

UNIVERZA V LJUBLJANI  
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA  
ODDELEK ZA BIOLOGIJO

Živa KRELJ

**EKOLOŠKI STATUS RIBNIKA TIVOLI**

DIPLOMSKO DELO

Univerzitetni študij

Ljubljana, 2007

UNIVERZA V LJUBLJANI  
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA  
ODDELEK ZA BIOLOGIJO

Živa KRELJ

**EKOLOŠKI STATUS RIBNIKA TIVOLI**

DIPLOMSKO DELO  
Univerzitetni študij

**ECOLOGICAL STATUS OF POND TIVOLI**

GRADUATION THESIS  
University studies

Ljubljana, 2007

Diplomsko delo je zaključek Univerzitetnega študija biologije. Opravljeno je bilo na Katedri za ekologijo in varstvo okolja Oddelka za biologijo Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani, kjer so bile v limnološkem laboratoriju opravljene kemijske in nekatere fizikalne analize vzorcev vode iz ribnika Tivoli ter pregledani vzorci planktona in makroinvertebratov. Vzorci so bili odvzeti v ribniku Tivoli.

Študijska komisija Oddelka za biologijo je za mentorja diplomskega dela imenovala prof. dr. Mihaela J. Tomana in za recenzenta prof. dr. Danijela Vrhovška.

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik: prof. dr. Alenka GABERŠČIK  
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo

Član: prof. dr. Mihael J. TOMAN  
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo

Član: prof. dr. Danijel VRHOVŠEK  
Limnos, podjetje za aplikativno ekologijo  
Podlimbarskega 31, 1000 Ljubljana

Datum zagovora: 13.3.2007

Naloga je rezultat lastnega raziskovalnega dela.

Živa Krelj

## KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD	Dn
DK	574.5:582:592(043.2)=863
KG	ribnik/ ekološki status/ fitoplankton/ zooplankton/ makroinvertebrati/ fizikalno-kemijski parametri/ evtrofikacija/ park Tivoli
AV	KRELJ, Živa
SA	TOMAN, Mihael J. (mentor) / VRHOVŠEK, Danijel (recenzent)
KZ	SI-1000 Ljubljana, Večna pot 111
ZA	Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo
LI	2007
IN	EKOLOŠKI STATUS RIBNIKA TIVOLI
TD	Diplomsko delo (univerzitetni študij)
OP	XI, 77 str., 22 tabel, 32 sl., 59 vir.
IJ	sl
JI	sl/en
AI	Ribnik Tivoli je plitvo vodno telo v Parku Tivoli na SZ obrobju Ljubljane. Od oktobra 2005 do junija 2006 smo v ribniku opravili tri vzorčenja planktona in makroinvertebratov. Namen naloge je bil opredeliti ekološki status ribnika glede na fizikalno-kemijske parametre in biološko analizo. Temperatura vode je bila zaradi plitvosti podobna temperaturi ozračja. Vsebnost kisika se je med letom spreminjala, vendar v vodi nikoli ni prišlo do anoksije. Prosojnost je bila zelo majhna zaradi velike količine raztopljenih snovi, suspendiranih delcev in velike produkcije planktona. Vrednost BPK <sub>5</sub> je pokazala, da gre za obremenjeno vodno telo. Vrednost nitratov je presegla 1 mg/l. Rast alg je bila povečana. Določili smo 114 različnih taksonov fitoplanktona. K skupni biomasi fitoplanktona so večinoma prispevale zelene alge in diatomeje. Nekatere vrste so bile pokazatelji organsko obremenjenih vod. Najbolj množično je bil zooplankton zastopan spomladi predvsem na račun rizopodov. Upad abundance zooplanktona je bil povezan z manjšo vsebnostjo kisika in naraščanjem gostote fitoplanktona. Med makroinvertebrati so bili najbolj abundantni Oligochaeta in dipterska družina Chironomidae. Glede na maksimalno količino klorofila <i>a</i> in nasičenost vode s kisikom smo uvrstili ribnik v skupino evtrofnih vodnih teles. Secchijeva globina je kazala na hiperevtrofno stanje, fizikalno – kemijski parametri in biološki indikatorji ribnik uvrščajo v evtrofno stanje.

## KEY WORDS DOCUMENTATION

DN Dn  
DC 574.5:582:592(043.2)=863  
CX pond/ ecological status/ fitoplankton/ zooplankton/ macroinvertebrates/ physico-chemical parameters/ eutrophication/ park Tivoli  
AU KRELJ, Živa  
AA TOMAN, Mihael J. (mentor) / VRHOVŠEK, Danijel (recenzent)  
PP SI-1000 Ljubljana, Večna pot 111  
PB University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of Biology  
PY 2007  
TI ECOLOGICAL STATUS OF POND TIVOLI  
DT Graduation Thesis (University studies)  
NO XI, 77 p., 22 tab., 32 fig., 59 ref.  
LA sl  
AL sl/en  
AB The pond Tivoli is a shallow water body in Park Tivoli on the northwest margin of Ljubljana. Plankton and macroinvertebrate communities were investigated from October 2005 to June 2006. The aim of the study was to define ecological status of the pond with regard to physico-chemical parameters and biological analysis. Water temperature was similar to the atmospheric temperature due to its shallowness. Oxygen content varied during the year, however anoxic conditions were never detected. Transparency was very low due to the high content of dissolved matter, suspended matter and high plankton production. BOD<sub>5</sub> value showed organic loading of studied water body. The nitrate content exceeded 1 mg/L. The growth of algae was increased. We defined 114 different taxons of phytoplankton. Green algae and diatomee mostly contributed to the total phytoplankton biomass. Some species were indicators of organic loading. The abundance of zooplankton was the highest in spring due to rhizopoda taxa. The decline in zooplankton abundance correlated with oxygen depletion and rising phytoplankton density. Oligochets and larvae of Chironomids dominated in macroinvertebrate assemblages. With regard to maximum content of chlorophyll *a* and oxygen saturation the pond was classified as eutrophical water bodies. Secchi depth was typical even of hypereutrophic status, physico-chemical parameters and biological indicators classify the pond as eutrophic.

## KAZALO VSEBINE

	str.
Ključna dokumentacijska informacija (KDI)	III
Key words documentation (KWD)	IV
Kazalo vsebine	V
Kazalo tabel	VIII
Kazalo slik	IX
Okrajšave in simboli	XI
1 UVOD .....	1
1.1 NASTANEK IN ZNAČILNOSTI RIBNIKA TIVOLI.....	1
1.2 HIPOTEZA.....	2
1.3 NAMEN NALOGE.....	2
2 PREGLED OBJAV .....	4
2.1 DEFINICIJA RIBNIKA .....	4
2.2 IZVOR IN RAZŠIRJENOST PLITVIH JEZER IN RIBNIKOV.....	4
2.3 ZNAČILNOSTI RIBNIKOV .....	4
<b>2.3.1 Razlika med plitvimi jezeri in ribniki.....</b>	<b>5</b>
2.4 MAKROFITI .....	5
2.5 PLANKTON.....	7
<b>2.5.1 Fitoplankton .....</b>	<b>7</b>
<b>2.5.2 Zooplankton .....</b>	<b>8</b>
2.6 MAKROINVERTEBRATI .....	8
2.7 VPLIV RIB NA RIBNIKE.....	9
2.8 TROFIČNO STANJE RIBNIKOV .....	10
2.9 ABIOTSKI DEJAVNIKI V RIBNIKU.....	10
<b>2.9.1 Nutrienti v ribniku .....</b>	<b>10</b>
<b>2.9.2 Fosfor .....</b>	<b>11</b>
<b>2.9.3 Dušik .....</b>	<b>12</b>
<b>2.9.4 Kisik.....</b>	<b>13</b>
<b>2.9.5 Ogljik .....</b>	<b>14</b>
<b>2.9.6 Klorofil <i>a</i>.....</b>	<b>14</b>
<b>2.9.7 Svetloba .....</b>	<b>15</b>
<b>2.9.8 Toplotne razmere .....</b>	<b>15</b>
2.10 CVETENJE RIBNIKOV .....	16
2.11 VZDRŽEVANJE RIBNIKA .....	16
2.12 UMETNO VODNO TELO.....	17
2.13 EKOLOŠKI STATUS.....	17

