obilja submerznih makrofitov so bile tako na Srednjem kot tudi na Rezanem ribniku mestoma na površini prisotne svetlo zelene alge. Še bolj prosojna



je bila voda v Zadnjem ribniku, dno se je videlo na območju celotne površine. Prisotna je bila vegetacija submerznih makrofitov, vendar je bila razrast v primerjavi s Srednjim in Rezanim ribnikom manjša in na manj kot polovici vodne površine.

Dne 10. novembra so bili Srednji, Rezani in Zadnji ribnik že temperaturno homogeni po globinskem profilu, zjutraj je bil na približno četrtini površine Rezanega ribnika tanek led. Porušena temperaturna plastovitost se je odražala tudi na kisikovih razmerah. Iz dobljenih rezultatov na več merilnih mestih lahko v splošnem povzamem, da so bile najboljše kisikove razmere v Zadnjem ribniku, nekoliko manj v Rezanem, najnižje koncentracije pa sem izmeril v Srednjem ribniku. V vseh treh ribnikih v tem času tudi ni bilo bistvenih odstopanj v koncentracijah raztopljenega kisika med gladino in sedimentom. Hipoksij nisem zasledil. V Zadnjem ribniku so se koncentracije nitratov povečale med 3 in 4 mg/l ter se dolvodno v Rezanem in Srednjem ribniku zaradi še vedno prisotne primarne produkcije zniževale. Na enak način so se zniževale tudi pH vrednosti.



Slika 39: Srednji ribnik (3. oktober 2007)



Slika 40: Srednji ribnik (10. Novembe 2007)



Slika 41: Rezani ribnik (21. oktober 2007)



Slika 42: Meritev Secchijevim diskom na Rezanem ribniku (21. oktober 2007)

Na Rakovniku in Špilgutu sem meritve opravljal 19. julija (z brega) ter 11. novembra (s čolna). 19. julija sem na Rakovniku na merilnem mestu izmeril najvišjo temperaturo vode in sicer 26,8°C. Na istem merilnem mestu sem ob 11:10 uri izmeril 125 % nasičenost s kisikom, kar pomeni, da je primarna produkcija presegala respiracijo oziroma je šlo za biogeno prezračevanje. V povezavi s fotosintetsko aktivnostjo fitoplanktonov je tudi izmerjena pH vrednost 8,3.

Rezultati meritev z dne 11. novembra kažejo na temperaturno homotermijo, vendar je temperatura vode glede na izmerjene vrednosti na 10 merilnih mestih v Rakovniku za 1 do 2°C večja kot v Srednjem, Rezanem ali Zadnjem ribniku. Vzrok temu je gotovo večja osončenost Rakovnika. Na Rakovniku izstopajo tudi izmerjene vrednosti skupnih raztopljenih snovi (TDS), ki so v primerjavi z ostalimi ribniki nekoliko višje, kar bi bilo lahko posledica prehranjevalne aktivnosti rib, resuspenzije sedimenta v litoralnih predelih zaradi valovanja ob vetru, poleg tega pa za razliko od preostalih ribnikov, iz Rakovnika že 12 let ni bila spuščena voda oz. ni suh premrznil. Na Rakovniku sem 21. oktobra s Secchijevim diskom na desetih merilnih mestih izmeril Secchijevo globino. Voda je bila že na pogled precej motna in rjavo obarvana, dna se tudi v najbolj plitvih predelih ni videlo. Secchijeva globina je znašala med 0,6 in 0,75 metra. Zaradi slabe prosojnosti oziroma slabih svetlobnih razmer je na Rakovniku onemogočeno uspevanje submerznih makrofitov. Njihova popolna odsotnost traja že vrsto let, čeprav je bil Rakovnik nekako do leta 1996 po uspevanju makrofitske vegetacije povsem primerljiv z Velikim ribnikom. Čeprav med Rakovnikom in Velikimi ribnikom oz. preostalimi ribniki obstaja opazna razlika v kakovosti vode oz. stopnji evtrofnosti, ki je poleg terenskega ogleda dobro razvidna tudi iz ortofoto posnetkov (sliki 17 in 20), je le ta še bolj očitna na ortofoto posnetkih posnetih z infrardečo kamero, kar prikazujeta tudi sliki 43 in 44. Iz slik primerjave med obema ribnikoma je razvidno, da na Rakovniku ni niti najmanjšega sestoja submerznih makrofitov, vidijo se samo sestoji trstja, kar pa je tudi vsa makrofitska vegetacija, ki jo premore Rakovnik. Različni odtenki na IR posnetku Velikega ribnika prikazujejo bogato zastopano submerzno vegetacijo v litoralnem pasu, prevladujoči svetli odtenki v litoralnem pasu so listi lokvanja, temnejša senca koncentrične oblike pa predstavlja obsežen sestoj rogoza.

Barvni ortofoto posnetek celotnega območja ribnikov v dolini Drage je v prilogi E, v infrardečem spektru pa v prilogi G.



Slika 43: IR ortofoto posnetek Rakovnika in Špilguta (posneto 11. 07.2006)



Slika 44: IR ortofoto posnetek Velikega ribnika (posneto 11.07.2006)

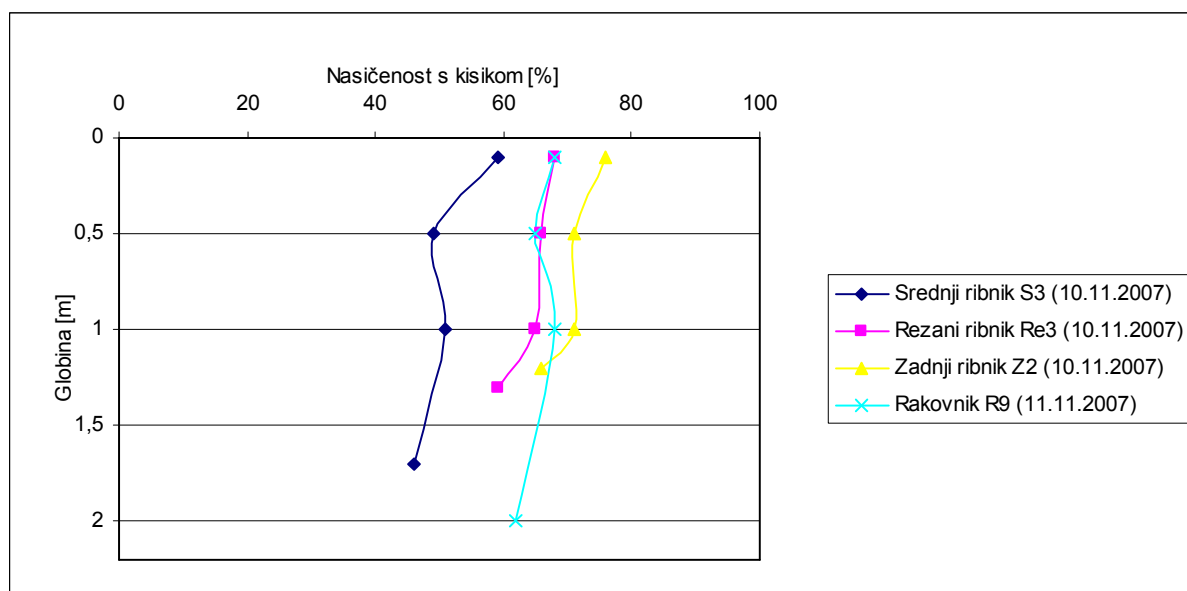
Predpostavljam da je bistvena sprememba v jezerskem metabolizmu Rakovnika in poslabšanje razmer za uspevanje submerznih makrofitov posledica kombinacije različnih dejavnikov, predvsem večje količine rib, ki s svojo prehranjevalno aktivnostjo ustvarjajo kalnost (krapji) oziroma se z rastlinjem neposredno prehranjujejo (amurji). Ker ribnika že od leta 1996 niso izpraznili in pustili, da bi preko zime suh premrznil, se je zaradi procesa zamuljevanja bistveno zmanjšal vodni volumen jezerske kotanje. Izmeril sem tudi nitrate, ki so bili glede na ostale ribnike nekoliko višji (3-5 mg/l). Ker Rakovnik dobiva vodo neposredno iz Špilguta, tega pa napaja bližnji istoimenski izvir, sem izmeril tudi nitrate ter elektroprevodnost na samem izviru. Izmerjeni vrednosti 15,7 mg NO<sub>3</sub>/l ter visoka specifična prevodnost 718 μS/cm kažeta na antropogene vplive iz vasi Dobravica oz. kmetijskih površin pod njo. Zlasti če upoštevam, da je teren nad izviro deloma zakrasel in vse do obdelovalnih površin pod vasjo zelo strm. Isti dan sem iz radovednosti opravil še meritve nitratov na petih manjših izviroh gorvodno od Zadnjega bajerja, vendar vrednost nitratov na nobenem ni dosegla 5 mg/l.



Slika 45: Rakovnik



Slika 46: Nasip Rakovnika



Grafikon 2: Spreminjanje nasičenosti s kisikom po globini v posameznih ribnikih – lokacija zapornic (mesta največjih globin)

Rezultati opravljenih meritev sicer dajejo določen vpogled v stanje jezerskih ekosistemov v dolini Drage, vendar pa so dobljene vrednosti zgolj približne, predvsem pa le odraz trenutnega stanja, zato na osnovi posamezne meritve še ne moremo sklepati na stalno (ne)obremenjenost vodnega telesa. Pri interpretaciji opravljenih meritev se je treba zavedati, da je za posamezne parametre značilna velika dinamika dejavnikov, ki se spreminjajo tudi iz ure v uro oziroma prihaja do velikih dnevno-nočnih nihanj. Poleg vremenskih in hidroloških dejavnikov ima na merjene parametre velik vpliv tudi dinamika življenjskih združb. Da bi pridobili bolj kvalitetne in zanesljive podatke o dogajanju v jezerskih sistemih, bi bilo treba izvajati meritve skozi daljše časovno obdobje, vsaj preko celega leta ali dlje. Poleg posamičnih meritev bi bilo

smiselno opraviti tudi kontinuirne meritve, npr. pozno spomladi in poleti, ko so pričakovana dnevno-nočna nihanja parametrov največja, prav tako v času hidroloških dogodkov.

Rezultate opravljenih meritev po vseh merilnih mestih prikazujem na koncu kot prilogo B.

Spreminjanje temperatur zraka in padavin v obdobju izvajanje meritev je prikazano v prilogi C in sicer za najbližjo merilno postajo - Želimplje. Podatki so pridobljeni od Agencije RS za okolje.

#### **4.9 Problematika ribnikov v Dragi**

Kot na vseh naravno ohranjenih območjih, tako nezavarovanih kakor zavarovanih, se tudi na ribnikih v dolini Drage pojavljajo problemi, nasprotja in posegi, ki negativno vplivajo na sam jezerski in močvirski ekosistem ter spreminjajo krajinsko podobo doline. Biodiverzitetu tega območja ogrožajo različni dejavniki, ki jih je težko razvrstiti od najvplivnejšega do najmanj vplivnega, vendar je neusklajeno oziroma intenzivno ribogojstvo gotovo pri vrhu lestvice.

Voda v Velikem ribniku je zaradi intenzivnega ribogojstva močno organsko obremenjena in podvržena evtrofikaciji, še posebej v sušnih poletnih mesecih, ko je padavin malo, dodatno hranjenje rib pa najbolj intenzivno. Pojav evtrofikacije predstavlja bistveno degradacijo okolja in kvalitativno zmanjševanje biotskih vrst v posameznem biotopu. Prevelika gostota rib povečuje tveganje za izbruh ribjih boleznih, tveganje dodatno povečujejo ribojede ptice, saj pri lovljenju veliko rib poškodujejo. Prenos boleznih je možen še z drugimi na vodo vezanimi pticami. Negativen vpliv na okolje ima tudi uporaba zdravil in kemijskih pripravkov za zatiranje ribjih boleznih kot npr. škropljenje z modro galico ali preventivno posipanje z apnom. Potreba po uporabi tovrstnih sredstev pa je še toliko večja, če je ribnik gosto naseljen z ribami, saj si upravljavci prizadevajo preprečiti pogine oz. ohraniti ribe zdrave.

Velika gostota zooplanktivorih rib v Velikem ribniku vpliva na kvaliteto vode tako s svojimi izločki oz. iztrebki kot tudi posredno, ko ribe s svojimi prehranjevalnimi navadami povzročajo kalnost in s sedimentom dvigajo po vodnem stolpcu navzgor tudi fosfor in dušik. Te notranje obremenitve s hranili poleti privedejo do preskoka od prevlade submerznih



makrofitov v prevlado planktonskih alg, ki se lahko ob odsotnosti zooplanktonskega objedanja močno razmnožijo in občasno na posameznih lokacijah tvorijo tudi značilne "cvetove".



Slika 47: Cvetenje alg na Velikem ribniku (april 2007)



Slika 48: Cvetovi alg na Srednjem ribniku (3.10.2007)

Čeprav v večini ribnikov biomasa fitoplanktona nastopa v količinah značilnih za evtrofna jezera, pa zaradi majhne globine ribnikov ne prispeva bistveno k celotni biomasi primarnih producentov. Bistven in pomemben delež predstavlja namreč makrofitska vegetacija, ki ji razmerje med globino in površino ribnikov omogoča ugodne razmere za uspevanje.

Omenil sem že, da se jezerski ekosistemi po naravnem zakonu sukcesije bolj ali manj hitro spreminjajo v terestrične. Sukcesijskemu procesu so podvrženi tudi ribniki v dolini Drage, saj so bili narejeni umetno z izkrčenjem gozda. O tem nam pričajo številni, še dokaj dobro ohranjeni, štori dreves črne jelše v Velikem ribniku, ki se pokažejo, ko iz ribnika spustijo vodo. Na istem zemljišču so izkopali ribniške bazene, zaježili potok Draščico in studence ter spustili vodo skozi odtok pod jezovi v kanale iz ribnika v ribnik ali prek prelivov. Če ribnikov ne bi vzdrževali oziroma bi jih prepustili naravi, bi prišlo do njihovega sukcesijskega razvoja nazaj v gozdni ekosistem. Zaradi vse večje količine suspendiranih organskih snovi, ki bi se odlagale na dnu, bi postajala voda vse bolj plitva. Veliki vodni makrofiti, ki so prvotno rasli samo ob obrežju, bi se zaradi plitvosti vode začeli širiti proti sredini. Združba dristavcev bi prehajala v združbo trstičja, ta pa v združbo šašev. V nadaljnjem razvoju bi se plitvi ribniki spreminjali v močvirje, ki bi jih potem začele preraščati grmovne in drevesne vrste kot sta

vrba in črna jelša. Izoblikovala bi se torej prvotna gozdna združba. V primeru, da bi naravne sile predrle jezove oz. bi bil vodostaj v ribnikih znižan, bi potekal sukcesijski razvoj še hitreje.