---

3	OPIS LOKACIJE .....	19
3.1	HIDROLOGIJA RIBNIKA TIVOLI .....	19
3.2	BREŽINE RIBNIKA TIVOLI .....	20
4	MATERIAL IN METODE .....	22
4.1	FIZIKALNI IN KEMIJSKI PARAMETRI .....	22
<b>4.1.1</b>	<b>Material .....</b>	<b>22</b>
<b>4.1.2</b>	<b>Metode dela .....</b>	<b>23</b>
4.2	BIOLOŠKA ANALIZA .....	24
<b>4.2.1</b>	<b>Vzorčenje fito- in zooplanktona .....</b>	<b>24</b>
4.2.1.1	Material .....	24
4.2.1.2	Metode dela .....	24
<b>4.2.2</b>	<b>Vzorčenje makroinvertebratov .....</b>	<b>25</b>
4.2.2.1	Material .....	25
4.2.2.2	Metode dela .....	25
<b>4.2.3</b>	<b>Vzorčenje makrofitov .....</b>	<b>26</b>
<b>4.2.4</b>	<b>Biomasa fitoplanktona, količina klorofila a .....</b>	<b>26</b>
4.2.4.1	Material .....	26
4.2.4.2	Metode dela .....	26
5	REZULTATI .....	27
5.1	HIDROMORFOLOŠKI PARAMETRI .....	27
<b>5.1.1</b>	<b>Morfometrija .....</b>	<b>27</b>
<b>5.1.2</b>	<b>Substrat .....</b>	<b>27</b>
5.2	FIZIKALNO – KEMIJSKI PARAMETRI .....	28
<b>5.2.1</b>	<b>Temperatura .....</b>	<b>28</b>
<b>5.2.2</b>	<b>Kisikove razmere .....</b>	<b>30</b>
<b>5.2.3</b>	<b>Prosojnost - transparenca .....</b>	<b>32</b>
<b>5.2.4</b>	<b>pH .....</b>	<b>33</b>
<b>5.2.5</b>	<b>Elektroprevodnost .....</b>	<b>33</b>
<b>5.2.6</b>	<b>Skupne suspendirane snovi (TSS) .....</b>	<b>34</b>
<b>5.2.7</b>	<b>Sušina .....</b>	<b>35</b>
<b>5.2.8</b>	<b>Koncentracija ortofosfatnih ionov .....</b>	<b>35</b>
<b>5.2.9</b>	<b>Koncentracija nitratov .....</b>	<b>36</b>
<b>5.2.10</b>	<b>BPK<sub>5</sub> .....</b>	<b>37</b>
<b>5.2.11</b>	<b>Klorofil <i>a</i> .....</b>	<b>38</b>
5.3	BIOLOŠKA ANALIZA .....	38
<b>5.3.1</b>	<b>Plankton .....</b>	<b>38</b>
5.3.1.1	Fitoplankton .....	38
5.3.1.2	Zooplankton .....	46
<b>5.3.2</b>	<b>Makroinvertebrati .....</b>	<b>51</b>
<b>5.3.3</b>	<b>Makrofiti .....</b>	<b>54</b>

---

5.4	OPREDELITEV VPLIVOV NA EKOLOŠKI STATUS RIBNIKA TIVOLI GLEDE NA TROFIČNOST .....	55
6	RAZPRAVA IN SKLEPI.....	56
6.1	RAZPRAVA.....	56
<b>6.1.1</b>	<b>Abiotski dejavniki .....</b>	<b>56</b>
6.1.1.1	Globina .....	56
6.1.1.2	Substrat .....	56
6.1.1.3	Temperatura .....	56
6.1.1.4	Kisik .....	57
6.1.1.5	Prosojnost .....	57
6.1.1.6	pH.....	58
6.1.1.7	Elektroprevodnost .....	58
6.1.1.8	Skupne suspendirane snovi (TSS).....	58
6.1.1.9	Koncentracija ortofosfatnih ionov .....	58
6.1.1.10	Nitratni ioni.....	58
6.1.1.11	BPK <sub>5</sub> .....	59
6.1.1.12	Koncentracija klorofila <i>a</i> .....	59
<b>6.1.2</b>	<b>Biološka analiza.....</b>	<b>59</b>
6.1.2.1	Fitoplankton .....	59
6.1.2.2	Zooplankton .....	60
6.1.2.3	Makroinvertebrati.....	61
6.1.2.4	Ribe .....	62
6.1.2.5	Makrofiti .....	62
<b>6.1.3</b>	<b>Trofično stanje ribnika Tivoli.....</b>	<b>62</b>
<b>6.1.4</b>	<b>Smernice za upravljanje z ribnikom Tivoli.....</b>	<b>63</b>
6.2	SKLEPI.....	64
7	POVZETEK.....	66
8	VIRI.....	68



## KAZALO TABEL

	Str.
Tabela 1: Morfometrija ribnika Tivoli.....	27
Tabela 2: Spreminjanje globine ribnika Tivoli na treh vzorčnih mestih v času vzorčenj.....	27
Tabela 3: Taksonomska sestava fitoplanktona v ribniku Tivoli.....	44
Tabela 4: Taksonomska sestava zooplanktona v ribniku Tivoli.....	50
Tabela 5: Taksonomska sestava makroinvertebratov v ribniku Tivoli.....	53
Tabela 6: Trofične vrednosti za jezera po OECD kriterijih.....	55

## KAZALO SLIK

	Str.
Slika 1: ribnik Tivoli, fotografiran v smeri S-J (30.9.2005).....	3
Slika 2: ribnik Tivoli, fotografiran v smeri Z-V (30.9.2005).....	3
Slika 3: ribnik Tivoli (30.9.2005).....	21
Slika 4: ribnik Tivoli (3.1.2006).....	21
Slika 5: Vzorčna mesta na ribniku Tivoli.....	23
Slika 6: Temperatura vode v ribniku Tivoli na treh vzorčnih mestih v času vzorčenja.....	28
Slika 7: Spreminjanje temperature vode čez dan v času vzorčenja.....	29
Slika 8: Spreminjanje temperature vode v vertikalnem profilu 30.3. in 22.6.2006.....	29
Slika 9: Vsebnost O <sub>2</sub> v ribniku Tivoli na treh vzorčnih mestih v času vzorčenja.....	30
Slika 10: Vsebnosti O <sub>2</sub> v ribniku Tivoli čez dan na treh vzorčnih mestih v času vzorčenja.....	31
Slika 11: Vsebnosti O <sub>2</sub> v ribniku Tivoli po vertikalnem profilu 30.3. in 22.6.2006.....	31
Slika 12: Vsebnosti O <sub>2</sub> na osenčenem in osončenem predelu ribnika Tivoli v času vzorčenja.....	32
Slika 13: Secchijeva globina v ribniku Tivoli na treh vzorčnih mestih v času vzorčenja.....	32
Slika 14: Vrednosti pH-ja v ribniku Tivoli na petih vzorčnih mestih v času vzorčenja.....	33
Slika 15: Elektroprevodnost v ribniku Tivoli na petih vzorčnih mestih v času vzorčenja.....	34
Slika 16: Skupne suspendirane snovi v ribniku Tivoli v času vzorčenja.....	35
Slika 17: Količina sušine v ribniku Tivoli v času vzorčenja.....	35
Slika 18: Koncentracije ortofosfata v ribniku Tivoli v času vzorčenja.....	36
Slika 19: Koncentracije nitratov v ribniku Tivoli v času vzorčenja.....	37
Slika 20: Vrednosti BPK <sub>5</sub> v ribniku Tivoli v času vzorčenja.....	37
Slika 21: Koncentracija klorofila <i>a</i> v ribniku Tivoli v času vzorčenja.....	38
Slika 22: <i>Cymatopleura solea</i> (Bacillariophyceae).....	40
Slika 23: <i>Cymbella affinis</i> (Bacillariophyceae).....	40
Slika 24: <i>Eunotia arcus</i> (Bacillariophyceae).....	41
Slika 25: <i>Fragilaria construens</i> (Bacillariophyceae).....	41
Slika 26: <i>Gyrosigma attenuatum</i> (Bacillariophyceae).....	41
Slika 27: <i>Navicula scutiformis</i> (Bacillariophyceae).....	41
Slika 28: <i>Phacus longicauda</i> (Euglenophyta).....	42
Slika 29: <i>Pediastrum duplex</i> (Chlorophyta).....	43

Slika 30: <i>Pediastrum gracillium</i> (Chlorophyta).....	43
Slika 31: <i>Keratella cochlearis</i> (Rotatoria).....	48
Slika 32: <i>Keratella quadrata</i> (Rotatoria).....	48
Slika 33: kopepodni navplij.....	49