Slika 49: Napredovanje emerznih makrofitov in jelševih sestojev na Velikem ribniku



Slika 50: Preraščenost Srednjega ribnika

Temeljni problem ribnikov v dolini Drage je zato gotovo njihovo čezmerno zaraščanje oz. zmanjševanje proste vodne površine kot posledica napredovanja sukcesijskega procesa. Tako sta npr. Veliki in Srednji ribnik izgubila že precejšen delež prvotne površine, na mestu nekdanjih trstičij se nahaja kopno z močvirskimi tlemi na katerih uspevata močvirski gozd črne jelše in ločje. Spreminjajo se torej habitati posameznih vrst, predvsem ogroženih ptic, zaradi katerih imajo ribniki v dolini Drage tudi največjo naravovarstveno vrednost, saj jim nudijo gnezdiščni in prehranjevalni prostor, selitveno postajo ter prezimovališče. Le-te za svoj obstoj potrebujejo določeno gostoto in obseg trstičja ob primerni globini vode.

Obenem pa je npr. na Rakovniku situacija obratna, saj so se obrežne površine trstičja od leta 1996, ko je ribnike prevzela RD Smuč, bistveno zmanjšale. Ob tem so se močno poslabšale življenjske razmere za vodne ptice, kar potrjujejo tudi rezultati ornitoloških opazovanj (Sovinc, 1993). Na ribniku se je zmanjšala tako številčnost ptic, kakor tudi njihova vrstna pestrost. Še posebej zaskrbljujoča je odsotnost nekaterih vrst, ki so na Rakovniku vsako leto tudi gnezdile, zdaj pa jih že nekaj let ne opažajo več.

Nihanje številčnosti na vodo navezanih vrst ptic je dokazano posledica razpoložljive hrane. Znano je, da so ribe potencialni tekmeci vodnim pticam za hrano. Velika gostota planktivorih rib omogoča razrast fitoplanktona, ki zaviralno deluje na rast makrofitov, kjer imajo nevretenčarji kot vir hrane vodnih ptic ugodne možnosti za razvoj. Zaprta lega doline Drage in manj ugodne mikroklimatske razmere ob neprimernih vodnih globinah in neustreznim

brežinskim pasom ob prej omenjenemu pomanjkanju hrane, še zmanjšujejo možnosti za pojavljanje večjega števila vodnih vrst ptic, čeprav bi bilo možno pogoje zanje z določenimi tehničnimi ukrepi v prihodnje izboljšati. Za večino gnezdečih vrst na območju ribnikov, katerih status se je v Dragi v zadnjih letih spremenil ali tu sploh ne gnezdi več, je značilno, da so navezane na zadosten obseg in primerno sestavo trstičja (mala bobnarica, mala tukalica, trstni cvrčalec, tamariskovka, rakar).

Rakar in mala bobnarica sta najznačilnejši in v naravovarstvenem pogledu najpomembnejši gnezdilki s trstjem zaraslih ribnikov v Dragi. Uvrščeni sta v kategorijo ranljivih vrst Rdečega seznama ogroženih ptičev v Sloveniji, mala bobnarica pa tudi na spisek v Evropi ogroženih vrst v vsem ali večjem delu njihovega areala. Med vzroke za upad njihove populacije v zadnjih letih sodi nedvomno tudi zmanjševanje obsega trstičij v zadnjih letih, predvsem na Rakovniku.

Pomembna značilnost varstva naravne dediščine na območju naravnega spomenika je velika povezanost in soodvisnost problemov v zvezi z obstojem in razvojem naravnega spomenika. Eden od vzrokov za to je velik vpliv človeka na njegov obstoj in razvoj. Navzočnost človeka je po eni strani potrebna in nujna za vzdrževanje umetnih ekosistemov (ribniki, močvirnati predeli, travniki) na območju naravnega spomenika. Po drugi strani pa je človekova navzočnost škodljiva zaradi neustreznega gospodarjenja, negativnih vplivov obiskovalcev in onesnaževanja.

Neustrezno gospodarjenje z ribniki je tudi odraz neustreznih strokovnih osnov, ker ni izdelan načrt za ribogojstvo. Zaradi tega so upravljavci prepuščeni sami sebi, gospodarijo na osnovi svojega znanja in pridobljenih izkušenj. Prav tako ni ustrezno določen cilj gospodarjenja, ki bi prikazal ustrezno intenzivnost opravljanja dejavnosti.

Že sam Odlok o razglasitvi območja ribnikov v dolini Drage za naravno znamenitost je pomanjkljiv in presplošen kot osnova za gospodarjenje. V odloku niso konkretno navedeni cilji gospodarjenja in izvajanja posameznih dejavnosti. Za posamezne dejavnosti niso opisane stopnje intenzivnosti in ustrezne omejitve ter zahteve, ki jih morajo upoštevati upravljavci.



Odlok ne upošteva, da je ribnike mogoče zadrževati na zeleni stopnji njihovega ontogenetskega razvoja le z rednimi in primernimi načini omejevanja in odpravljanja čezmernega zaraščanja z makrofitsko vegetacijo, ki ima ključno vlogo pri sukcesijskem razvoju jezerskih ekosistemov. V Odloku je prepovedano odstranjevanje vegetacije. Ne le, da ne piše pod kakšnimi pogoji, v katerem časovnem obdobju in v kakšnem obsegu naj bi se lahko izvajali ukrepi za zadrževanje razraščanja makrofitske vegetacije, temveč Odlok sploh ne predvideva ukrepov za ohranjanje vodnih površin oz. nadzora nad razraščanjem makrofitov.

Način gospodarjenja z Rakovnikom ni v skladu z določbami Odloka, saj se je z nekaterimi, v zadnjih letih izvedenimi ukrepi, bistveno zmanjšala vrstna diverziteteta, drastično se je zmanjšal obseg trstičja, zaradi evtrofnosti je povsem izginila vegetacija submerznih makrofitov. Čeprav je bil sprva sprejeti Odlok o spremembah in dopolnitvah odloka o razglasitvi območja ribnikov Draga pri Igu za naravno znamenitost razveljavljen, je ob izvajanju športnega ribolova mogoče zaznati uresničevanje v razveljavljenem odloku omenjenega milejšega varstvenega režima v severnem delu naravnega spomenika.

Ker za dolino Drage do zdaj še ni bil izdelan ureditveni načrt, projekt, načrt upravljanja ali razvojna strategija sem v nadaljevanju poskušal podati nekaj svojih konkretnih rešitev, s katerimi bi bilo mogoče bistveno izboljšati današnje stanje ribnikov oz. krajinsko podobo doline Drage.

## **5 Ukrepi za izboljšanje stanja**

### **5.1 Predlog ureditvenega načrta**

Čeprav na ribnikih v Dragi med najbolj očitne in nezaželjene procese spadata zmanjševanje vodnih površin oz. napredovanje sukcesijskega procesa ter zamuljevanje, sem se v ureditvenem načrtu izognil izvajanju bolj radikalnih posegov v smislu premeščanja zemeljskih mas. Bolj sem se usmeril na ustvarjanje in povrnitev ustreznih biotskih razmer na ribnikih, predvsem v smislu zmanjševanja evtrofnosti, upočasnjevanja sukcesijskega procesa ter doseganja bolj čiste vode v ribnikih. Osrednji cilj varstva in razvoja doline Drage pa mora

biti ponovna vzpostavitev in ohranjanje naravnih vrednot kar pomeni zagotavljanje ustreznih življenjskih prostorov ogroženim živalskim in rastlinskim vrstam in povečanje biotske raznovrstnosti. V nadaljevanju sem podal nekaj svojih konkretnih idej z namenom izboljšanja obstoječega stanja.

Predlog obnovitve nekdanjih ribnikov in ureditev novih biotopov je prikazan v prilogi I.

### **5.1.1 Rakovnik**

Še posebej veliko pozornosti bo treba usmeriti v reševanje problematike Rakovnika, predvsem povrnitvi nekdanjih s trstičjem zaraslih vodnih površin, povrnitvi biotske raznovrstnosti, zlasti habitatov nekoč redno zastopanih vrst ptic, povrnitvi vegetacije submerznih makrofitov, upočasnitvi zamuljevanja ter preprečevanju oz. zmanjšanju evtrofnosti. Stanje se namreč iz leta v leto poslabšuje, voda v ribniku postaja vse bolj motna, uspevanje submerznih makrofitov pa je že vrsto let povsem onemogočeno. Glavni vzroki za današnje stanje so gotovo majhen pretok vode, relativno velika količina planktivorih rib, predvsem pa že 12 let opuščen režim vsakoletnega spuščanja vode zaradi nefunkcionalnosti zapornice. To pa pomeni, da tudi ni mogoč vpogled v količino, vrstno in velikostno strukturo v Rakovniku živečih rib.

Glede na opisane značilnosti že dalj časa trajajočega stanja je kot prvi ukrep na Rakovniku potrebno ponovno vzpostaviti režim vsakoletnega izpuščanja vode iz ribnika. Lesena zapornica je še dokaj dobro ohranjena, prav tako verjetno tudi cevi pod nasipom s katerimi so pred okoli 20 leti zamenjali prvotno dotrajano hrastovo korito. Zaradi slabe prosojnosti vode in debele plasti mulja na dnu so možnosti, da bi odprli zapornico in omogočili odtok vode, majhne. Pred odprtjem zapornice oziroma izpustom vode bi morali tudi z izkopom poglobiti odtočni kanal od nasipa do izliva v Draščico, saj se je v vseh teh letih močno zarasel.

S tem ko bi Rakovnik pustili izpraznjen od jeseni do spomladi, bi prišlo do pospešenega procesa mineralizacije organskih snovi na dnu, sediment bi se presušil, postal bolj konsolidiran, ob večji količini padavin bi se ga nekaj tudi odplavilo skozi izpust. Ob ponovni napolnitvi z vodo bi prišlo do zmanjšane resuspenzije sedimenta iz dna po vodnem stolpcu

navzgor, zmanjšala bi se poraba kisika za razgradnjo, predvidevati je mogoče, da bi se povečala tudi prosojnost. Vendar pa zaradi velike količine mulja, ki se je nabral v vseh teh letih na dnu, na zelene rezultate oz. bolj čisto vodo verjetno ni mogoče računati že takoj v prvem letu, ampak šele po nekaj letih.

Ko se bodo razmere izboljšale in bo voda postala bolj prosojna, bo treba poskrbeti še za makrofitsko vegetacijo – npr. nasaditev lokvanja, pojavljanje in uspevanje preostalih makrofitskih vrst pa spremljati.

### **5.1.2 Obnovitev nekdanjih ribnikov**

Smiselno bi bilo tudi obnoviti nekdanje ribnike in sicer pod nasipom Rakovnika, za Srednjim ribnikom ter enega ob Velikem ribniku.

Ribnik pod nasipom Rakovnika je opuščen že približno 15 let in močno preraščen z rastlinjem, zlasti grmovjem, saj od takrat ni bil napolnjen z vodo. Potrebno bi bilo le odstraniti nekaj grmovja oziroma počistiti rastlinje po dnu. Postaviti bi bilo treba zapornico, položiti odtočno cev pod nasipom, utrditi nasip ter urediti preliv. Ribnik bi dobival vodo iz Rakovnika po cevi položeni pod krono nasipa.

Opuščen ribnik se nahaja tudi med Srednjim ribnikom in potokom Draščico. Potrebno bi bilo urediti brežine, odstraniti nekaj grmovja ter na posameznih mestih utrditi nasip. Z izkopom proti nasipu Rezanega ribnika in povišanjem nasipa bi bilo njegovo nekdanjo vodno površino mogoče precej povečati. Ribnik bi se napajal preko preliva Srednjega ribnika.

Obnovili bi lahko tudi opuščen ribnik na izviru Pantar med cesto in Velikim ribnikom. Vode v njem je toliko, da je le dobro pokrito dno, na obrobni delih se že razrašča močvirska vegetacija, tako grmovna kot tudi emerzni makrofiti, zlasti rogoz, v spomladanskem obdobju se že nekaj let pojavlja obilje zelenih alg (slika 51). Nasip je v dobrem stanju, prav tako je ohranjena zapornica. Treba bi bilo le posekati nekaj dreves in grmovja ter pokositi brežine. Eden večjih problemov, ki jih lahko pričakujemo po obnovitvi ribnika je njegova velika podvrženost eutrofности in razraščanju alg. Vzrok je gotovo vpliv iz vasi Dobravica, predvsem

po zaslugi neurejene kanalizacije in kmetijske dejavnosti. Pobočje nad ribnikom je mestoma precej strmo, ob obilnejših padavinah prihaja do površinskega odtoka.



Slika 51: Z algami prekrita površina opuščenega ribnika ob izviru Pantar

Omenil bi še precej manj znano lokacijo že davno opuščenega ribnika in sicer pri nekdanjem mlinu oz. kmetiji Grum v bližini Zadnjega ribnika. Na zajezitev spominja le še ostanek jezusa, medtem ko se je struga potoka precej premaknila. Obseg nekdanje zajezitve in lokacija odvzema vode za pogon mlina je razviden v Franciscejskem katastru iz leta 1825 (sliki 52 in 53).



Sliki 52 in 53: Lokacija nekdanje zajezitve potoka Draščica pred nekdanjo kmetijo Grum – primerjava med letoma 1825 (levo) in 2006 (desno)

### 5.1.3 Predlog ureditve novih močvirskih in vodnih biotopov med nasipom Rakovnika in Igom

Pod južnim robom ribnika Rakovnik se razprostira že več desetletij zapuščeno in izsušeno trstičje, ki ga preraščajo vrbe in jelše. Gre za dokaj veliko območje, ki sega proti Igu in je ostanek nekdanjih stalno zamočvirjenih zemljišč, ki so bila z reguliranjem struge Draščice izsušena in spremenjena v kmetijska zemljišča. Suha trstičja pod nasipom Rakovnika, ki jih že preraščata črna jelša in vrba, se nahajajo znotraj območja naravnega spomenika. Tu bi lahko uredili nov vodni objekt z ustreznimi plitvinami in trstičjem. Poznano je namreč, da imajo sestoji trstičja, ki niso v vodi, le skromno vrednost za ptice, kar še posebej velja v gnezditvenem obdobju. Za dovod vode bi uporabili potok Draščico.

Omenjeno območje je za ureditev novih močvirskih in vodnih biotopov primerno, saj se nahaja znotraj mej naravnega spomenika. Znano je namreč, da le velike, sklenjene površine zagotavljajo:

- pestrost vegetacijskih tipov,
- razmere za obstoj redkih in specializiranih vrst in pestrost habitatov,
- pestrost vrst,
- primerno velikost populacij vrst,
- zadostno varnost za živi svet pred motnjami iz okolice (večja stabilnost ekosistema).