## OKRAJŠAVE IN SIMBOLI

VM	vzorčno mesto
TSS	skupne suspendirane snovi
TDS	skupne raztopljene snovi
DIN	raztopljen anorganski dušik
DOM	raztopljena organska snov
FPOM	drobni odmrli organski delci
BPK	biokemijska poraba kisika
BPK <sub>5</sub>	biokemijska poraba kisika v petih dneh
Chl <i>a</i>	klorofil <i>a</i>
m	meter
cm	centimeter
ha	hektar
mg	miligram
µg	mikrogram
L	liter
µS	mikrosiemens
°C	stopinje Celzija
pH	negativni logaritem koncentracije vodikovih ionov
T	temperatura
UVT	umetno vodno telo
MOL	Mestna občina Ljubljana
VO-KA	vodovod - kanalizacija
KP	krajinski park
RD	Ribiška družina
ATP	adenozintrifosfat
DNK	deoksiribonukleinska kislina
UV-sevanje	ultravijolično sevanje
O	obseg
P	površina
konc.	koncentracija
temp.	temperatura

## 1 UVOD

### 1.1 NASTANEK IN ZNAČILNOSTI RIBNIKA TIVOLI

Park Tivoli, v katerem se nahaja ribnik, je bil oblikovan leta 1813 po načrtih francoskega inženirja Blancharda in je nastal iz parkov, ki sta obdajala grad Podturn ter Cekinov grad. Kasneje, med leti 1921 in 1939, je bil delno preurejen po Plečnikovih načrtih. Sam park je prepleten s številnimi sprehajalnimi potkami. Osnovne poteze tega parka oblikujejo drevoredi, ki so nastali že v času baroka. Danes ima park tri glavne kostanjeve drevorede ter Plečnikov in Jakopičev drevored. Poleg samega parka so na obrobjih dograjevali objekte. Tako so na jugovzhodnem obrobju Tivolskega parka, ob platoju ob vznožju Šišenskega hriba, zgradili ribnik z botaničnim vrtom in rastlinjakom. Nasproti ribnika je lepo urejeno in ograjeno otroško igrišče z igrali, ki je bilo narejeno leta 1942.

Ribnik Tivoli so v parku uredili leta 1880. Nastal je z izkopom, ima pravokotno obliko in je bil prvotno namenjen zimskemu drsanju in čolnarjenju, vendar sta ti dve dejavnosti po drugi svetovni vojni zamrli. V ribniku so bile sprva okrasne in druge ribe in žabe.

Ribnik Tivoli sodi skladno z okoljsko – naravovarstveno zakonodajo v okvir pomembnega območja varovane naravne in kulturne dediščine - Krajinski park (KP) Tivoli, Rožnik in Šišenski hrib, ki ga nadzira Zavod za varstvo okolja, Mestna uprava in Mestna občina Ljubljana.

Krajinski park se razteza na severozahodnem obrobju mesta Ljubljana in obsega park Tivoli ter parkovna gozda Rožnik in Šišenski hrib v skupni površini 509.4 ha. Sam Park Tivoli je največji ljubljanski park in sega v center mesta. Obsega približno 5 km<sup>2</sup> zelenih površin in leži ob vznožju Šišenskega hriba med Večno potjo in Celovško cesto. Razlogi za poseben naravovarovalni in kulturni status Krajinskega parka so v tem, da sta oba parkovna gozda porasla s samoniklo gozdno vegetacijo, kjer so posamezna drevesa pomembna zaradi starosti in dimenzij. Za Tivolskim gradom je klasično nahajališče evropske gomoljčice (*Pseudostellaria europaea*), na območju Malega Rožnika in Mosteca pa so mokrišča, kjer so rastišča močvirske in barjanske flore in vegetacije. Krajinski park je območje, kjer se tako prepletajo elementi naravnih vrednot in kulturne dediščine in je namenjen predvsem rekreaciji in ohranitvi značilne kultivirane krajine, kakor tudi vzdrževanju in krepitvi naravnega ravnovesja.

Leta 1983 je bil ribnik s samoupravnim sporazumom med ribiško družino (RD) Barje in SO Ljubljana Vič – Rudnik dodeljen v upravljanje RD Barje. Danes ima značaj parkovnega jezera, s katerim upravlja RD Barje. Po veljavnem ribiško gojitvenem načrtu RD Barje ima ribnik Tivoli status športno ribolovnega revirja, v katerem se lahko z Odlokom o najmanjših dolžinah lovnih rib in o varstveni dobi lovnih rib, rakov in školjk

(UL RS, št. 14/93) in pravilnikom o športnem ribolovu izvaja ribolov. Krajinski park Tivoli, Rožnik in Šišenski hrib je bil zavarovan z odlokom leta 1984.

V letih 2004 in 2005 je MOL pripravil nalogo z naslovom »Smernice za pripravo načrta upravljanja z ribnikom Tivoli«, kjer naj bi bil poleg drugega predlagan tudi kompromis v smislu večnamembnosti, po katerem bi na nekaterih delih ribnika ribičem omogočili ribolov avtohtonih rib. Zavod za varstvo okolja MOL je tako naročil »idejne rešitve in projekt za izvedbo sanacije in revitalizacije ribnika Tivoli.« Ribnik je bil sicer v celoti saniran že leta 1994.

Zavedati se moramo, da je ribnik nastal s posegom človeka. Osnovna namenska raba tega ribnika je opredeljena kot parkovna, športna in rekreacijska površina. Po teh pravnih podlagah lahko ribnik Tivoli služi tudi športnemu ribolovu. Po drugi strani pa sodi območje ribnika v okvir pomembnega območja naravne in kulturne dediščine (Krajinski park).

## 1.2 HIPOTEZA

Predpostavljam, da na ekološki status ribnika Tivoli vpliva pomanjkanje sveže vode, vnos organskega bremena zaradi listopadnih dreves ter majhna globina in volumen ribnika.

Domnevam, da obsežna litoralna makrovegetacija prispeva dominanten del k produkciji snovi v ribniku.

## 1.3 NAMEN NALOGE

Cilj naše naloge je bil opredeliti dejavnike, ki vplivajo na ekološki status ribnika Tivoli na podlagi fizikalno – kemijskih in bioloških elementov. Pri opredelitvi vplivov na ekološko stanje bomo upoštevali obstoječe sisteme ocenjevanja trofičnega stanja jezer.

Poskušali bomo nakazati smernice za ravnanje z ribnikom ter ugotoviti, katere dejavnosti so zanj primerne in predlagati možne rešitve revitalizacije vodnega telesa.

Hipoteze bomo preverjali na podlagi:

- vzorčenja planktonske združbe in združbe makroinvertebratov ter določitve njihove taksonomske sestave,
- popisa litoralne vegetacije,
- določitve hidromorfoloških in fizikalno - kemijskih parametrov.



Slika 1: ribnik Tivoli, fotografiran v smeri S-J (30.9.2005)



Slika 2: ribnik Tivoli, fotografiran v smeri Z-V (30.9.2005)

## 2 PREGLED OBJAV

### 2.1 DEFINICIJA RIBNIKA

Izraz »*plitvo jezero*« ali »*ribnik*« se ponavadi uporablja za trajno, stoječe vodno telo, ki je dovolj plitvo, da omogoča prehod svetlobe do usedlin, kar omogoča fotosintezo višjih vodnih rastlin preko celotne površine vodnega telesa (Wetzel, 2001).

V velikih jezerih je volumen vode glede na delež celotne celinske vode precejšen, vendar pa je njihovo število toliko manjše. Mnogo manj opazni, vendar pa veliko bolj pomembni so številni plitvi ribniki, plitva manjša jezera in zajezitve z le nekaj metri globine. Velik del aktivnosti človeka je vezane in odvisne od plitvih vodnih teles (Wetzel, 2001).

Ribniki imajo v javnih parkih in vrtovih večinoma vlogo okrasnih elementov, ki vzbujajo veliko zanimanje limnologov. Lampert & Sommer (1997) sta opisala ribnike kot plitva vodna telesa antropogenega izvora, ki so navadno brez stratifikacije. Zaradi plitvosti in relativno velike površine glede na prostornino imajo ribniki temperaturo vode podobno temperaturi lokalne atmosfere.

Ribniki so pomembni pri oskrbi s pitno vodo, zaščiti pred poplavami, ribarjenju, namakanju, rekreaciji, v industriji in imajo tudi estetsko vlogo. Gospodarjenje z vodnimi viri, kot so ribniki, zahteva natančne limnološke raziskave (Demir & Kirkagac, 2005). 90% ribnikov je podvrženih evtrofikaciji (Wetzel, 2001).