Predvidene vodne površine bi bilo smiselno urediti tako, da bi bile čim bolj heterogene, izogibali pa bi se pravilnih, ostrorobih površin ter dajali prednost ustvarjanju zalivov, polotokov, otokov, členjeni obali, različnim globinam vode, blagim naklonom brežin ipd.

Pri ureditvi vodnih površin je treba pri pripravi terena poleg samih zemeljskih del oz. izgradnje nasipov ter odstranitve grmovne in drevesne vegetacije odstraniti tudi zgornjo plast tal oz. organsko bogati humus. S tem se izognemo procesom razgradnje organskih snovi ter dosežemo bolj čisto vodo.

Za bodoče močvirske biotope je potrebno določiti, za katere rastlinske ali živalske vrste naj bi se vzpostavile, vzdrževale ali/in izboljšale življenjske razmere. Na predlaganem območju kot

najbolj smiselno opcijo predlagam ureditev ustreznih biotopov za življenje na vodo vezanih ptic ter dvoživk.

Lokacijo predlagane ureditve novih biotopov prikazujem v prilogi I.

## **5.2 Izhodišča ter usmeritve za upravljanje in gospodarjenje z ribniki**

V realnem svetu, ki nas obdaja, se fizikalni in kemijski dejavniki ves čas spreminjajo. Te spremembe se kažejo v biosferi in procesih v njej. Zato sistem opredeljuje dinamika procesov, ne pa latentno stanje. Kakšen je v tem konceptu položaj "naravnega ravnotežja", na katero se tako radi sklicujemo? Je ravnotežje morda optimalno stanje, h kateremu sistem teži, ki pa ga zaradi motenj ne doseže? So odkloni od takšnega ravnotežja odvisni od notranje stabilnosti ekosistema? Odgovori na ta vprašanja so za varstvene usmeritve bistvenega pomena. Od njih je odvisno, ali bomo v zaščiteno območje posegali, da bi stanje ohranili v "naravnem ravnotežju", ali pa bomo pustili odklonom, da gredo svojo pot (Kryštufek, 1999).

Umetno ustvarjeni jezerski ekosistemi predstavljajo odprt, dinamičen kompleks s šibko notranjo regulacijo. Heterogenost neredko določajo nepredvidljive epizodne motnje, ki so za delovanje sistema lahko ključnega pomena. Zato zavržimo predstavo o idealnem stanju, v katerem naj se ekosistem nahaja. Vzdržujmo dejavnike sprememb, ker le-te povečujejo heterogenost ekosistema. Prostorsko heterogeni sistemi vzdržujejo vrste z visoko genetsko diverziteto, kar se kaže v diverziteti fizioloških in ekoloških parametrov, vse to pa daje sistemu večjo odpornost. Vsaka rastlinska in živalska vrsta je vpeta v okolje, ki ga tvorijo žive in nežive komponente. Stabilnost tega okolja določa možnost posamezne vrste, da bo živela še naprej (Kryštufek, 1999). Vloga posamezne vrste v ekosistemu je različna. Če izgubimo katero od ključnih, ki je pogoj za obstoj različnih drugih, utegne to sprožiti verižno izumiranje, ki bo še naprej siromašilo celoten ekosistem. Najbolj ogrožene so vrste z ozko ekološko valenco, torej vrste, ki ne prenesejo velikih sprememb v življenjskem okolju. Zaradi poprej naštetih razlogov postajajo redke ali so celo na robu izumrtja, že najmanjši poseg v njihovo naravno okolje pa ima lahko drastične posledice. Za ohranjanje biotske raznovrstnosti je ključnega pomena razmerje med raznovrstnostjo ekosistema (števila vrst, ki ga gradijo) in njegovo notranjo stabilnostjo.

Ekosistemi so že sami po sebi izjemno kompleksne skupnosti z nešteti interakcijami, poleg tega so tudi odprti sistemi, na katere vpliva širok spekter zunanjih dejavnikov. Zato je njihovo raziskovanje skrajno težavno, predvidljivost nadaljnjega razvoja pa navadno zelo majhna (Hlad, 2001).

Vzdrževanje in ohranjanje biodiverzitete je v umetno ustvarjenih jezerskih ekosistemih, ki so podvrženi sukcesijskemu procesu, mogoče le s posegi v njih. Za doseganje tega cilja je potrebno upoštevati nekaj osnovnih načel. Zunanje grožnje moramo zmanjšati, zunanje ugodne dejavnike pa okrepiti. Posegi naj bodo čim manj občutni, celotno upravljanje pa kar se da fleksibilno. Pod upravljanjem z ekosistemom navadno pojmuje vzdrževanje ali vnovično vzpostavitev strukture in funkcije naravnih ali antropogenih ekosistemov, da bi jih dolgoročno ohranili in omogočili njihovo trajnostno rabo. Kdaj, kje in koliko naj posegamo? Odgovor bi bil morda lažji, če bi si vprašanje zastavili drugače: Bo biološka združba slabša, če jo bomo prepustili samo sebi in vanjo ne bomo posegali? Seveda lahko tudi pod boljšimi in slabšimi razmerami razumemo zelo različne kakovosti in količine. V dinamičnih sistemih je tudi težko govoriti o upravljanju, ki naj bi se ga čim manj občutilo. Predvidljivost populacijskih trendov je navadno zelo omejena, zato je vsakršno napovedovanje posledic, ki bodo izhajale iz posegov v okolje toliko bolj negotovo.

Preden poskušamo konkretno ohranjati "naravno stanje", si moramo odgovoriti na osnovna vprašanja: kaj želimo ohranjati in zakaj? In, ali je to ohranjanje vrst, habitatov ali genske pestrosti? Šele ko imamo odgovore na ta vprašanja lahko začnemo s konkretnimi plani.

Pri načrtovanju varstva naravne dediščine je potrebno uporabiti biotopski princip. Biotopski princip pomeni, da se varstvo narave ne nanaša samo na varstvo posameznih rastlinskih in živalskih vrst, ampak tudi na varstvo njihovih biotopov in na ohranjanje biotopskih raznovrstnosti. Treba je ugotoviti navzočnost, številčnost in kakovost sestavnih elementov biotopov. Ti elementi so različni tipi vegetacije in živalstvo. Ustreznost vzdrževanja biotopov naj se oceni na osnovi učinkov ukrepov na posamezne elemente biotopov in na življenjske razmere v biotopih, ki se jih ocenjuje posredno na osnovi živalstva. Le tako bomo namreč vedeli, če so naši posegi smiselni in učinkoviti, kar je bistvenega pomena za fleksibilno in prilagodljivo

upravljanje. Učinkovitost spremljanja napredka pa je neposredno določena z ustreznostjo izbire indikatorskih vrst.

Za ohranjanje ugodnega stanja vrstne pestrosti v enem habitatnem tipu ali ugodnega habitata ene vrste je treba določiti ciljno ugodno stanje. To stanje se določi na osnovi ekoloških in bioloških zahtev posamezne vrste oz. vrstne združbe, predvsem z namenom zagotavljanja preživetja vrste in njene nadaljne evolucije. Doseganje ugodnega stanja habitatnih tipov in habitatov vrst je možno s prepuščanjem območij naravnemu razvoju (naravni sukcesiji združb) ali s poseganjem na območja z rabo, ki vzdržuje visoko biotsko raznovrstnost (Hlad, 2001).

Naravovarstvene usmeritve na ribnikih v dolini Drage morajo imeti poudarek na ohranjanju vodnih površin oz. vodnega volumna jezerske kotanje, zmanjševanju evtrofnosti ter nadzoru makrofitske vegetacije kot ključnega elementa za vrstno pestrost in številčnost ornitofavne. Predvsem pa je kot prvo potrebno poskrbeti za omejitev oz. uskladitev ribogojске dejavnosti, saj ima bistven vpliv tako na evtrofne procese kot tudi na makrofitsko vegetacijo in posredno na ornitofavno. Kljub vsem negativnim učinkom pa ne moremo mimo dejstva, da ima ribogojstvo na tem prostoru dolgo tradicijo in je na nek način celo nujno za dolgoročno ohranitev teh naravnih vrednot in biotske raznolikosti ribnikov v Dragi. Kompromis je možen le z uvedbo prilagojenega, ohranjanju narave podrejenega gospodarjenja z vodnimi površinami ter pripravo načrta upravljanja, ki bi natančno določal količino in vrstno sestavo vnesenih rib, enako tudi režim polnjenja in praznjenja ribnikov ter višino vodnega stolpca. Potrebno je natančno definirati količino in vrstni sestav rib, ki jih je možno vlagati v ribnike, ne da bi s tem osiromašili pogoje za druge živalske in rastlinske vrste. Med ribjimi vrstami, ki so zastopane v draških ribnikih so tudi nekatere iz rdečega seznama zavarovanih ribjih vrst: linj, pezdirek in ščuka. S pravilnim gospodarjenjem in strokovnim delom, bi lahko alohtone vrste izločili in te vodne površine namenili ohranjanju genetskega fonda ogroženih ribjih vrst. Pri vlaganju rib v ribnike je treba paziti, da ne pride do vnosa nezaželjenih oz. alohtonih vrst rib, zlasti sončnega ostriža (*Lepomis gibbosus*) in ameriškega somiča (*Ictalurus nebulosus*), ki se oba hitro množita in s plenjenjem bistveno posežeta v populacije drugih vrst rib, zlasti mladice. V preteklih letih so v skoraj vse ribnike skupaj s krapi zanesli ameriškega somiča, ki se je potem masovno razmnožil. Zaradi



ostrih bodic, ki jih ima za glavo, je bil otežen izlov rib, marsikateri ribič oz. lovec se je zbodel ob njih, večje ribe v izlovnem koritu pa so se mnogokrat ranile.

Število plenilskih rib v ribniku mora biti primerno veliko in nadzorovano. Nekoliko drugače pa je z neavtohtonim belim amurjem (*Ctenopharingodon idella*), s katerim bi bilo mogoče tudi v prihodnje nadzorovati razraščanje makrofitske vegetacije, še posebej v situaciji, ko finančna sredstva za vzdrževanje niso zagotovljena, ročno fizično odstranjevanje (košenje) pa predstavlja težko in zamudno delo. Vendar pa je treba bele amurje vlagati zelo premišljeno in upoštevati izkušnje prejšnjih let ter redno spremljati stanje makrofitske vegetacije. Beli amurji kot rastlinojedi eksoti v vodnem okolju brez plenilcev lahko močno ogrozijo avtohtono rastlinstvo ter po zaslugi selektivnosti pri prehranjevanju določen tip vodnega rastlinja povsem uničijo. Je pa nadzorovanje številčnosti belega amurja v ribnikih dokaj enostavno, saj se v slovenskih vodah beli amur naravno ne razmnožuje.

Glede na to, da trenutno izvajanje ribogojске dejavnosti v Velikem ribniku zelo negativno vpliva na kvaliteto jezerskega ekosistema, pospešuje zamuljevanje in posredno zmanjšuje biodiverzitetu na ribnikih, bi bilo treba ribogojsko dejavnost zmanjšati do take mere, da bi bila prva prioriteta vzdrževanje in ohranjanje biodiverzitet oz. biotopov, ki le-to omogočajo. Povsem bi opustili dodatno hranjenje rib. Ob manjši gostoti rib v ribniku bi bila ob ustreznem načinu gospodarjenja bistveno zmanjšana tudi tveganja za razvoj bolezni.

Režim spuščanja vode in premrznitev suhih ribnikov preko zime ima pomemben vpliv na evtrofni in sukcesijski proces, poleg tega pa tudi upočasnjuje zamuljevanje. Z jesenskimi velikimi vodami se izpira in odplavlja usedli mulj, še posebej z erozijsko povzročenim nastajanjem in poglobljanjem struge potoka, ki teče po zamuljenem dnu. Ob tem prihaja do transporta mulja dolvodno, ki lahko z zasutjem močno zmanjša vodni volumen naslednjega ribnika. S tega vidika je gotovo najbolj občutljiv Prvi ribnik, saj preko Velikega ribnika vanj doteka celoten potok Draščica, ki preko zime odnese znatne količine sedimenta. V kolikor je ob izpraznjenem Velikem ribniku izpraznjen tudi Prvi ribnik, se bo transport sedimenta iz Velikega ribnika nadaljeval po ustvarjeni strugi tudi skozi Prvi ribnik in naprej po potoku. Ne bo pa prišlo do odlaganja mulja kot bi se to zgodilo v primeru, da bi bil Prvi ribnik napolnjen z vodo. V primeru presušitve Velikega ribnika, je torej treba pustiti izpraznjen tudi Prvi ribnik.



Slika 54: Veliki ribnik po izlovu rib



Slika 55: Struga potoka Draščice po dnu Velikega ribnika po premrznitvi



Slika 56: Izprano in presušeno dno Velikega ribnika po premrznitvi

S presuševanjem ribnikov preko zime se ob prisotnosti kisika pospeši mineralizacija organskih snovi, sediment se dobro prezrači, kar po napolnitvi z vodo privede do bolj čiste vode. Ob ponovni napolnitvi z vodo in ustreznih svetlobno – toplotnih razmerah je omogočena uspešna kalitev in rast primarnih producentov. Tovrsten učinek presuševanja preko zime pa ni pomemben le za izboljšanje estetskega stanja ribnika, ampak tudi za življenje ribjih mladice po naselitvi, ki imajo tako na voljo več hrane, bistveno manjše so tudi možnosti za razvoj ribjih bolezni.

Redni vzdrževalni posegi kot npr. košnja, skrb za dobro stanje nasipov, vzdrževanje zapornic in prelivov niso pomembni le za ohranjanje lepe krajinske podobe doline in biotske raznovrstnosti, ampak tudi za zagotavljanje poplavne varnosti. V letih po II. svetovni vojni je zaradi obilnih padavin popustil nasip Prvega ribnika, medtem ko je bil nasip Velikega ribnika močno poškodovan. Poplavni val je povzročil na Igu kar nekaj gmotne škode, zlasti na tovarni Silvaproduct. Danes bi bile posledice takega dogodka bistveno hujše, saj bi poplavni val zajel tudi območje Centra za usposabljanje, delo in varstvo (CUDV) Draga. Takrat se je istem mestu nahajala že precej dotrajana opekarna. Prizadeto bi bilo tudi še takrat neposeljeno območje današnjih stanovanjskih hiš Rastuka od mostu čez Draščico na Igu in njenim izlivom v Iščico. V zvezi s poplavno varnostjo Rastuke je močno zaskrbljujoče stanje struge potoka Draščica, ki ima zaradi zarasti in lokalnih zasutij močno zmanjšano pretočno sposobnost za primere visokih vod. Vendar se s tem problemom v tej diplomski nalogi nisem ukvarjal.