### 2.2 IZVOR IN RAZŠIRJENOST PLITVIH JEZER IN RIBNIKOV

Plitva jezera in ribniki so pogosti v nižinskih predelih z nizkim reliefom. Ribniki so lahko posledica glacialnih gibanj, aktivnosti vetra ali po so nastali v pretežno ravninskih predelih, kjer je reka spremenila svojo smer. Številni majhni občasni ribniki in jezera lahko nastanejo na poplavnih ravninah večjih rečnih ekosistemov. Ljudje so naključno ali pa namerno ustvarjali plitva jezera in ribnike, ko so preoblikovali krajino zaradi pozidave ali poljedelstva (Wetzel, 2001).

### 2.3 ZNAČILNOSTI RIBNIKOV

V depresijah v krajini se akumulirajo organske snovi in nutrienti, ki se potem lahko transportirajo v plitva jezera. Pri relativno majhnem volumnu je količina nutrientov na enoto volumna lahko dokaj visoka. Litoralna makrovegetacija, ki ima mnogo višji delež



organske produkcije kot pa fitoplankton na enoto površine, prispeva dominanten del k produkciji organske snovi v plitvih jezerih (Wetzel, 2001).

V večjih jezerih je toplotna stratifikacija pomembna za zmanjšanje količin fosforja, ki se nalaga v usedlinah. V plitvih jezerih pa je potencial zmanjševanja in zadrževanja nutrientov v usedlinah slabši. Plitva jezera in ribniki imajo v toplotnem hipolimniju le majhen delež volumna vode, ni pa nujno, da je hipolimniji sploh prisoten. V predelih zmerne pasu, kjer je globina kotanje manjša od sedmih metrov, je toplotna stratifikacija neizrazita oziroma obstojna le kratek čas. Kot rezultat tega voda v plitvih jezerih običajno kroži skozi daljše obdobje ali pa gre za neprekinjeno kroženje (Wetzel, 2001).

Ribniki se razlikujejo od naravnih jezer tudi v velikih in pogostih spreminjanjih vodne gladine, kar se posebej opazi na obrežjih, kjer je litoralno rastlinstvo slabše razvito (Tarman, 1992).

V jezerih ponavadi pride do premešanja vodnega stolpca zaradi turbulence, ki jo povzroči veter in zaradi sprememb v temperaturi vode, medtem ko se v ribnikih voda premeša le zaradi temperature (Bronmark & Hansson, 1998). V majhnih ribnikih lahko manjka tudi termoklina in tako pride do pomanjkanja hipolimnijskih refugijev za velik zooplankton (Tessier & Welser, 1991).

### **2.3.1 Razlika med plitvimi jezeri in ribniki**

Ribnike in plitva jezera ponavadi enačimo, vendar pa se med njimi pojavljajo ključne razlike. Ribniki, ki jih ponavadi definiramo kot majhna vodna telesa, se razlikujejo od plitvih jezer po dveh, potencialno pomembnih stvareh, ki sta povezani z velikostjo:

- Ø Ribniki imajo mnogo večje razmerje med obsegom in površino (O:P) kot plitva jezera. Na primer popolnoma okrogel 1ha velik ribnik ima razmerje O:P desetkrat večje kot 1 km<sup>2</sup> veliko jezero enake oblike. Tako procesi na obrežju (npr. prestrežanje nutrientov, senčenje z obrežno vegetacijo, erozija bregov) na ribnike mnogo bolj vplivajo kot na plitva jezera. Posledično so tudi odzivi ribnika na nalive (npr. povečano suspendiranje nutrientov) večji in bolj neposredni kot v plitvih jezerih.
- Ø Pri ribnikih je zaradi manjše površine manjši vpliv vetra na mešanje vode, medtem ko je vpliv vetra na plitva jezera večji (Fairchild s sod., 2004).

## **2.4 MAKROFITI**

V plitvih jezerih je litoral ponavadi razširjen čez celotno površino. Svetloba seže do usedlin, kar omogoča fotosintezo in rast višjih vodnih rastlin na celotni površini ribnika. Kalnost lahko svetlobi prepreči, da bi dosegla usedline, vendar pa so jezera ali ribniki še

vedno dovolj plitvi, da to ne predstavlja ovir za procese. Če je litoral porasel z makrofiti, je združba nevretenčarjev pestra. Tak litoral je osnova veliki diverziteti (Wetzel, 2001).

Običajna globina razširjenosti makrofitov je v velikih jezerih podobna kot v plitvih, vendar pa moramo vedeti, da se globina poraščenosti v ribnikih lahko močno zmanjša, ker se svetloba z naraščajočo globino pogosto hitro zmanjšuje. Emergentni makrofiti v veliki meri uspevajo do globine enega metra, zakoreninjeni makrofiti s plavajočimi listi pa do globine dveh oziroma treh metrov (Wetzel, 2001).

Fitoplanktonske alge v evtrofnih razmerah tvorijo obsežno biomaso. 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 (Ruggiero s sod., 2003).

Submerzni makrofiti v plitvih jezerih in ribnikih pri presežku nutrientov prevzemajo fosfor in dušik; na ta način se zmanjša razpoložljivost za fitoplankton in perifiton. Med submerznimi makrofiti se ob usedlinah lahko pojavi anoksično okolje, kar vodi do bakterijske denitrifikacije in izgub dušika v atmosfero. Ker submerzni makrofiti predvsem pa epifitski perifiton privzemajo dušik, lahko postane razpoložljivost dušika za litoralni fitoplankton zmanjšana (Stephen s sod., 1998).

Za velik zooplankton so submerzni makrofiti pomembni kot zatočišča pred ribjimi plenilci. Med makrofiti so tudi številna zatočišča za makroinvertebrate. Velika površina submerznih makrofitov predstavlja habitate za razvoj epifitskega perifitona. Ta razvoj se poveča z vnosom nutrientov in lahko prepreči razpoložljivost svetlobe in tako rast makrofitov. Nekatere insektske larve in polži se pasejo na perifitonu in tako zmanjšujejo senčenje rastlin (Wetzel, 2001).

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 (Ruggiero s sod., 2003).

Rast alg je omejena predvsem s tekmovanjem z makrofiti za svetlobo. Zgodaj spomladi se lahko makrofiti hitro razširijo in takoj ko razvijejo svoje listne ploskve, zasenčijo alge in omejijo razvoj fitoplanktona (Ruggiero s sod., 2003). Ko je makrofitov največ, pride do upada biomase fitoplanktona, kljub visoki koncentraciji dušika in fosforja v vodi. Makrofiti lahko vplivajo na okolje tudi z zmanjševanjem resuspenzije (Giziński s sod., 1997).

## 2.5 PLANKTON

Na plankton vplivajo fizikalne (temperatura, svetloba, gostota, viskoznost) in kemijske lastnosti vode (P, N, Si, Fe itd.). 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 pa 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 modrozeleno alge, ki so sposobne vezati plinasti dušik. Zimski plankton je sorazmerno reven, pa čeprav je mogoča primarna produkcija tudi pod ledom, če ga ne prekriva debela snežna odeja (Tarman, 1992).

### 2.5.1 Fitoplankton

Vodni makrofiti vršijo kontrolo fitoplanktonske biomase in z njimi tekmujejo za svetlobo, nutriente in anorganski ogljik ter ovirajo gibanje vode. Večji algivoren zooplankton lahko omeji številčnost fitoplanktona, tudi če je nutrientov dovolj (Fairchild s sod., 2004).

Biomasa fitoplanktona (merjena kot klorofil *a*) je v pozitivni korelaciji s totalnim fosforjem in v negativni korelaciji s Secchijevo globino (Fairchild s sod., 2004).

V plitvih jezerih in ribnikih, kjer je rast submerznih makrofitov zmanjšana ali pa so odstranjeni, pride do dominance fitoplanktona. Razvijejo se majhne alge in cianobakterijske vrste z visoko kapaciteto absorpcije svetlobe in nizkimi svetlobnimi kompenzacijskimi točkami. V predelih zmernega pasu, kjer je pašni pritisk velikega planktona v plitvih vodah bogatih z nutrienti zmanjšan, lahko razvoj fitoplanktona na začetku sezone zmanjša prodiranje svetlobe in tako omeji razvoj in rast makrofitov. Ob odsotnosti submerznih makrofitov pride do pomanjkanja habitatov za velik zooplankton, ki je učinkovit pri paši fitoplanktona. Če majhne zooplanktivorne ribe dominirajo v združbi rib, je pašni pritisk zooplanktona na fitoplankton zmanjšan. Rezultat tega je manjša smrtnost fitoplanktona. Ob izpostavljenosti majhnih jezer in ribnikov aktivnosti vetra, pride na odprtih habitatih do mešanja vode z resuspenzijo površinskih usedlin. To vodi do povečane kalnosti, pri čemer pride do izrazitega zmanjšanja prodiranja svetlobe, kar vpliva na fitoplankton. Pri zelo visokih koncentracijah fosforja in vezanega dušika v vodi lahko zelene alge uspešno tekmujejo z dušik-fiksirajočimi cianobakterijami, kar je znano tudi iz velikih jezer (Wetzel, 2001).

## 2.5.2 Zooplankton

Raziskave nekaterih jezer v obdobju večih let kažejo ponovljivost v sezonski abundanci zooplanktona (Kratz s sod., 1987). Sezonski vzorci celotne zooplanktonske abundance v ribnikih pa se preko let značilno razlikujejo. Spremembe v zooplanktonskih združbah so delno povezane s sezonskimi spremembami temperature vode. Na podlagi razlik v sezonskih vzorcih zooplanktonske združbe preko let lahko predvidevamo, da je dinamika združbe v ribnikih verjetno leto za letom precej neponovljiva (Rettig s sod., 2006).

V istem letu se lahko poletno-pomladna dinamika skupnega zooplanktona v ribnikih določenega območja razlikuje. Visoka stopnja spremenljivosti v teh majhnih vodnih sistemih poudarja pomen od lege odvisnih faktorjev, ki lahko vplivajo na dinamiko in strukturo združbe (Rettig s sod., 2006).

Threlkeld (1983) je odkril le šibko povezavo med zooplanktonom in fizikalno –kemičnimi parametri vodnega telesa, bolj pomembni so kompleksni medvrstni vplivi. Na strukturo zooplanktonske združbe in njeno spremenljivost lahko vplivajo tudi druge okoljske spremenljivke vključno z ribjim plenilstvom in strukturo makroinvertebratov.

Letne spremembe podnebnih dejavnikov lahko dodatno vplivajo na zooplanktonsko združbo. Naraščanje temperature zraka in vode lahko pripelje do spremembe dominanc zooplanktonskih vrst v evtrofnem jezeru (Adrain & Deneke, 1996).

## 2.6 MAKROINVERTEBRATI

Litoralna območja majhnih vodnih teles so prostorsko heterogeni habitati, ki dajejo zavetja različnim skupinam organizmov. Ponavadi se vrstna sestava makroinvertebratov v majhnih močvirnih ribnikih razlikuje od tiste v večjih jezerih. Vrstno bogastvo je najmanjše v majhnih ribnikih z enostavno sestavo usedlin in majhno količino vodnih rastlin. Združbe v manjših lentičnih vodah imajo običajno bolj naključno vrstno sestavo in nepredvidljivo strukturo kot pa v večjih jezerih (Heino, 2000).

Kemija vode in trofična stanja se pogosto omenjajo kot pomembni dejavniki, ki vplivajo na sestavo in biomaso makroinvertebratske združbe v lentičnih ekosistemih. Ker mnoge invertebratske vrste izbirajo določeno vegetacijo ali tip substrata, imajo različna nahajališča in razporeditev (Heino, 2000).

Število vrst značilno narašča z velikostjo posameznega habitata. Večje površine namreč vključujejo več habitatov in tako tudi več potencialnih niš. Tako je število vrst polžev večje v večjih ribnikih z bujno rastjo makrofitov, kot pa v manjših in strukturno enostavnejših vodnih telesih (Heino, 2000).

Na vrstno bogastvo strgačev negativno vpliva količina detrita v jezeru in pozitivno globina vodnega telesa. Vrstno bogastvo strgačev je v pozitivni zvezi s heterogenostjo habitata. FPOM (drobni odmrli organski delci) so lahko pogubni za strgače, ker prekrivajo skalnat substrat, ki je pomemben za rast alg. Številčnost strgačev je še posebej majhna v ribnikih z redkimi makrofiti in brez anorganske snovi na dnu (Okland, 1990).

Razlike v sestavi vrst makroinvertebratov med majhnimi in večjimi jezери so ponavadi povezane z razlikami v sestavi habitata. Vrstno bogastvo je bolj odvisno od strukture in spremenljivk habitata znotraj jezera kot pa od dejavnikov, ki so povezani s kemijo vode; vsaj tam, kjer se ne pojavljajo ekstremi v kemiji vode (Heino, 2000).

Številne raziskave so pokazale, da med obrobno vegetacijo diverziteti insektov močno naraste (Briones s sod., 2002).

## 2.7 VPLIV RIB NA RIBNIKE

Navaden krap je bentična riba, ki ima negativne vplive na kvaliteto vode in je razširjena v celinskih vodah širom sveta. Krap zmanjšuje kvaliteto vode zaradi svojega načina prehranjevanja (Williams s sod., 2002). Ko išče hrano, z nabiranjem detrita premešča večje delce usedlin, kar ima za posledico vračanje trdne snovi in nutrientov, predvsem fosforja, iz usedlin v vodni stolpec (Meijer s sod., 1990). Končen rezultat je zmanjšanje prosojnosti vode zaradi porasta koncentracije skupnih suspendiranih snovi (TSS) v vodnem stolpcu in naraščanje populacije alg ter s tem tudi klorofila *a*. Povečanje kalnosti lahko povzroči zmanjšanje rastlinske pokrovnosti jezera, kar ustvari pozitivno povratno zanko kalnosti vode (Lauridsen s sod., 1994). Herbivorne ribe imajo neposredne vplive na populacije posameznih vrst zakoreninjenih makrofitov s trganjem njihovega tkiva in korenin in lahko povsem oskubijo rastline v plitvih vodah, kar pogosto povzroči velik porast biomase fitoplanktona. Prav tako imajo ribe s predacijo direkten vpliv na zmanjšanje abundance in diverzitet bentoških združb (Richard s sod., 1984).

Ciprinidi lahko preživijo v razmerah nizke koncentracije raztopljenega kisika in dosežejo veliko gostoto, kar jim omogoča predvsem visoka razpoložljivost hrane in odsotnost plenilcev. Ciprinidi se prehranjujejo z zooplanktonom in imajo zato negativen vpliv na njihovo gostoto. Prisotnost makrofitov predstavlja zaščito za zooplanktonsko združbo pred intenzivno ribjo predacijo in tako makrofiti tudi vršijo kontrolo nad biomaso alg, kar velja za vsa evtrofna plitva jezera (Ruggiero s sod., 2003). Rastline omogočajo tudi prostorsko heterogenost in tako zagotavljajo habitate za bentoške organizme in zmanjšujejo predacijski pritisk. Na te organizme vplivajo bentočne ribe posredno preko zmanjšanja makrofitov v jezeru (Zambrano & Hinojosa, 1999). Neposredna predacija krapa na združbo bentosa lahko spremeni kompeticijske odnose med njimi, zlasti v ribnikih brez makrofitov (Abrams, 1983).

## 2.8 TROFIČNO STANJE RIBNIKOV

Svetloba, kalnost in mešanje vodnega stolpca vplivajo na trofično stanje ribnika. Vnos nutrientov v ribnik je osnoven vir, ki v kombinaciji s svetlobo povečuje primarno produkcijo. Biomasa rastlin se spreminja tudi glede na globino in obliko kotanje (Williams s sod., 1997).

Dejavniki, ki vplivajo na trofično stanje ribnikov, so v veliki meri vezani na velikost ribnika (Fairchild s sod., 2004). Koncentracija klorofila *a* in Secchijeva globina sta med drugim odvisni od povprečne globine in od površine ribnika. Bolj globoki in manjši ribniki so nagnjeni k večji prosojnosti (kar je povezano z manjšo biomaso fitoplanktona) za razliko od plitvejših ribnikov z veliko površino (Fairchild s sod., 2004).

Ribniki imajo podobno kot plitva jezera na dnu dovolj svetlobe za vzdrževanje primarne produkcije in so navadno evtrofni ali hiperevtrofni. Makrofiti, perifiton in prostoplavajoči deli filamentoznih alg se v plitvih sistemih pogosto močno namnožijo. Zaradi plitvosti v ribnikih in plitvih jezerih je resuspendiranje usedlin bolj pogosto kot v globokih vodnih telesih, zato pride do povečanih koncentracij nutrientov in zmanjšanja prodiranja svetlobe (Fairchild s sod., 2004).