Občasno čiščenje z vegetacijo čezmerno zaraščenih predelov mora potekati pod strokovnim nadzorom, predvsem z mehanskimi posegi, pri čemer je treba upoštevati vplive takih posegov na življenje ornitofavne, še zlasti gnezdečih vrst. Zato mora tako odstranjevanje potekati le na manjših površinah, da se zagotovijo ustrezne gnezditvene razmere na drugih neprizadetih predelih trstičja.

Podoben primer je pri travnikih v okolici ribnikov. Tudi ti so umetni ekosistemi. Nastali so z izkrčenjem gozda. Da ne bi prišlo do njihovega zaraščanja, jih je treba vsako leto kositi, prav tako tudi vzdrževati gozdi rob. Na zahodni strani Velikega ribnika se pod cesto nahajajo nekdanje travniške površine, ki jih že prerašča grmovno raste in robidovje. Potrebno bo kar nekaj truda, da bo iz njih spet nastal travnik in bo ponovno omogočena vsakoletna košnja.

Vse dele naravnega spomenika je potrebno obravnavati celostno in enakovredno, nikakor ne smemo dopustiti, da bi se npr. posamezen del izločil iz območja naravnega spomenika ali pristati na razglasitev milejšega varstvenega režima na posameznem delu.

Analizirati bi bilo potrebno tudi učinke izvajanja športnega ribolova oz. pogostega zadrževanja ribičev na nasipu Rakovnika, predvsem z vidika usklajenosti s primarnimi, naravovarstvenimi cilji območja. Prav tako je vprašljivo občasno prirejanje piknikov in s tem povezano povzročanje hrupa pri Lovski koči ob Velikem ribniku.

Pri gospodarjenju z Rakovnikom je treba upoštevati njegovo veliko podvrženost evtrofnim procesom (majhna pretočnost) ter otežene možnosti za povrnitev biotske raznovrstnosti, saj je obseg makrofitske vegetacije močno zmanjšan. Prosta vodna površina namreč ne omogoča kritja živalstvu.

Poleg ustreznega načina gospodarjenja s samimi ribniki in varstvenih ukrepov na njih, je za dosego zelenih rezultatov potrebno doseči tudi zmanjšanje obremenjevanja z nutrienti na prispevnem območju. Hkrati pa je potrebno s skrbno rabo tal preprečiti erozijske izgube, ki bi imele za posledico pospešeno polnjenje jezerske kotanje in zmanjševanje vodnega volumna. Preprosto rečeno, osredotočenost samo na jezerski ekosistem, izvzet iz svoje okolice, ponuja le malo upanja za dosego zelenih rezultatov.

Najbolj celovit in obenem tudi učinkovit način za ohranjanje ogroženih rastlinskih in živalskih vrst zahteva dobro poznavanje ogroženih vrst ter njihovih življenjskih potreb, obenem pa tudi spremljanje procesov in dejavnosti, ki negativno vplivajo na ohranjanje biotske raznovrstnosti.

Prav tako je za doseg želenega stanja potrebno usklajeno sodelovanje vseh dejavnikov, od države prek lokalnih skupnosti do lastnikov zemljišč po eni strani ter znanstvenih, vzgojno-izobraževalnih ustanov, nevladnih organizacij in javnih občil po drugi.

Pristop k upravljanju z ribniki oz. naravnimi vrednotami v dolini Drage mora temeljiti na strokovnih odločitvah in dolgoročnem načrtovanju skozi delovanje različnih strok. Trajnostni razvoj zahteva takšno obliko sodelovanja, ki zajema vse družbeno-gospodarske sektorje. Problemi ohranjanja biotske raznovrstnosti so kompleksni, zato so obvladljivi le, če so vsi družbeni subjekti, ki jih zadevajo, zmožni učinkovitega sodelovanja, medsektorskega in medinstitucionalnega kot tudi vključevanja javnosti v nastajanje in izvajanje naravovarstvene ali okoljevarstvene politike. Praksa namreč kaže, da je v Sloveniji, kljub mnogim že izdelanim nacionalnim programom in strategijam, dejanska podpora njihovem uresničevanju šibka.

Cilj sistema varstva naravnih vrednot je ohranitev lastnosti, zaradi katerih je del narave postal naravna vrednota. Poleg tega se varuje naravne procese, ki te lastnosti vzpostavljajo in ohranjajo, cilj varstva pa je tudi vzpostavljanje razmer za obnovitev degradiranih naravnih vrednot oz. ustvarjanje možnosti za njihovo vnovično vzpostavitev (Zakon o ohranjanju narave – ZON-UPB2, UL RS št. 96/2004). Vendar pa zavarovanje območja v obliki naravnih vrednot ne pomeni le možnosti za ohranitev določenega območja, temveč tudi priložnost za njegovo vključitev v lokalni razvoj. Smiselnost take simbioze je razumljiva in sprejemljiva, če se upoštevajo temeljni cilji varovanja.

Ribniki v Dragi imajo poleg osnovne naravovarstvene funkcije tudi potencial za vzgojno-izobraževalne namene in znanstveno-raziskovalne dejavnosti. Poleg primerne infrastrukture za obisk in vodenje obiskovalcev je posebej pomembno, da so vzgojno-izobraževalni

programi skrbno pripravljani in strokovno preverjeni. Ponujajo pa tudi možnosti rekreacije in sprostitve v naravi (sprehajanje, doživljanje in opazovanje narave, kolesarjenje). Vendar pa je potrebno predhodno urediti in označiti poti, ki bodo usmerjale obiskovalce na zanje primerna mesta ter omejevale poškodbe vegetacije in vznemirjanje živali.

V okviru predloga ureditvenega načrta sem podal nekaj svojih predlogov za obnovitev nekdanjih ribnikov oz. za ureditev novih močvirskih in vodnih biotopov na območju med Rakovnikom in Igom. Vendar pa gospodarjenje z ribniki oz. obnovitveni posegi na njih nimajo prihodnosti v kolikor za njih še pred samo ureditvijo ne bodo zagotovljena sredstva ter določen upravljalec, ki bo pripravljal in uresničeval letni program dela in o njem tudi poročal ustreznim oblastem – npr. v obliki letnih poročil.

Če želimo, da bodo izvedeni posegi smiselni in učinkoviti, je treba vanje nujno vključiti sistem spremljanja stanja, ki mora potekati po standardiziranih in primerljivih metodah ter pokrivati sezonske razlike (npr. meritve v različnih letnih časih). Tako bi npr. spremljali populacije vodnih ptic, makrofite, zooplankton in kemizem vode.

Čeprav so bili ribniki z Odlokom (UL SRS št. 23/1986) razglašeni za naravno znamenitost, je poleg formalnega varstva za doseg zelenega stanja potreben tudi partnerski odnos med vsemi udeleženci na lokalni ravni in državo. Slednja bi morala z učinkovitejšim nadzorom preprečevati nezakonite posege in dejavnosti v zaščitenem območju, po drugi strani pa s sofinanciranjem spodbujati sonaravno gospodarjenje, urejanje in predstavitev doline Drage. Ribniki v dolini Dragi so zaradi bogate biotske pestrosti ter izrednih krajinskih vrednosti nedvomno nacionalnega naravovarstvenega pomena. Tu živi namreč mnogo vrst, ki so ogrožene v slovenskem in evropskem merilu ter za nameček uvrščene tudi v mednarodne naravovarstvene konvencije. V posameznih delih naravnega spomenika bo tako treba v prihodnjih letih uskladiti in izvajati skrbno načrtovane varstvene ukrepe, ki bodo zagotavljali ohranitev evropsko ogroženih rastlinskih in živalskih vrst ter habitatnih tipov. Na kakšen način pa bomo obveze, ki jih nalaga združena Evropa, prenesli iz papirja v življenje, pa je seveda vprašanje, ki mu le redki vidijo odgovor.

## 6 SKLEPI

### 1. Stanje

Ribniki so kot umetno nastala vodna telesa podvrženi naravnemu procesu sukcesije in zamuljevanju, iz leta v leto se zmanjšujejo vodne površine, vse pogosteje in v vse večjem obsegu prihaja do cvetenj alg oziroma evtrofnosti. Spreminjajo se oziroma izginjajo tudi habitati posameznih vrst, predvsem ogroženih ptic, zaradi katerih imajo ribniki v dolini Drage tudi največjo naravovarstveno vrednost.

### 2. Zakonski normativi

Odlok o razglasitvi območja ribnikov v dolini Drage za naravno znamenitost je pomanjkljiv in presplošen kot osnova za gospodarjenje. V odloku niso konkretno navedeni cilji gospodarjenja in izvajanja posameznih dejavnosti. Za posamezne dejavnosti niso opisane stopnje intenzivnosti in ustrezne omejitve. Odlok ne upošteva, da je ribnike mogoče zadrževati na želeni stopnji njihovega ontogenetskega razvoja le z rednimi ter primernimi načini omejevanja in odpravljanja čezmernega zaraščanja z makrofitsko vegetacijo. Prav tako v odloku niso predvideni viri financiranja.

### 3. Ukrepi

S primernim načinom gospodarjenja in rednim izvajanjem ustreznih ukrepov bi bilo mogoče bistveno zmanjšati evtrofnost kot tudi upočasniti napredovanje sukcesijskega procesa. Ob tem bi se izboljšale tudi razmere za življenjske združbe oziroma bi se zagotovila njihova trajnost. Potrebno bi bilo omejiti ribogojstvo in jo uskladiti z naravovarstvenimi cilji. Z načrtom upravljanja bi definirali količino in vrstno sestavo vnesenih rib, enako tudi režim polnjenja in praznjenja ribnikov ter vzdrževalna in druga potrebna dela. Zastavljene cilje pa bo možno doseči le s celostnim in partnerskim odnosom med vsemi udeleženci tako na lokalni kot tudi državni ravni.

## 7 ZAKLJUČKI

Ohranjanje vodnih površin in preprečevanje evtrofnosti so bile v primeru jezerskih ekosistemov vedno še posebej zahtevne naloge, njihov uspeh pa je bil odvisen predvsem od poznavanja njihovih specifičnih lastnosti ter sposobnosti aplikacije limnoloških, ekoloških in drugih znanj. Da lahko s primernimi ukrepi učinkovito posredujemo, je nujno prepoznati potencialne vire onesnaževanja oziroma sproščanja hranil, tako v jezero neposredno kot tudi znotraj njegovega prispevnega območja. Ključnega pomena je poznavanje kroženja snovi v jezeru v odvisnosti od abiotskih in biotskih dejavnikov ter razumevanje sukcesijskega procesa kateremu so jezera podvržena. Ob vsem tem so najbolj pomembni edinstveni habitatni tipi s prisotnimi življenjskimi združbami, ki v takih okoljih pogosto izstopajo po veliki vrstni pestrosti. Primer takega okolja so tudi ribniki v dolini Drage, kjer še vedno živijo evropsko pomembne rastlinske in živalske vrste, ki pa žal že tudi izginjajo.

Zavedanje o naravnem bogastvu in njegovem pomenu za sedanjost in prihodnost ter splošna odločenost za njegovo ohranitev sta nujna pogoja za uresničevanje naravovarstvenih namenov in ciljev. Šele v tem primeru lahko govorimo o trajnostnem in sonaravnem razvoju. Izjemna naravna dediščina, ki jo predstavljajo najrazličnejša mokrišča s številnimi ogroženimi živalskimi in rastlinskimi vrstami, pomeni pravo bogastvo, ki se ga največkrat le komaj zavedamo. Tak primer so nedvomno tudi ribniki v Dolini Drage pri Igu. Zato bi bilo treba tudi opozarjati, da je Slovenija majhna in da ima malo primernih vodnih površin, kjer bi se lahko srečevali s tako različnimi, pestrimi in dragocenimi rastlinskimi in živalskimi združbami. Nenazadnje leži območje ribnikov dokaj blizu Ljubljane, zato bi morale biti biocenoze v njeni neposredni bližini za mesto neprecenljiva vrednota.

V pričujoči diplomski nalogi sem predstavil le nekaj favnističnih in florističnih posebnosti doline Drage, ki kljub veliki vplivnosti, spreminjajoči se pokrajini in rastlinstvu ter tudi odvisnosti od človeka, skriva še kar nekaj drugih presenečenj. Teh je vsekakor dovolj, da moramo napeti skupne moči in zagotoviti ohranjanje pestrosti, značilne sestave vrst, vegetacijske mozaičnosti, življenje redkih in ogroženih vrst, ter nenazadnje poskrbeti za njihovo dostojno predstavitev javnosti in zagotoviti njihovo prihodnost.

## VIRI

Barja in varstvo narave: strokovni posvet. Trenta 2003: 27 str.

Beltram, G. 2000. Mokrišča: prezirano bogastvo narave. Proteus 62,5: 208-216.

Beltram, G. 1999. Ramsarska konvencija in slovenska mokrišča, Ljubljana, Nacionalni odbor Republike Slovenije za Ramsarsko konvencijo pri Ministrstvu za okolje in prostor: 62 str.

Božič, I. 2006. Ribniki v dolini Drage pri Igu na Ljubljanskem barju. Proteus 69,3:109-118.

Burley, F. 2004. Encyclopedia of forest science, Oxford, San Diego, Elsevier: 2061 str.

Cronk, J.K., Fennessy, M. Siobhan. 2001. Wetland plants: biology and ecology, Boca Raton etc., Lewis Publishers: 462 str.

Červenka, M., Ferákova, V. et al. 1988. Rastlinski svet Evrope, Ljubljana, Mladinska knjiga Ljubljana.

Franciscejski kataster za Kranjsko AS 176. Ljubljanska kresija, k.o. Dobravica. 1825. L032A03 in L032A06. Arhiv RS.

[http://sigov3.sigov.si/cgi-bin/htqlcgi/arhiv/enos\\_isk\\_kat.htm](http://sigov3.sigov.si/cgi-bin/htqlcgi/arhiv/enos_isk_kat.htm) (14.11.2007)

Geister, I. 1995. Ljubljansko barje. Ljubljana, Tehniška založba Slovenije: 199 str.

Hauer, R., Lamberti, G. 1996. Methods in Stream Ecology, San Diego, London, Boston, New York, Sydney, Tokyo, Toronto, Academic Press: 674str.

Hilt, S. et al. 2006. Restoration of submerged vegetation in shallow eutrophic lakes – A guideline and state of the art in Germany; [www.elsevier.de/limno](http://www.elsevier.de/limno)



Hlad, B., Skoberne, P. 2001. Pregled stanja biotske raznovrstnosti in krajinske pestrosti v Sloveniji. Ljubljana, Ministrstvo za okolje in proctor, Agencija Republike Slovenije za okolje: 224 str.

Jeffris, M., Mills D. 1990. Freshwater ecology: principles and applications, London and New York, Belhaven Press London: 285 str.