Na plitvo jezero močno vpliva spreminjanje gladine vode. Obdobja z nizko gladino so za ekosistem neugodna. Povzročijo resuspenzijo in pospešijo kroženje dušika. To vodi do masovne rasti planktonskih alg in submerznih makrofitov. Globina vode je eden od ključnih faktorjev pri uravnavanju trofičnega stanja jezera (Frisk s sod., 1999).

V litoralu ribnika je zelo pomembna redukcija dušikovih spojin v anoksičnih usedlinah. Dušik se v tem primeru sprošča v ozračje (Frisk s sod., 1999).

## 2.9 ABIOTSKI DEJAVNIKI V RIBNIKU

### 2.9.1 Nutrienti v ribniku

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

Fitoplanktonske združbe izkoriščajo nutiente in to jih vodi v tekmovanje z makrofiti. Dominanca makrofitov oziroma fitoplanktonskih alg je odvisna od koncentracije nutrientov. Dominanca submerznih makrofitov, tako kot v velikih jezerih, prevlada, ko je koncentracija nutrientov v vodi nizka (npr. 25 µg totalnega P/L), razmerje N:P pa je visoko (>> 10:1). Porast nutrientov povzroči porast biomase fitoplanktona (Wetzel, 2001).

Velika količina nutrientov pospešuje eutrofikacijske procese. Dokaz tega je porast biomase primarnih producentov (Flores & Barone, 1998).

Povečanje razpoložljivosti nutrientov pospešuje razvoj specifičnega fitoplanktona. Potek lahko opišemo sledeče:

1. Porast nutrientov spodbuja razvoj primarnih producentov.
2. Ta razvoj v začetku predstavljajo majhne hitro rastoče alge, ki so r- strategji.
3. Majhne vrste preskrbijo vir hrane za filtratorski zooplankton in povzročijo povečanje živalske biomase.
4. Zooplankton s pašo odbira večje alge in prispeva k hitrejšemu recikliranju nutrientov v predelu mešanja.
5. Istočasno porast biomase fitoplanktona spremeni svetlobne razmere v vodi in povzroči zmanjšanje evfotičnega sloja.
6. Večje vrste, ki so prilagojene na pogoste cikle »svetloba/tema«, v združbi dominirajo (Flores & Barone, 1998).

## 2.9.2 Fosfor

Fosfor je esencien element in limitira primarno redukcijo; če ga je dovolj, jo pospešuje. Prisoten je v vseh organizmih (ATP, DNK). Fosfor in evtrofnost sta pojma, ki sta povezana med seboj (Wild s sod., 1971).

Viri fosforja v vodnem okolju so različni. Najdemo tri oblike fosforja. Raztopljen anorganski fosfor - ortofosfat ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) je zelo reaktiven, pride od zunaj in ga težko detektiramo. Partikularno vezan fosfor nastane, ko se ortofosfat veže v organizme. Vezan je v mikrobih, algah, drugih rastlinah in živalih, organskem detritu, adsorbiran na glinene delce, humusne snovi ali na železove hidrokside. Tretja oblika je raztopljen organski fosfor. Trofijo lahko vrednotimo le z vsemi tremi oblikami fosforja (skupen fosfor) (Soballe in Kimmel, 1987).

Kroženje fosforja obsega biološke in geokemične procese. Anorgansko vezan fosfor ( $\text{PO}_4\text{-P}$ ) vežejo primarni producenti, ki so hrana živalim. Zaradi avtolitskih procesov, ki se začnejo takoj po smrti organizmov, je vračanje fosforja zelo hitro. Že v nekaj urah se sprost polovica organsko vezanega fosforja, ki ga organizmi znova vgradijo v svoja telesa. Geokemijsko kroženje kisika je povezano s pretvorbo železa. V zgornjem aerobnem delu usedlin se topna oblika železa  $\text{Fe}^{2+}$  oksidira v netopno obliko  $\text{Fe}^{3+}$ . Oksidacija poteka kemično ali biološko s kemolitoavtotrofnimi železovimi bakterijami. S strjevanjem teh sedimentov nastaja železova ruda.  $\text{PO}_4^{3-}$  se veže s  $\text{Fe}^{3+}$  v  $\text{FePO}_4$  ali pa adsorbira na  $\text{CaCO}_3$  ali druge minerale. Če pade kisikova nasičenost pod 10%, se znova sprošča fosfat in prehaja v vodo (Tarman, 1992).

Izmenjava fosforja med vodo in usedlinami poteka z difuzijo iz sedimentov (fosfor se ponovno reaktivira v vodo), s privzemom v korenine makrofitov iz usedlin ali privzemom

fosforja v nitaste zelene alge. Na kroženje vplivajo tudi bentične živali (Fairchild s sod., 2004).

Med marcem in julijem lahko pride do porasta skupnega fosforja, ker se poleti sprosti iz usedlin plitvih jezer. Sproščanje fosforja je na stiku voda-usedline pospešeno zaradi naraščajočih anoksičnih razmer (Fairchild s sod., 2004).

Človek je z onesnaževanjem zvišal dotok fosforja v jezera, kar povečuje primarno produkcijo alg, njihovo razgrajevanje pa sekundarno onesnaženje. Jezerske usedline z avtohtonim fosforjem povzročajo evtrofnost. Vir fosforja lahko zmanjšamo, vendar traja do deset let, da se evtrofni potencial zmanjša (Wetzel, 2001).

Nizke koncentracije ortofosfata v vodnem okolju pospešujejo razvoj določenih organizmov (diatomeje so indikatorji vod z malo fosforja). Več fosforja potrebujejo zelene alge, cianobakterije pa še več.

### 2.9.3 Dušik

Dušik je esencien element biosfere. Večan je v anorganskih in organskih spojinah. Anorganske oblike dušika, ki so pomembne za biosfero, so raztopljen elementaren dušik, ki pride v vodno okolje pogosto iz atmosfere ali pa je rezultat enega od mikrobioloških procesov, ki je vključen v kroženje dušika (denitrifikacija). Druga oblika je amonijev dušik ( $\text{NH}_4^+$ ), ki je prva stopnja razgradnje dušikovih spojin in je najbolj reducirana oblika dušika. Potem sta to še nitritni ( $\text{NO}_2^-$ ) ter nitratni dušik ( $\text{NO}_3^-$ ), ki je najbolj oksidirana oblika dušika v vodnih okoljih (Wetzel, 2001).

Najpomembnejši vnos dušika v vodno okolje je vezan na cianobakterije s heterocistami, ki imajo sposobnost izrabe elementarnega dušika. Ostali primarni producenti so sposobni asimilirati le nitratni dušik, ki pa ga v določenem obdobju lahko zmanjka. Fiksacija poteka v anoksičnem okolju, ker je encim nitrogenaza, ki to omogoča, aktivna le v anoksiji (Wetzel, 2001).

Amoniak nastaja pri razgradnji organske snovi. Disociiran amonijev ion ( $\text{NH}_4^+$ ) je vir energije za nitrificirajoče bakterije, nedisociiran ( $\text{NH}_4\text{OH}$ ) pa je toksičen. Količina  $\text{NH}_4$  sezonsko variira, ker je nadaljnja pretvorba  $\text{NH}_4^+$  odvisna od temperature in se pozimi skoraj zaustavi. Koncentracije  $\text{NH}_4^+$  se pri nizkem redoks potencialu in razmerah brez kisika vedno povečujejo (Wild s sod., 1971).

Anoksična oksidacija amoniaka je oksidacija z nitritom:  $\text{NH}_4^+ + \text{NO}_2^- \rightarrow \text{N}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$ . V vodnem okolju je ta proces zelo pomemben. To je lahko tudi izguba dušika za vodni ekosistem, ker je elementaren dušik plinast in gre v zrak (Ferrara in Avci, 1982).



Nitrat je hranilna snov za primarne producente. Pri asimilaciji pride do porabe nitrata in vgradnje v organske snovi. Denitrifikacija je proces vključevanja elementarnega dušika v krog v skrajno anoksičnem okolju. Tako v evtrofnih jezerih prihaja do redukcije nitrata. Končen produkt je elementaren dušik (Ferrara in Avci, 1982).

Jezerske rastline so v glavnem potrošniki nitratov in amonijevih soli, nitrit se pojavlja kot vmesni produkt v bakterijski presnovi. Organsko vezan dušik neposredno izkoriščajo praživali. Dušikove soli vstopajo v jezero tudi s pritoki, naplavljanjem z bregov, organskim onesnaževanjem, deževnico, izstopajo pa z odtoki (Tarman, 1992). Amonij je oblika dušika, ki jo fitoplankton lahko najbolj izkoristi (Ferrara in Avci, 1982).

Denitrifikacija je večja pri višjih poletnih temperaturah, resuspendiranju usedlin in spreminjanju redoks stanja na meji med usedlinami in vodo, ki je značilno za polimiktične sisteme (Jensen s sod., 1990). Razlike v vsebnosti dušika so odvisne tudi od razlik v povprečni globini in zadrževalnem času vodnega telesa (Windolf s sod. 1996).

Čeprav je denitrifikacija anoksičen proces in ponavadi ne prevladuje v aerobnih ribnikih, je Hussainy (1979) pokazal, da obstaja značilno diurnalano spreminjanje vsebnosti raztopljenega kisika, ki je zlasti očitno med razbohotenjem fitoplanktona; raztopljen kisik lahko v nočnem času pade na zelo nizko vrednost, kar omogoča potek denitrifikacije.

V večini primerov je porast koncentracije organskega dušika močno povezana s porastom vsebnosti klorofila *a*. Npr. ko je zadrževalni čas najdaljši in vsebnost klorofila *a* najvišja, je koncentracija skupnega amoniaka zmanjšana na zelo nizko vrednost in sočasno s tem pride do naraščanja v koncentraciji nitrita in nitrata (Lai & Lam, 1995).

Zooplankton s pašo fitoplanktona v veliki meri regenerira anorganski dušik. Preko paše se stabilen organski dušik v celicah alg sprost nazaj v vodni stolpec v anorganski obliki, kar lahko povzroči evtrofikacijo v vodnem telesu. Intenzivna paša fitoplanktona, ki je esencialna pri učinkoviti odstranitvi dušika, je lahko za proces čiščenja tudi pogubna (Lai & Lam, 1997).

#### **2.9.4 Kisik**

Z naraščanjem temperature in zniževanjem zračnega tlaka vodotopnost kisika pada. Kisik vstopa v vodo z difuzijo iz zraka in nastaja v vodnem okolju pri fotosintezi. Kisik porabljajo organizmi z dihanjem, del kisika se potroši tudi v neživih oksidativnih reakcijah. V primeru zelo intenzivne fotosinteze, ko prihaja do kisikove prenasičenosti v vodi, difundira ta plin iz vode v ozračje. Ker poteka fotosinteza le ob svetlobi in dihanje podnevi in ponoči, obstaja dnevno-nočno nihanje kisika oz. porast kisika čez dan in upadanje ponoči (Tarman, 1992).

Odsotnost anoksičnih razmer v ribniku lahko podobno kot v drugih plitvih vodnih telesih pripišemo mešanju in preskrbi bentonških prebivalcev s kisikom, ki nastaja pri fotosintezi. Nekateri predeli, ki imajo zmanjšano izmenjavo, so ponoči lahko hipookslični- primer za to je dno z veliko gostoto makrofitov (Payne, 1986).

Kjer se na dnu nabira mnogo organskih odpadkov in je bakterijska potrošnja kisika velika, pogosto zmanjkuje kisika in zavladajo občasno anaerobne razmere (Tarman, 1992).

Evtrofikacija vodi v prekomerno rast makrofitov, kar lahko povzroči nepričakovano zmanjšanje koncentracije raztopljenega kisika v ribniku (Demir & Kirkagac, 2005).

Po intenzivni resuspenziji usedlin lahko zaznamo upad količine kisika (običajno v slojih vode takoj nad dnom). Dobre kisikove razmere v jezeru so v glavnem posledica intenzivne fitoplanktonske fotosinteze in procesov mešanja vode (Giziński s sod., 1997).

### **2.9.5 Ogljik**

Ogljik se lahko nahaja v organskem (partikularen in raztopljen ogljik) in anorganskem detritu ter živih organizmih. Sinteza ogljikovih organskih snovi poteka pretežno preko  $\text{CO}_2$  v vodnem okolju, lahko pa tudi preko hidrogen karbonata ( $\text{HCO}_3^-$ ). Anorganski ogljik je esencielen element. Količina  $\text{CO}_2$  v vodi je odvisna od temperature in plina  $\text{CO}_2$  v atmosferi.  $\text{CO}_2$  se v vodi dobro raztaplja in reagira z vodo, pri čemer nastane šibka ogljikova kislina ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ), ki je neobstoja in disociira v ione:  $\text{H}^+$ ,  $\text{HCO}_3^-$  in  $\text{CO}_3^{2-}$ . Razmerje med temi tremi oblikami ogljika določa pH vrednost. Do biotičnih sprememb  $\text{CO}_2$  pride zaradi fotosinteze (asimilacija; zmanjševanje količine  $\text{CO}_2$ ) in dihanja (produkcija; povečevanje količine  $\text{CO}_2$ ) (Wetzel, 2001).

Salonen in Hammar (2005) sta ugotovila, da zooplanktonski ogljik lahko izvira tudi iz drugega vira in ne nujno iz fitoplanktonske produkcije; izvira lahko iz alohtonih DOM (raztopljena organska snov) in se vsaj deloma prenaša skozi bakterijsko- protozojsko prehranjevalno verigo. Na podlagi opazovanj sta ugotovila, da lahko svetloba večje molekule DOM v vodi razcepi in tako poveča razpoložljivost ogljika v prehranjevalni verigi.

### **2.9.6 Klorofil *a***

Vsebnost klorofila *a* se lahko uporablja za ocenitev fitoplanktonske abundance. Večji in bolj plitvi ribniki imajo za razliko od manjših in bolj globokih ribnikov več klorofila *a*, kar je lahko povezano z okoljskim fosforjem (Fairchild s sod., 2004).

Na klorofil *a* vpliva količina makrofitov in tudi sezona. Višje vrednosti klorofila *a* dobimo pri ribnikih, ki niso prerasli z makrofiti. Koncentracija klorofila *a* narašča od pomladi do poletja (Ruggiero s sod., 2003).

Visoke vsebnosti klorofila *a* v ribniku sovpadajo z daljšim zadrževalnim časom v sistemu. Vsekakor je v vsakem mesecu povprečna vsebnost klorofila *a* v značilni zvezi z zadrževalnim časom sistema. Sezonska spreminjanja raztopljenega kisika in pH imajo podoben vzorec kot vsebnost klorofila *a*. To nam jasno pokaže, da je vsebnost klorofila *a* v ribniku značilno povezana z raztopljenim kisikom (Lai & Lam, 1997).

### **2.9.7 Svetloba**

V vodo prispela svetloba se deloma absorbira in deloma razprši ter razširja po notanosti vodnega telesa. Absorbirani in razpršeni del označimo kot svetlobno ekstinkcijo, njena velikost pa je odvisna od raztopljenih anorganskih in organskih snovi ter suspendiranih delcev. V večini jezer prodre skozi prvi meter vodnega sloja le 40% svetlobe, v nekaterih primerih celo le 2%. Prepustnost v naravnih vodah se spreminja tudi s produkcijo fito- in zooplanktona, saj se s tem povečuje gostota v vodi suspendiranih delcev (Tarman, 1992).

Aktivnost vetra ima pri večjih jezerih pomemben vpliv, medtem ko prosojnost ni tako pomembna. Pri mnogo manjših ribnikih pa ima glavno vlogo prodiranje svetlobe. Tako pride v evtrofnih ribnikih z minimalno prosojnostjo do stratifikacije veliko pogosteje kot pa v plitvih jezerih z enako globino (Fairchild s sod., 2004).

Svetloba na površini se lahko preko dneva spreminja in tako povzroča tudi različno razporeditev alg, kar omogoča različno število mikrohabitatov (Briones s sod., 2002).

Razpoložljivost svetlobe v vodi pogosto uravnava produktivnost fotosinteze in rast organizmov (Wetzel, 2001).

### **2.9.8 Toplotne razmere**

Naravne vode se segrevajo neposredno s sončnimi žarki in absorbcijo infrardeče svetlobe. Vodno telo sprejema toploto tudi od toplejšega zraka in od segrete kamninske podlage. Toplota pa se izgublja iz vode s sevanjem iz površinske plasti, kondukcijo v ozračje ali podlago in izparevanjem. Zaradi presežka sprejemanja nad oddajanjem toplote se v poletnem času toplota v vodnem telesu kopiči. V hladnejšem obdobju toplota potem izhaja v okolico in vpliva na njeno toplotno stanje (Tarman, 1992).