Kryštufek, B. 1999. Osnove varstvene biologije. Ljubljana, Tehniška založba Slovenije: 155 str.

Kuzma, V. 2003. Analiza stanja površinskih voda v urbanem okolju. Diplomski naloga, Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Oddelek za vodarstvo in komunalno inženirstvo: 106 f.

Mikoš, M., Kranjc, A., Matičič, B., Müller, J., Rakovec, J., Roš, M., Brilly, M. 2003. Hidrološko izrazje = Terminology in hidrology. Acta hydrotechnika 20, 32.  
<http://ksg.fgg.uni-lj.si/ksh/acta/> (14.4.2004)

Moss, B. 1998. Ecology of fresh waters, 3rd ed. , University of Liverpool, School of Biological Sciences, Blackwell Science Ltd., 557 str.

Perrow, M., 2003. Handbook of ecological restoration, Vol. 1: Principles of restoration: 444 str. & Vol. 2: Restoration in practice: 599 str. Cambridge, Cambridge University Press.

Poročilo o kakovosti jezer za leto 2005, MOP, Agencija Republike Slovenije za okolje,  
[http://www.arso.gov.si/podrocja/vode/porocila\\_in\\_publicacije/jezera\\_2005.pdf](http://www.arso.gov.si/podrocja/vode/porocila_in_publicacije/jezera_2005.pdf) (23.4.2007)

Reambulančni kataster za Kranjsko AS 181. Ljubljanska kresija, k.o. Dobravica. 1862. L032C03 in L032C06. Arhiv RS.  
[http://sigov3.sigov.si/cgi-bin/htqlcgi/arhiv/enos\\_isk\\_kat.htm](http://sigov3.sigov.si/cgi-bin/htqlcgi/arhiv/enos_isk_kat.htm) (14.11.2007)

Rejic, M. 1988. Sladkovodni ekosistemi in varstvo voda. Gozdna hidrologija. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, VTOZD za gozdarstvo: 225 str.

Ross, M. R. 1997. Fisheries Conservation and Management. Amherst, University of Massachusetts, Department of Forestry and Wildlife Management: 374 str.

Sagehashi, M., Sakoda, A., Suzuki, M. 2000. A predictive model of long-term stability after biomanipulation of shallow lakes. Tokio, Elsevier Science Ltd.

[http://www.sciencedirect.com/science?\\_ob=ArticleURL&\\_udi=B6V73-411821K-F& user=10& coverDate=11%2F01%2F2000& alid=669875549& rdoc=1& fmt=summary & orig=search& cdi=5831& sort=d& docanchor=&view=c& ct=1& acct=C000050221& version=1& urlVersion=0& userid=10&md5=ecbd6155a63e2509a377b2b57dcffe61](http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6V73-411821K-F& user=10& coverDate=11%2F01%2F2000& alid=669875549& rdoc=1& fmt=summary & orig=search& cdi=5831& sort=d& docanchor=&view=c& ct=1& acct=C000050221& version=1& urlVersion=0& userid=10&md5=ecbd6155a63e2509a377b2b57dcffe61)  
(22.12.2007)

Sedmak, B. 2006. Toksične cianobakterije: prebivalstvo proti vodi – medsebojna pretnja = Toxic cyanobacteria: Population against water – a mutual threat. Ujma 20: 137-143.

Skalin, B. 1993. Ribogojstvo. Ljubljana, ČZP Kmečki glas: 191 str.

Solomon, E. P., Berg, L., Martin, D., Ville, C. 1996. Biology, 4th ed., Fort Worth, Saunders College Publishing: 1228 str.

Sovinc, A. 1990. Ptice doline Drage pri Igu v letih 1978-88 in naravovarstvena vprašanja. Varstvo narave: revija za teorijo in prakso varstva naravne dediščine. 16, 101-118.

Sovinc, A., Božič, I. 1993. Poročilo o ornitoloških raziskavah. Raziskovalna naloga: Najpomembnejši naravni dejavniki, ki vplivajo na ekološko ravnovesje biocenoze v dolini ribnikov v Dragi pri Igu.

Straškraba, M., Jørgensen, S.E., Tundisi, J.G. et. al. 1996. Guidelines of Lake management, International Lake Environment Committee (ILEC), Shiga, Japan.

Tarman, K. 1992. Osnove ekologije in ekologija živali, 1. izd. Ljubljana, Državna založba Slovenije: 547 str.

Toman, M.J. 1996. Alge. V: P. Raspor (ur.). Biotehnologija. Osnovna znanja. Ljubljana, Bia: 129-147.

Tome, D. 2006. Ekologija - organizmi v prostoru in času, Ljubljana, Tehniška založba Slovenije, d.d.: 344 str.

Urbanič, G., Toman, M. J. 2003. Varstvo celinskih voda. Ljubljana, Študentska založba: 94 str.

Verbič, J., Sušin, J. et al. 2006. Svetovalni kodeks dobre kmetijske prakse (osnutek) Varovanje voda, tal, zraka in ohranjanje biotske raznovrstnosti, Ljubljana, Kmetijski inštitut Slovenije: 200 str.  
[http://www.kis.si/datoteke/File/kis/SLO/Publikacije/drugo/Kodeks\\_DKP.pdf](http://www.kis.si/datoteke/File/kis/SLO/Publikacije/drugo/Kodeks_DKP.pdf) (23.4.2007).

Warren, A., French, J.R., 2001 Habitat conservation: managing the physical environment, Chichester, John Wiley & Sons Ltd., str. 123-143.

Westlake, D.F., Kvet, J. 1998. The production ecology of wetlands, Cambridge, Cambridge University Press.

Wetzel, R.G., 2001. Limnology: lake and river ecosystems, 3rd ed., San Diego etc., Academic Press: 1006 str.

### **Zakonodaja na internetu:**

Odlok o spremembah in dopolnitvah odloka o razglasitvi območja ribnikov Drage pri Igu za naravno znamenitost. UL RS št. 22/2000: 3715  
<http://www.uradni-list.si/1/ulonline.jsp?urlid=200022&dhid=10944> (27.12.2007)

Odlok o spremembi odloka o razglasitvi območja ribnikov v dolini Drage pri Igu za naravno znamenitost. UL RS št. 61/2002: 6447

<http://www.uradni-list.si/1/ulonline.jsp?urlid=200261&dhid=42976> (27.12.2007)

Pravilnik o določitvi in varstvu naravnih vrednot. UL RS št. 111/2004: 13173

<http://www.uradni-list.si/1/ulonline.jsp?urlid=2004111&dhid=72100> (27.12.2007)

Pravilnik o uvrstitvi ogroženih rastlinskih in živalskih vrst v rdeči seznam. UL RS št. 82/2002: 8893

<http://www.uradni-list.si/1/ulonline.jsp?urlid=200282&dhid=44228> (27.12.2007)

Preklic odloka o spremembah in dopolnitvah odloka o razglasitvi območja ribnikov Drage pri Igu za naravno znamenitost. UL RS št. 80/2002: 8742

<http://www.uradni-list.si/1/ulonline.jsp?urlid=200280&dhid=44120> (27.12.2007)

Razveljavitev odloka o spremembah in dopolnitvah odloka o razglasitvi območja ribnikov Draga pri Igu za naravno znamenitost. UL RS št. 55/2002: 5830

<http://www.uradni-list.si/1/ulonline.jsp?urlid=200255&dhid=42713> (27.12.2007)

Sklep, da se izvrševanje odloka o spremembah in dopolnitvah odloka o razglasitvi območja ribnikov Drage pri Igu za naravno znamenitost do končne odločitve ustavnega sodišča zadrži. UL RS št. 37/2002: 3705

<http://www.uradni-list.si/1/ulonline.jsp?urlid=200237&dhid=41715> (27.12.2007)

Sklep o ustavitvi postopka za oceno ustavnosti in zakonitosti odloka o spremembah in dopolnitvah odloka o razglasitvi območja ribnikov Drage pri Igu za naravno znamenitost. UL RS št. 102/2002: 11565

<http://www.uradni-list.si/1/ulonline.jsp?urlid=2002102&dhid=56095> (27.12.2007)

Uredba o kemijskem stanju površinskih voda. UL RS št. 11/2002: 818

<http://www.uradni-list.si/1/ulonline.jsp?urlid=200211&dhid=40287> (27.12.2007)

Uredba o posebnih varstvenih območjih (območjih Natura 2000). UL RS št. 49/2004: 6409  
<http://www.uradni-list.si/1/ulonline.jsp?urlid=200449&dhid=69540> (27.12.2007)

Uredba o zvrsteh naravnih vrednot. UL RS št. 52/2002: 5298  
<http://www.uradni-list.si/1/ulonline.jsp?urlid=200252&dhid=42481> (27.12.2007)

Zakon o ohranjanju narave (ZON-UPB2) (uradno prečiščeno besedilo). UL RS št. 96/2004:  
11541  
<http://www.uradni-list.si/1/ulonline.jsp?urlid=200496&dhid=71656> (27.12.2007)

Zakon o sladkovodnem ribištvu (ZSRib). UL RS št. 61/2006: 6613  
<http://www.uradni-list.si/1/ulonline.jsp?urlid=200661&dhid=83068> (27.12.2007)

#### **Drugi viri na internetu:**

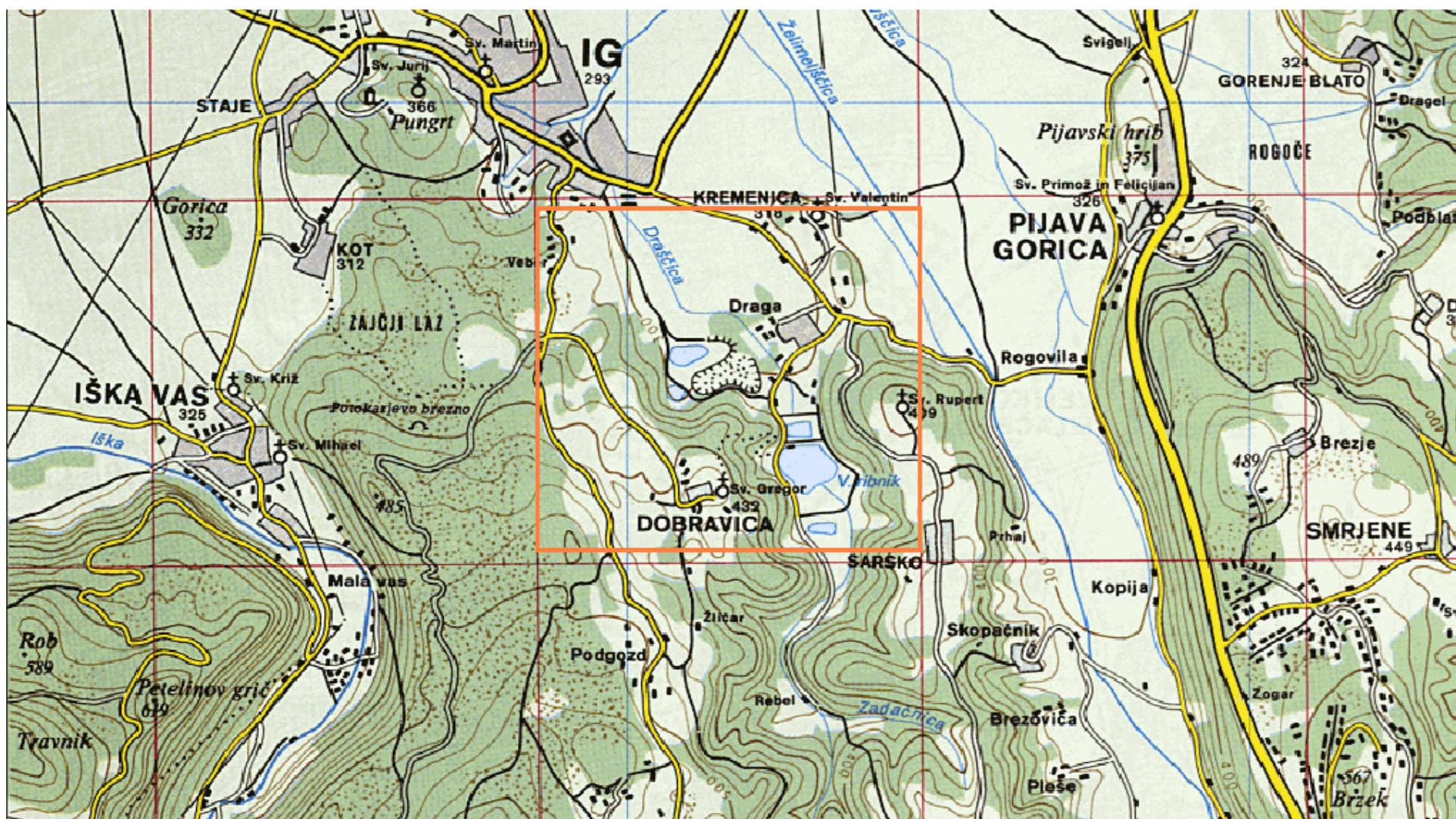
Ameriška agencija za zaščito okolja (EPA)  
<http://www.epa.gov/> (04.01.2008)

Eutrophication of Waters (OECD), Monitoring, Assessment and Control; Research of the  
Organization for Economic Co-Operation and Development (OECD)  
<http://lakes.chebucto.org/TPMODELS/OECD/oecd.html> (26.11.2007)

Interaktivni naravovarstveni atlas, Ministrstvo za okolje in prostor, Agencija RS za okolje  
<http://www.kremen.arso.gov.si/NVatlas> (23.11.2007)

## **KAZALO PRILOG**

- PRILOGA A: Lega ribnikov v dolini Drage pri Igu
- PRILOGA B: Rezultati opravljenih meritev
- PRILOGA C: Podatki o temperaturah in padavinah za Želimlje
- PRILOGA D: Dolina Drage in ribniki v Franciscejskem in Reambulančnem katastru za Kranjsko
- PRILOGA E: Ortofoto posnetek ribnikov v dolini Drage pri Igu
- PRILOGA F: Ortofoto posnetki ribnikov v Dragi
- PRILOGA G: Ortofoto posnetki v infrardečem spektru ribnikov v Dragi
- PRILOGA H: Karta ureditve naravnega spomenika v poučne in rekreacijske namene
- PRILOGA I: Predlog obnovitve nekdanjih ribnikov in ureditev novih biotopov



### LEGA RIBNIKOV V DOLINI DRAGE PRI IGU

Merilo: vsak kvadrat predstavlja območje veliko 2 x 2 km

Vir: Atlas Slovenije, Založba Mladinska knjiga d.d., Geodetski zavod Slovenije 1996



## Preglednica rezultatov opravljenih meritev na Velikem ribniku

Opis lokacije	Merilno mesto	Datum	ura	globina [m]	T [°C]	pH	DO [%]	DO [mg/l]	SPC [ $\mu$ S/cm]	TDS [g/l]	ORP [mV]	NH <sub>4</sub> [mgNH <sub>4</sub> /l]	NO <sub>3</sub> [mgNO <sub>3</sub> /l]	
Zapornica	V1	19.07.2007	9:40	0,5	25,1	7,8	70,8	5,8	413	0,26	516	0,16	0,26	
			9:44	1	24,9	7,8	66	5,4	413	0,26	521	0,16	0,25	
			9:45	2	23,5	7,7	49,7	4,1	416	0,27	527	0,16	0,23	
			9:46	3	21,0	7,5	10	0,8	431	0,28	193	0,41	0,21	
			9:48	4	20,1	7,4	3,6	0,3	442	0,28	105	0,5	0,21	
	nad sedimentom	V1	30.9.2007	16:05	0,05	16,3	8,2	75,7	7,3	389	0,25	285	0,09	1,71
				16:06	0,5	16,1	8,2	74	7,3	388	0,25	287	0,09	1,8
				16:08	1	14,2	8,2	77,2	7,8	384	0,25	290	0,09	1,93
				16:10	2	13,8	8,3	72	6,2	398	0,25	291	0,09	1,35
				16:12	3	12,9	8,3	45,2	4,7	409	0,27	280	0,06	1,84
16:14	4	12,6	7,9	53,8	5,6	432	0,28	121	0,16	1,73				
Preliv	V2	19.07.2007	10:05		24,7	7,7	64,2	5,3	419	0,27	429	0,17	0,21	
	V2	30.09.2007	15:18		16,9	8,2	72,7	6,9	390	0,25	287	0,06	1,01	
Mesto hranjenja	V3	30.09.2007	13:30	0,05	17,8	8,3	69,2	6,6	379	0,24	313	0,07	1,17	
			13:32	0,5	14,1	8,7	67,8	6,8	387	0,25	300	0,04	1,18	
			13:34	1	14,1	8,4	71,1	7,3	387	0,25	312	0,06	1,23	
			13:37	2	13,5	8,2	52,1	5,3	395	0,28	322	0,07	1,43	
			13:39	2,1	13,5	8,1	43,6	4,6	394	0,25	327	0,08	1,41	
Kot Dobravica (rogoz)	V4	30.09.2007	14:12	0,05	16,9	8,4	65,9	6,4	386	0,25	314	0,06	0,94	
			14:13	0,5	15,0	8,2	49,1	4,9	385	0,25	309	0,05	0,85	
			14:15	1	14,3	8,0	38,5	3,9	384	0,25	303	0,05	0,83	
			14:16	1,1	14,2	7,9	36,5	3,7	386	0,25	279	0,05	0,87	
Prekop - sredina	V5	30.09.2007	14:50	0,05	14,4	8,2	81,1	8,6	465	0,26	228	0,12	1,6	
			14:52	0,5	12,4	8,2	79,4	8,3	439	0,29	239	0,12	1,7	
			14:54	1	12,3	7,7	41,6	8,3	449	0,28	559	0,14	2,25	
Sarska stran sredina 20m	V6	30.09.2007	15:09	0,05	17,1	8,5	72,8	6,9	390	0,25	242	0,06	1,02	
			15:10	0,5	16,7	8,5	68,8	6,7	388	0,25	246	0,05	1,01	
			15:11	1	14,5	8,3	65,7	6,5	387	0,25	260	0,08	1,02	
			15:13	2	13,8	8,0	38,6	3,9	436	0,26	268	0,09	1,04	
Sredina - hrast	V7	30.09.2007	15:40	0,05	16,9	8,1	73,4	7,1	384	0,25	291	0,11	1,17	
			15:44	0,5	15,1	8,2	73	7,3	372	0,25	289	0,09	1,2	
			15:45	1	14,1	8,2	63	6,4	386	0,25	289	0,09	1,46	
			15:47	2	13,6	8,1	50,1	5,2	432	0,26	294	0,1	1,46	
			15:49	3	12,8	8,1	49,7	5,3	420	0,27	290	0,08	1,63	



Preglednica rezultatov opravljenih meritev na Srednjem ribniku

Opis lokacije	Merilno mesto	Datum	ura	globina [m]	T [°C]	pH	DO [%]	DO [mg/l]	SPC [ $\mu$ S/cm]	TDS [g/l]	ORP [mV]	NO <sub>3</sub> [mgNO <sub>3</sub> /l]	NH <sub>4</sub> [mgNH <sub>4</sub> /l]
Litoral - pol.	S1	19.07.2007	10:13	0,5	23,8	7,4	28	2,1	337	0,2146	399	0,32	0,03
	S1	10.11.2007	11:25	0,1	5,9	7,5	63	7,1	464	0,2975	311	2,39	
			11:28	0,5	5,2	7,4	45	5,7	462	0,2961	320	2,26	
Sredina (naspr. zap.)	S2	03.10.2007	13:50	0,05	16,9	7,7	90	8,6	335	0,2134		0,46	
			13:53	0,5	14,5	7,5	63	6,3	338	0,2175		0,39	
			13:55	1	13,5	7,3	52	5,2	354	0,2268		0,41	
			13:57	1,6	13,3	7,1	38	3,8	386	0,2469		0,4	
	S2	10.11.2007	10:04	0,1	6,7	7,4	61	7,6	446	0,2857	519	0,71	
			10:06	0,5	5,9	7,4	58	7,2	447	0,2867	517	0,73	
			10:08	1	5,6	7,4	57	7,0	447	0,2856	517	0,78	
			10:10	1,6	5,5	7,4	55	6,8	448	0,2866	512	0,8	
Zapornica	S3	10.11.2007	10:15	0,1	5,9	7,4	59	7,3	450	0,2884	328	1,04	
			10:17	0,5	5,6	7,5	49	6,1	450	0,2885	344	1,03	
			10:20	1	5,6	7,4	51	6,4	450	0,2884	352	1,01	
			10:22	1,7	5,5	7,4	46	5,8	451	0,2885	358	1,06	
Sredina	S4	03.10.2007	14:55	0,05	18,0	7,5	68	6,3	355	0,2226		0,55	
			14:58	0,5	14,2	7,4	45	4,4	376	0,2412		0,39	
			15:00	1	13,5	7,1	26	2,6	367	0,2351		0,42	
			15:02	1,5	13,6	7,1	19	1,9	369	0,2371		0,46	
	S4	10.11.2007	10:30	0,1	5,6	7,5	57	7,2	447	0,2868	378	1,2	
			10:32	0,5	5,5	7,5	55	6,9	448	0,2865	383	1,21	
			10:34	1	5,3	7,5	54	6,7	448	0,2863	390	1,21	
			10:36	1,5	5,2	7,5	53	6,5	448	0,2867	385	1,23	
SV kot lokvanj	S5	03.10.2007	14:20	0,05	17,3	7,2	53	4,7	358	0,2287		0,27	
			14:23	0,5	15,0	7,1	32	3,2	357	0,2283		0,3	
			14:25	1	13,8	7,0	26	2,6	360	0,23		0,35	
			14:28	1,1	13,8	6,9	20	2,1	364	0,2329		0,39	
	S5	10.11.2007	10:40	0,1	5,5	7,4	46	5,7	443	0,2831	282	1,38	
			10:42	0,5	5,4	7,5	41	5,2	442	0,2833	304	1,39	
			10:44	1	5,4	7,4	39	5,0	442	0,283	319	1,37	
			10:47	1,1	5,3	7,4	39	5,0	441	0,2827	326	1,37	
JV kot biček in rogoz	S6	03.10.2007	14:35	0,05	16,2	7,2	41	4,0	381	0,2428		0,44	
			14:38	0,4	14,0	7,1	29	2,8	373	0,2382		0,43	
	S6	10.11.2007	10:55	0,1	5,2	7,4	47	5,9	440	0,2814	266	1,39	
			10:58	0,4	5,1	7,3	19	2,2	467	0,2995	167	1,3	
Litoral - sredina proti Zrezanemu	S7	03.10.2007	15:10	0,05	15,8	7,3	65	6,5	367	0,2351		0,48	
			15:13	0,8	14,0	6,8	18	1,7	532	0,3408		0,46	
	S7	10.11.2007	11:10	0,1	5,1	7,6	67	8,4	457	0,2924	294	1,41	
			11:13	0,8	4,7	7,4	42	5,2	471	0,3014	291	1,25	

## Preglednica rezultatov opravljenih meritev na Rezanem ribniku

Opis lokacije	Merilno mesto	Datum	ura	globina [m]	T [°C]	pH	DO [%]	DO [mg/l]	SPC [ $\mu$ S/cm]	TDS [g/l]	ORP [mV]	NO <sub>3</sub> [mgNO <sub>3</sub> /l]	NH <sub>4</sub> [mgNH <sub>4</sub> /l]
Litoral - poleti	Re1	19.07.2007	10:20	0,5	23,1	7,6	49	3,9	369	0,2366	428	0,22	0,08
	Re1	10.11.2007	12:28	0,1	6,7	7,8	71	8,7	466	0,2982	297	3,07	
			12:31	0,5	5,1	7,8	68	8,0	465	0,2976	317	2,59	
Sredina plitvine	Re2	10.11.2007	11:58	0,1	5,6	7,6	73	9,3	465	0,2978	356	2	
			12:00	0,5	5,2	7,5	66	8,3	473	0,303	355	1,92	
Zapornica proti sredini	Re3	10.11.2007	12:17	0,1	6,6	7,6	68	8,5	471	0,3008	282	2,84	
			12:19	0,5	5,7	7,7	66	8,5	474	0,3032	296	2,8	
			12:22	1	5,7	7,8	65	8,1	476	0,3044	312	3	
			12:24	1,3	5,5	7,7	59	7,3	482	0,3075	310	2,71	
Sredina	Re4	10.11.2007	12:10	0,1	6,0	7,7	74	9,0	478	0,3057	297	2,83	
			12:13	0,8	5,4	7,6	66	8,2	481	0,3081	254	2,72	
Kot Zadnj. bajer potok	Re5	10.11.2007	12:04	0,1	6,2	7,7	74	9,0	482	0,3086	359	2,93	
			12:07	0,4	5,4	7,7	45	5,4	484	0,3102	266	2,56	

## Preglednici rezultatov opravljenih meritev na Zadnjem ribniku in v potoku pri nekdanji kmetiji Grum

Opis lokacije	Merilno mesto	Datum	ura	globina [m]	T [°C]	pH	DO [%]	DO [mg/l]	SPC [ $\mu$ S/cm]	TDS [g/l]	ORP [mV]	NO <sub>3</sub> [mgNO <sub>3</sub> /l]
Sredina - jelše	Z1	10.11.2007	12:40	0,10	5,3	7,8	77	9,7	369	0,2372	343	3,23
			12:43	0,5	5,1	7,9	75	9,6	372	0,2378	347	3,28
Zapornica	Z2	10.11.2007	12:47	0,1	4,7	7,9	76	9,8	371	0,2375	357	3,66
			12:50	0,5	4,6	7,9	71	9,2	371	0,2375	360	3,73
			12:52	1	4,6	7,9	71	9,1	372	0,238	363	3,77
			12:55	1,2	4,6	7,9	66	8,5	373	0,2383	366	3,83
Litoral	Z3	19.07.2007	10:30	0,4	20,7	8,1	90	7,8	413	0,265	389	0,61
	Z3	10.11.2007	12:58	0,1	5,2	7,9	76	9,7	380	0,2479	375	3,93
			13:00	0,4	5,2	7,9	72	9,1	380	0,243	375	4,13
Potok - Grum	Gr	19.07.2007	10:40		16,0	8,4	107	10,1	515	0,3292	428	1,09
	Gr	12.11.2007	10:32		4,8	8,2	84	10,8	523	0,3	523	4,1

Preglednica rezultatov opravljenih meritev na Rakovniku in Špilgut

Merilno mesto	Datum	ura	globina [m]	T [°C]	pH	DO [%]	DO [mg/l]	SPC [ $\mu$ S/cm]	TDS [g/l]	ORP	NO <sub>3</sub> [mgNO <sub>3</sub> /l]	
R1	19.7.2007	11:10	0,5	26,8	8,3	125	9,6	423	0,2707	426	0,4	
R1	11.11.2007	10:00	0,1	6,9	7,9	86	10,2	486	0,3116	430	2,86	
		10:03	0,5	6,6	7,9	81	9,7	486	0,3112	431	3,12	
R2	11.11.2007	10:04	0,1	6,7	8,0	81	9,8	488	0,3125	428	3,81	
		10:06	0,5	6,7	8,0	77	9,6	487	0,3118	429	3,86	
		10:09	0,6	6,3	8,0	77	9,5	487	0,3121	432	3,85	
R3	11.11.2007	10:15	0,1	6,6	8,0	75	9,3	490	0,3141	435	4,33	
		10:18	0,5	6,4	8,0	75	9,2	489	0,3123	436	4,32	
		10:20	0,7	6,2	7,2	80	9,1	488	0,3139	436	4,53	
R4	11.11.2007	10:34	0,1	6,0	8,0	89	11,0	483	0,311	417	3,03	
		10:37	0,3	5,5	7,7	60	7,3	506	0,3225	417	3,14	
R5	11.11.2007	10:45	0,1	6,7	8,0	75	9,2	488	0,3121	413	4,83	
		10:48	0,5	6,3	8,0	71	8,8	487	0,3117	414	4,95	
		10:50	0,6	6,2	8,0	70	8,7	487	0,312	416	4,9	
R6	11.11.2007	11:02	0,1	6,6	8,0	68	8,4	486	0,311	419	4,99	
		11:03	0,5	6,4	8,1	69	8,5	486	0,3109	420	5,1	
R7	11.11.2007	11:10	0,1	7,2	8,1	70	8,5	489	0,3127	412	5,55	
		11:13	0,5	6,9	8,1	70	8,4	488	0,3122	415	5,51	
		11:15	0,8	6,6	8,1	68	8,3	487	0,3118	418	5,34	
R8	11.11.2007	11:20	0,1	7,1	8,1	73	8,9	487	0,3108	417	5,63	
		11:22	0,5	6,5	8,1	71	8,7	488	0,3119	418	5,72	
		11:25	1	6,4	8,1	74	9,2	486	0,3115	421	5,58	
		11:27	1,8	6,2	8,0	26	3,2	494	0,3166	298	4,64	
R9	11.11.2007	11:40	0,1	7,0	8,1	68	8,2	488	0,3131	306	6,26	
		11:42	0,5	6,9	8,1	65	7,9	487	0,3116	316	6,17	
		11:43	1	6,4	8,1	68	8,4	486	0,3111	322	6,02	
		11:46	2	6,3	8,1	62	7,7	487	0,3121	332	6,08	
R10	11.11.2007	11:50	0,1	6,9	8,1	72	8,6	489	0,3129	328	5,78	
		11:57	0,5	6,7	8,1	69	8,5	489	0,3126	332	5,97	
		11:59	1	6,6	8,1	68	8,4	488	0,3124	336	5,98	
		12:02	1,8	6,3	8,1	67	8,2	487	0,312	339	6	
Špilgut - zapornica	Š1	19.7.2007	11:00	1	24,4	7,8	60	4,9	504	0,3229	424	0,92
Izvir Špilgut	Š2	12.11.2007	11:35		10,3	8,0	73	8,2	718	0,4597	495	15,67

PRILOGA B4

**MERITVE NA RAKOVNIKU IN ŠPILGUTU - SECCHIJEV DISK  
(21. oktober 2007)**

Preglednica – Rakovnik:

Merilna točka	Secchi. globina [cm]
R1	75
R2	75
R3	70
R4	57
R5	75
R6	73
R7	66
R8	64
R9	62
R10	64

Špilgut:

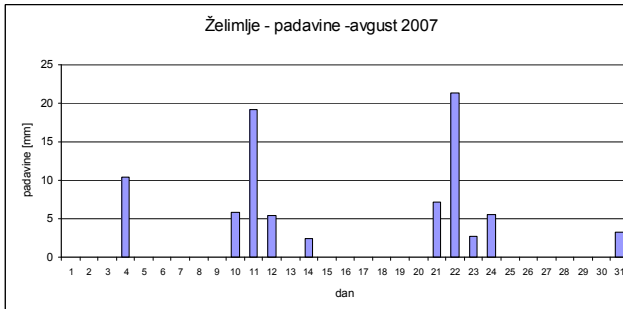
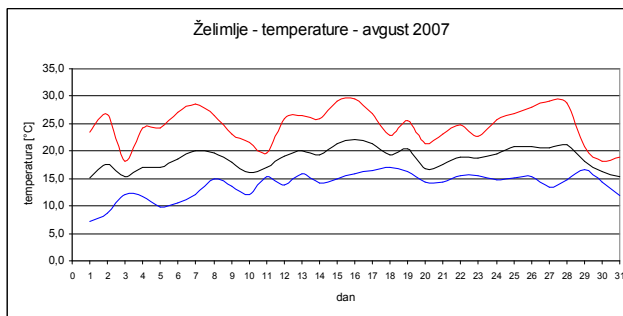
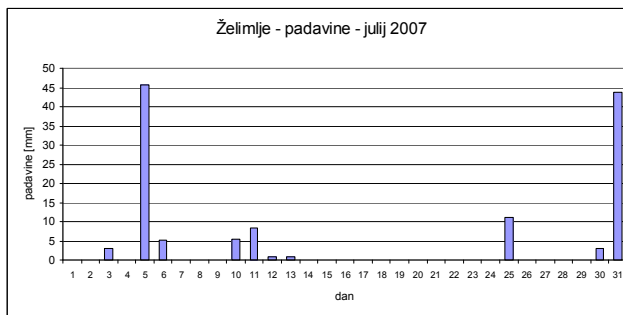
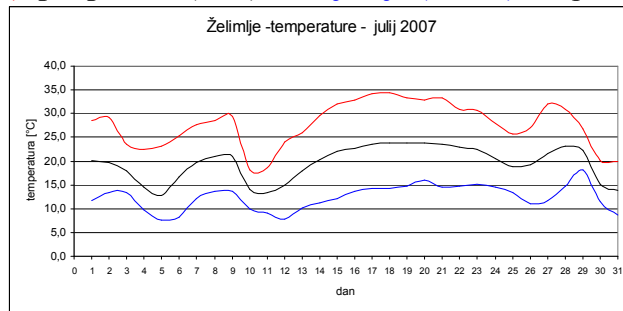
Merilna točka	Secchi. globina [cm]
Š1	44

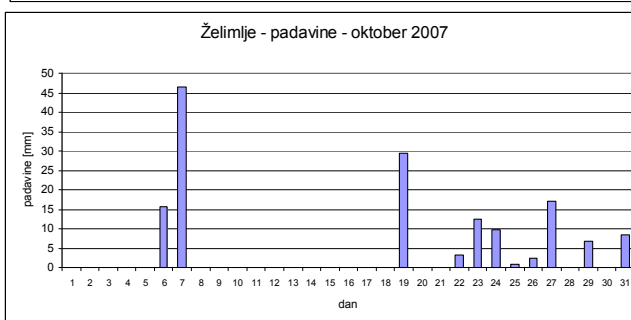
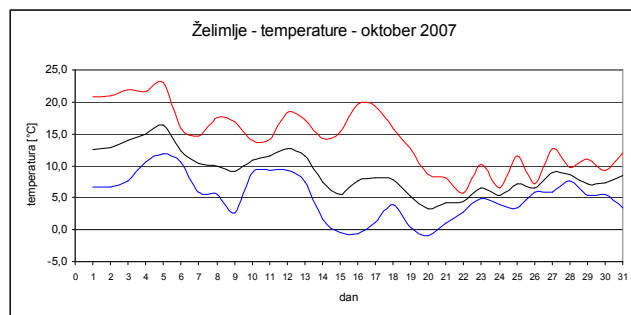
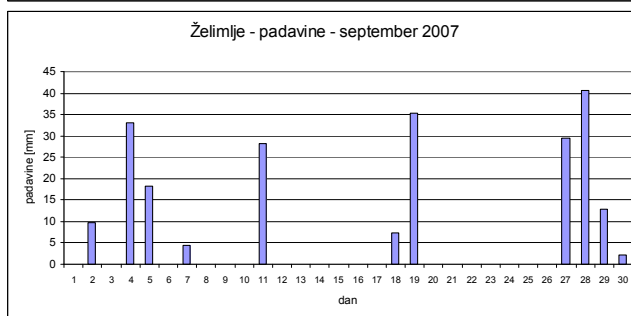
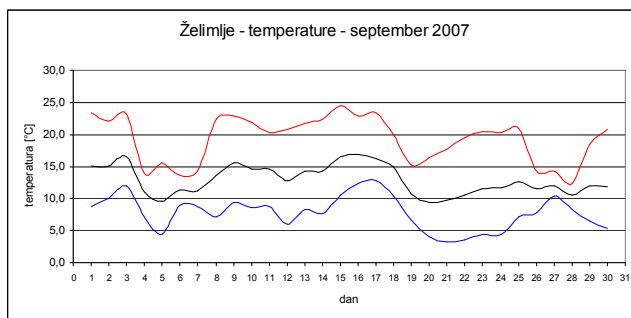
**PRILOGA C:**  
**Podatki o temperaturah in padavinah za Želimlje**  
**(obdobje izvajanja meritev na ribnikih)**

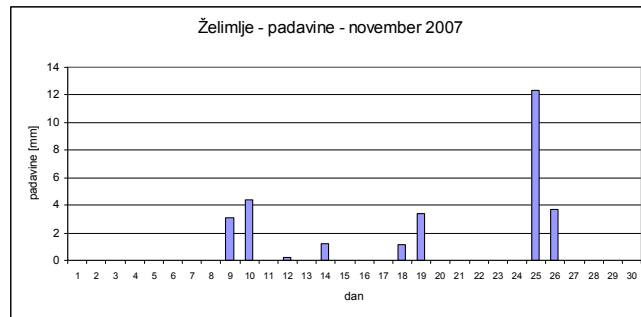
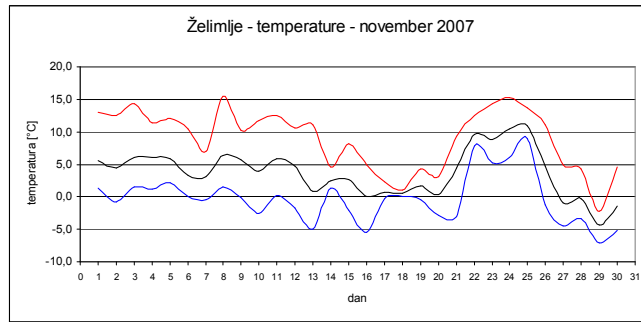
Vir: Agencija RS za okolje, Urad za meteorologijo

- \* padavine so izmerjene ob 7. uri in predstavljajo vsoto preteklih 24 ur
- \* vrednost 0 pri padavinah pomeni < 0,1 mm padavin (rosenje, iz megle...)

**Najvišja (rdeča črta), povprečna (črna) in najnižja (modra) temperatura zraka**



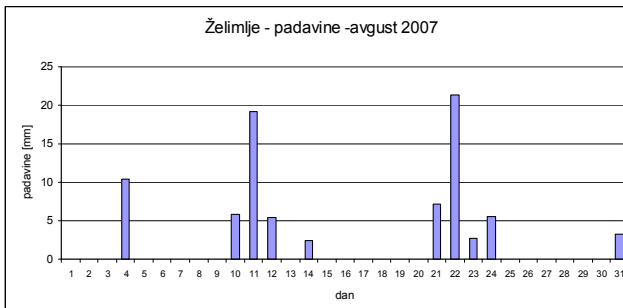
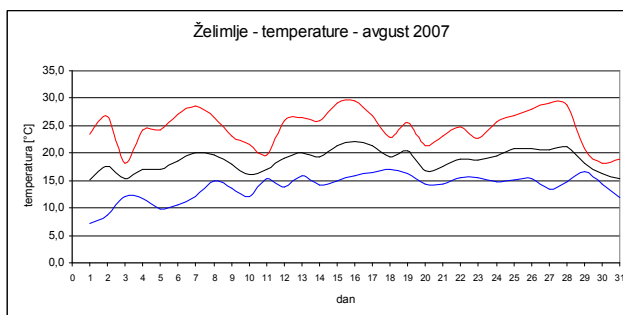
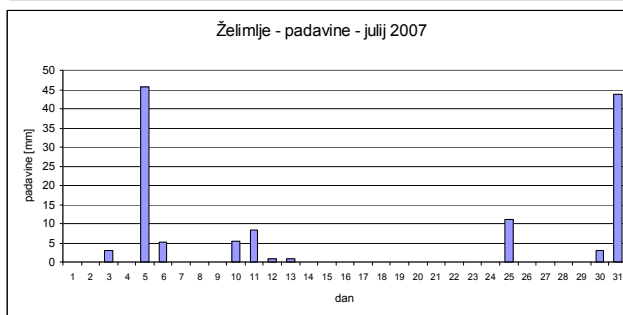
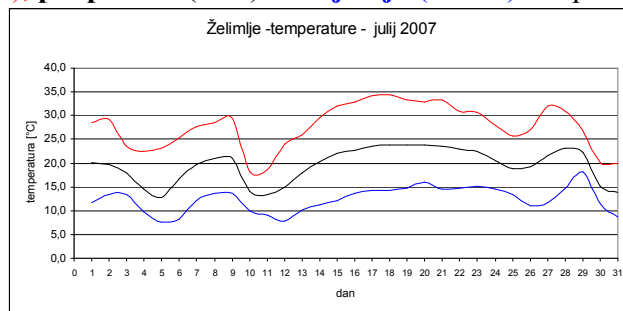




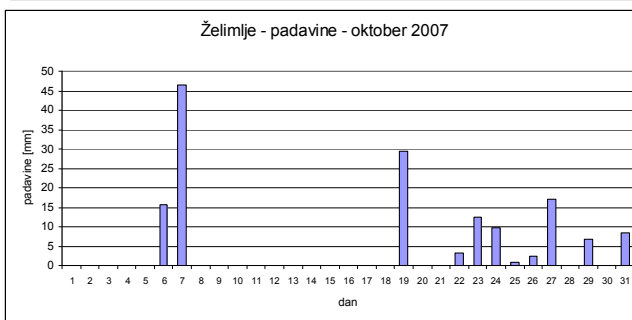
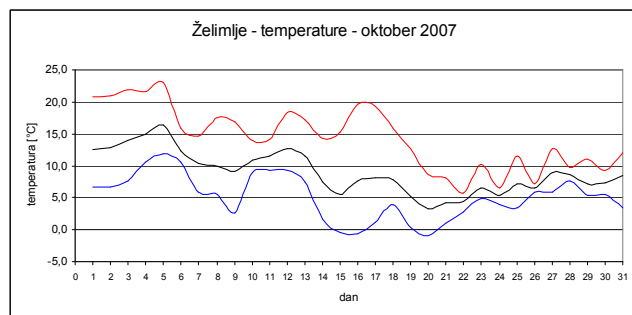
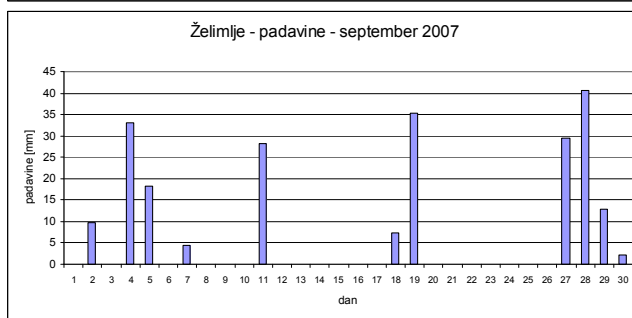
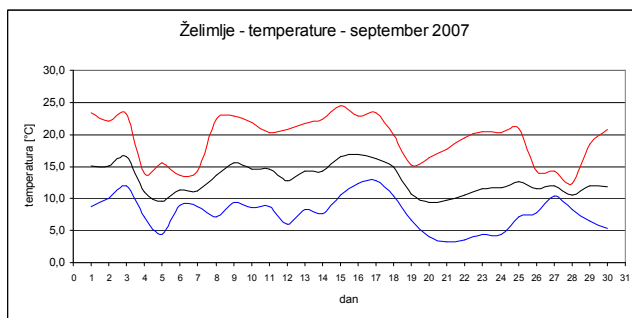
**PRILOGA C:**  
**Podatki o temperaturah in padavinah za Želimlje**  
**(obdobje izvajanja meritev na ribnikih)**  
 Vir: Agencija RS za okolje, Urad za meteorologijo

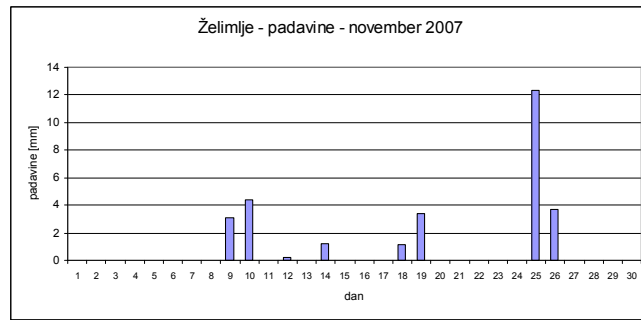
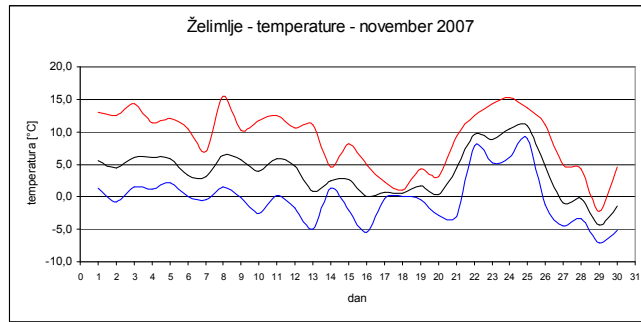
- \* padavine so izmerjene ob 7. uri in predstavljajo vsoto preteklih 24 ur
- \* vrednost 0 pri padavinah pomeni < 0,1 mm padavin (rosenje, iz megle...)

**Najvišja (rdeča črta), povprečna (črna) in najnižja (modra) temperatura zraka**













**ORTOFOTO POSNETEK  
RIBNIKOV V DOLINI DRAGE  
PRI IGU**

Vir: Geodetska uprava Republike Slovenije  
[www.gu.gov.si](http://www.gu.gov.si)  
posneto: 11.07.2006

Merilo:  
Območje velikosti  
1255 x 1060 m



0 100 200m

**PRILOGA E**



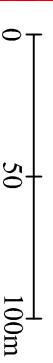


**ORTOFOTO POSNETKI  
RIBNIKOV V DRAGI**

Vir: Geodetska uprava Republike Slovenije  
[www.gu.gov.si](http://www.gu.gov.si)  
posneto: 11.07.2006

Zgoraj levo: Špilgint in Rakovnik

Merilo:  
Območje velikosti  
395 x 336 m



Zgoraj desno: Rezani in Srednji ribnik

Merilo:  
Območje velikosti  
338 x 288 m

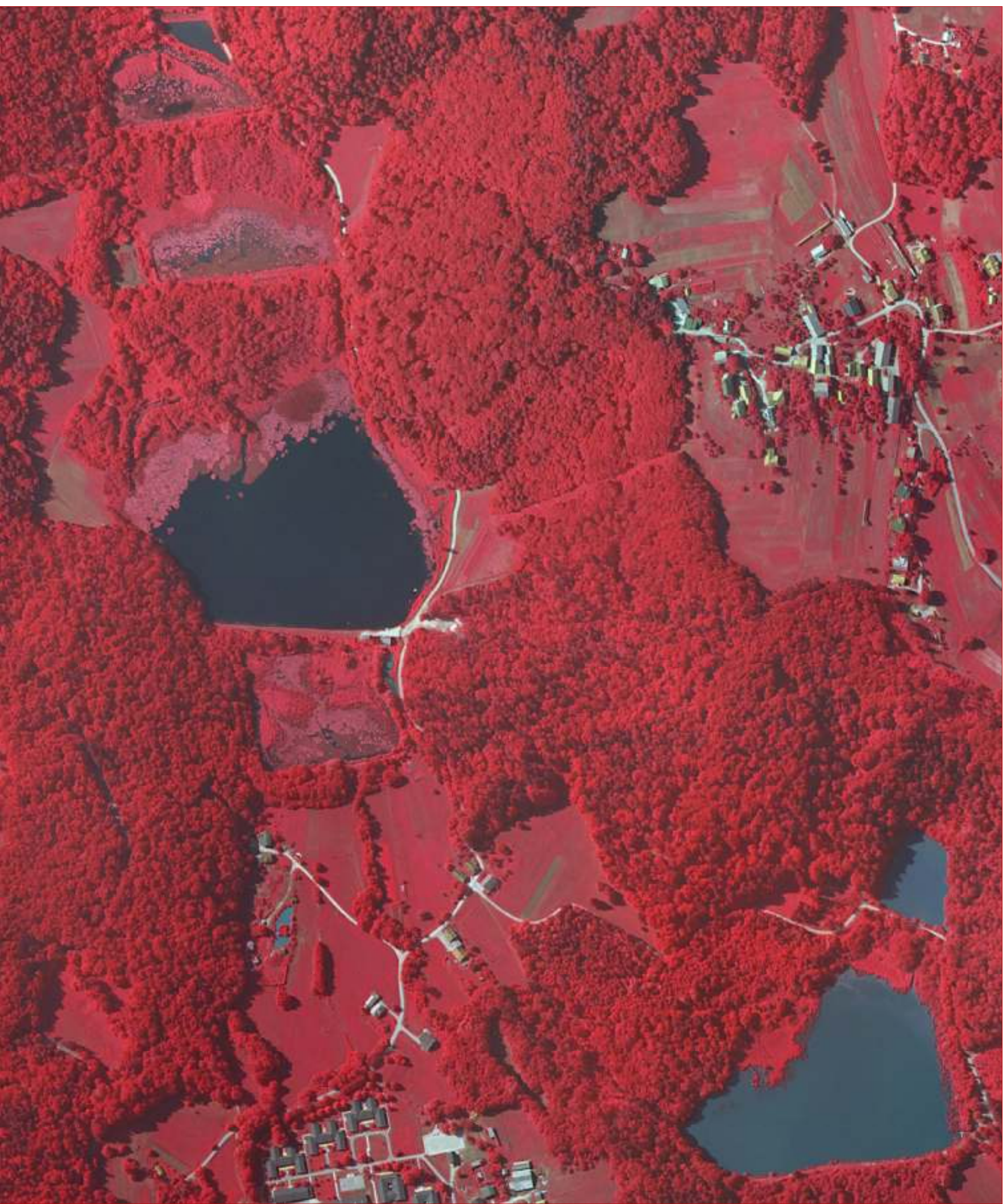


Spodaj: Pogled na celoten severni del  
naravnega spomenika (od leve  
proti desni so Zadnji, Rezani,  
Srednji, Veliki in Prvi ribnik)

Merilo:  
Območje velikosti  
1045 x 444 m







**ORTOFOTO POSNETKI V  
INFRARDEČEM SPEKTRU  
RIBNIKOV V DRAGI**

Vir: Geodetska uprava Republike Slovenije  
[www.gu.gov.si](http://www.gu.gov.si)  
posneto: 11.07.2006

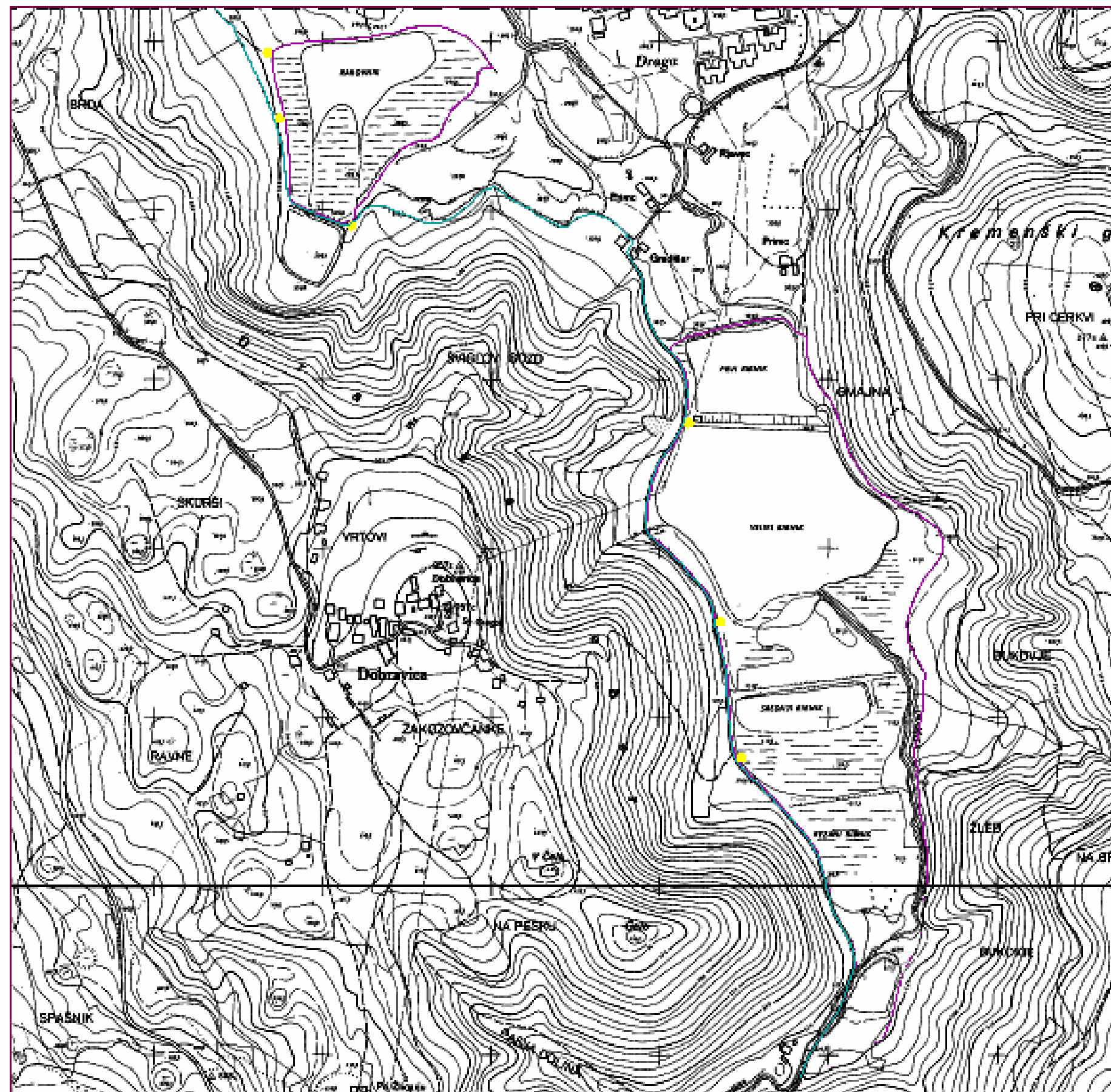


Merilo:  
Območje velikosti  
1290 x 1075 m

0 100 200m

**PRILOGA G**





**KARTA UREJITVE NARAVNEGA SILOVITJA V OBLASTI  
PRESEČAJNEGA POTOČJA**

Podlaga: TTN 5

Vir: Geodetska uprava Republike Slovenije  
www.gu.gov.si



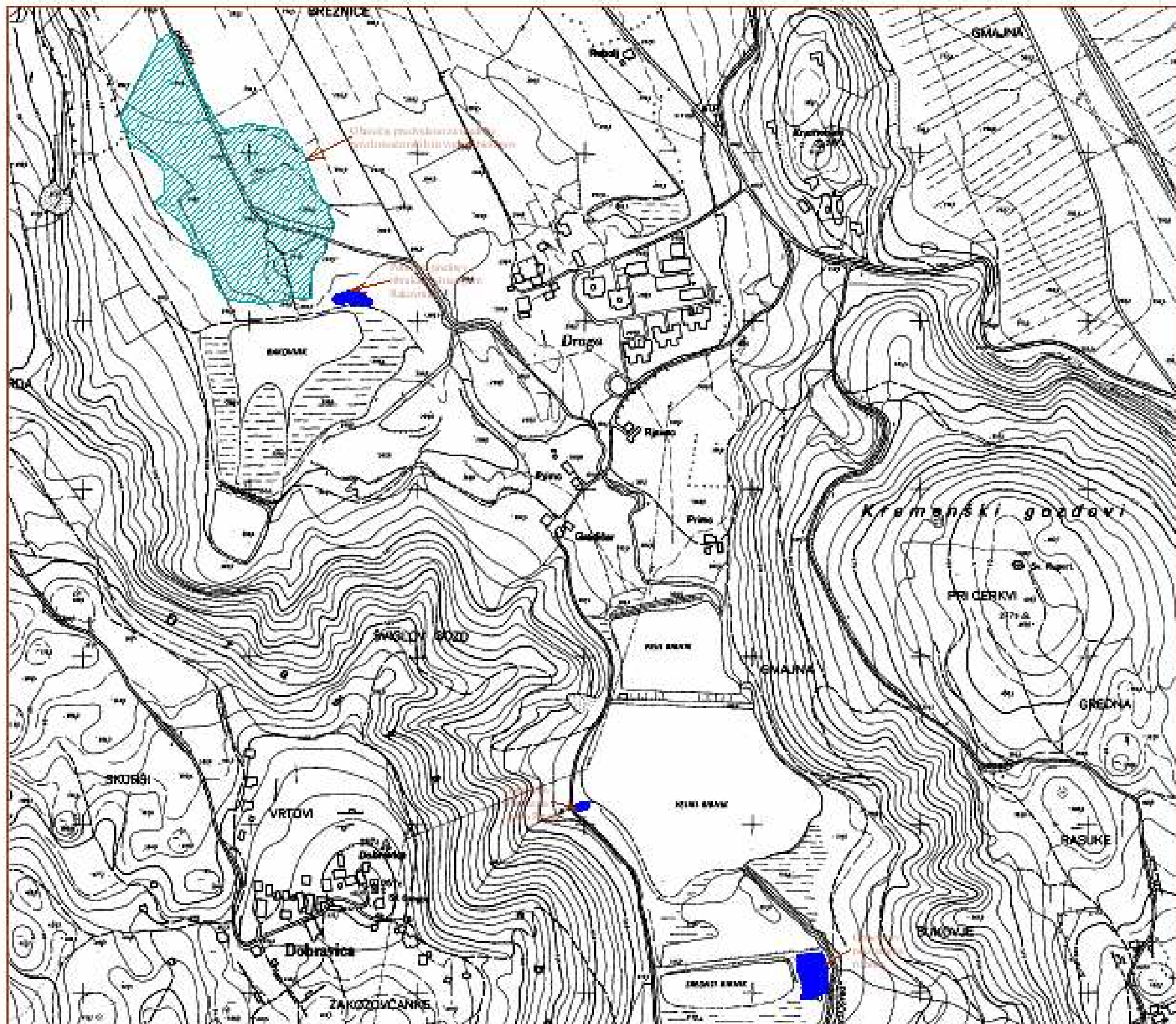
Merilo:  
Območje velikosti  
1630 x 1590 m

0 100 200m

Legenda:

- Méja območja mirtih con ———
- Pouéna in rekreacijska pot ———
- Opazovališéa, poéivališéa in postaje na uéni poti ●

**PRILOGA H**

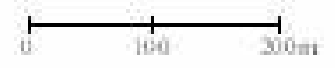


**PREDLOG OBNOVITVE  
NEKDAŠNJIH RIBNIKOV IN  
UREJITEV NOVIH BIOTOPOV**

Podlaga: TTNT

Vr. Geodetske uprave Republike Slovenije  
www.zup.gov.si

Merilo  
Obrisašč: 1:500  
1:500 a 1:500m



**PRILOGA I**