## 2.10 CVETENJE RIBNIKOV

Cvetenje, ki ga povzročajo cianobakterije, je najbolj očitna posledica evtrofikacije vodnih teles (Sirenko, L.A. in Gavrilenko, M., 1978). V obdobju cvetenja ribnika se zgodi naslednje: kalnost vode se poveča, koncentracija O<sub>2</sub> upade, pride do masovnega pogina rib; take razmere omogočijo razvoj patogene mikroflore. Rekreativna uporabnost vodnih teles je zmanjšana. Mnogo vrst cianobakterij proizvaja toksične snovi. Dekompozicija organske snovi in akumulacija reduciranih oblik (H<sub>2</sub>S, NH<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> in druge) v evtrofnih vodnih telesih vplivata na aktivnost vodnega življenja (Gribovskaya, 2003).

Dolgo trajajoče brezveterje in topla obdobja v hiperevtrofnih vodah pogosto povzročijo cvetenje, kjer dominirajo filamentozni cianoprokarioti (Borics s sod., 2000).

Razmere, ki večinoma prispevajo k cvetenju vodnega telesa, so stabilna vertikalna stratifikacija vodnega stolpca, velika osvetljenost nad vodo in visoka temperatura vode, porast biogenega bremena (P in N) v vodnem telesu (razmerje N:P je manjše od 30), intenziven vnos alohtone organske snovi in mikroelementov ter neznatni vpliv porabnikov (zooplankton) (Gribovskaya, 2003).

Cvetenje povzroča ogromno ekonomsko škodo zaradi poslabšanja kvalitete vode, deoksigenacije vode v spodnji plasti, njene toksičnosti, smrdljivega vonja in zmanjšanja estetske vrednosti (Angeline s sod., 1994). Med cianobakterijami so najbolj škodljivi *Anabaena*, *Oscillatoria*, *Nostoc*, *Aphanizomenon*, *Hapalosiphon* in kolonijski *Mycrocystis* (Watanabe s sod., 1996).

Glive, bakterije in protozoji igrajo pomembno vlogo pri dekompoziciji cianobakterijskega cvetenja (Manage s sod., 1999).

Virusna infekcija fitoplanktonskih vrst bi tudi lahko bila pomemben dejavnik, ki omejuje cianobakterijsko cvetenje. Tako je infekcija s cianofagi lahko pomemben faktor pri zmanjševanju cvetenja, ki ga povzroča *Microcystis aeruginosa* (Manage s sod., 1999).

## 2.11 VZDRŽEVANJE RIBNIKA

Glavni dejavniki stabilnosti in zmogljivosti ekosistema so lahko:

1. Kratek zadrževalni čas vode in velika aktivnost vetra, ki vpliva na dinamiko vodne mase.

2. Intenzivna fotosinteza, ki v jezeru omogoča zelo dobre kisikove razmere. V ugodnih kisikovih razmerah so tako alohtone kot avohtone organske snovi podvržene hitri mineralizaciji in dostopnost fosforja v usedlinah je relativno stabilna.
3. Globina vodnega telesa; bolj ko je jezero plitvo, bolj pogosto so njegove usedline podvržene resuspenziji. Za jezera, ki imajo močan pretok, je resuspenzija osnoven mehanizem, ki upočasni povečevanje plitvosti.
4. Umetno poglobljanje je dodaten dejavnik, ki vpliva na stabilnost ekosistema. Tako je velika količina sedimentov odstranjena. Ti postopki upočasnijo procese staranja in vzdržujejo obstoj ribnika (Giziński s sod., 1997).

## 2.12 UMETNO VODNO TELO

Samostojna vodna telesa površinske vode, ki so nastala kot posledica antropogenih fizičnih posegov v okolje na območjih, kjer površinska voda predhodno ni obstajala, so opredeljena kot umetna vodna telesa (Tavzes, R. s sod., Vodna direktiva, 2005).

K občutljivim območjem prištevamo vodna telesa, v katerih je mogoče ugotoviti ali pričakovati evtrofikacijo. Občutljivim vodam določimo še prispevno območje na podlagi hidrografskih razvodnic (Tavzes, R. s sod., Vodna direktiva, 2005).

## 2.13 EKOLOŠKI STATUS

Povzeto iz Directive 2000/60/EC of the European parliament and of the council (2000).

Status (stanje) je splošen izraz za status vodnega telesa površinskih voda, ki je določen z ekološkim in kemijskim statusom vodnega telesa.

Dober status površinske vode pomeni status vodnega telesa površinskih vod, ko sta tako ekološki kot kemijski status vodnega telesa vsaj zadovoljiva.

Ekološki status površinske vode je izraz za kvaliteto zgradbe in delovanja vodnega ekosistema površinskih vod.

Splošne definicije klasifikacij ekološkega statusa:

**Visok status** – na vrednosti fizikalno–kemijskih hidromorfoloških elementov pri vodnih telesih površinskih vod človek ne vpliva, oziroma je njegov vpliv le neznaten.

**Dober status** – vrednosti bioloških elementov vodnih teles površinskih vod so pod vplivom manjših motenj, ki so posledica aktivnosti človeka. Vendar pa se te vrednosti le

malo razlikujejo od vrednosti pri normalnem stanju površinske vode, ki ni pod vplivom motenj.

**Srednji status** – vrednosti bioloških elementov vodnih teles površinskih vod nekoliko odstopajo od vrednosti pri normalnem stanju površinske vode, ki ni pod vplivom motenj. Gre za srednje velike motnje, ki so posledica aktivnosti človeka.

**Slabši status** – pri vrednostih bioloških elementov vodnih teles površinskih vod pride do večjih sprememb, združbe se precej razlikujejo od tistih pri normalnem stanju površinske vode, ki ni pod vplivom motenj.

**Slab status** - pri vrednostih bioloških elementov vodnih teles površinskih vod pride do velikih sprememb, velik delež združb v primerjavi z normalnim stanjem površinske vode, ki ni pod vplivom motenj, manjka.

Elementi kakovosti za klasifikacijo ekološkega statusa ribnika:

- Biološki elementi: sestava, abundanca in biomasa fitoplanktona; sestava in abundanca druge vodne vegetacije; sestava in abundanca bentičnih invertebratov; sestava, abundanca in starostna struktura rib.
- Hidromorfološki elementi: hidrološki režim (pretok vode in njegova dinamika, zadrževalni čas, povezava s podzemnimi vodnimi telesi); morfološke razmere (spremembe globine jezera, sestava in količina usedlin, sestava obale jezera).
- Kemični in fizikalno – kemični elementi: prosojnost, temperaturne razmere, kisikove razmere, slanost, pH, nutrienti, specifični onesnaževalci.

### 3 OPIS LOKACIJE

#### 3.1 HIDROLOGIJA RIBNIKA TIVOLI

Voda, ki polni ribnik, priteka iz vzhodnih pobočij Šišenskega hriba, ki je poraščen z mešanim gozdom in iz parkovnih površin zahodno od ribnika, ki so prekrte s travo ali iz poti prekritih s peskom.

Skupna površina prispevnega območja ribnika znaša 13,51 ha in v celoti leži v KP Tivoli. Večino vodozbirnega območja prekriva gozd (10.11 ha). Celotna funkcionalna površina ribnika meri 6.000 m<sup>2</sup> (Šajn-Slak, A., 2005).

Glede na povprečne letne padavine na območju Ljubljane, ki znašajo 1600 mm in če upoštevamo evapotranspiracijo, je povprečen dotok v ribnik 68.000 m<sup>3</sup> vode. Skupni dotok v ribnik je neposredno odvisen od padavin. Ob intenzivnih padavinah (neurjih) se dotok bistveno poveča. Glede na izhodišča za dimenzioniranje meteorne kanalizacije je ob neurjih z enoletno povratno dobo in časom zbiranja vode med 15 in 30 minut pričakovati dotoke od 0.13 do 0.21m<sup>3</sup>/s (Fazarinc, R., 2006).

Ribnik napajajo naslednji vodotoki:

- Ø Najbolj izrazit in za ribnik najpomembnejši dotok je v severozahodni kot ribnika pri Čolnarni. Ta dotok je najbolj konstanten in najizdatnejši. Po kanalizacijski cevi doteka voda z območja JZ dela Šišenskega hriba. V ta kanal je prav tako speljana voda iz vodohrana. Sam iztok je neurejen in prekrit z lesenim podestom. Ta pritok se je pojavil šele med drugo svetovno vojno (Fazarinc, R., 2006).
- Ø Drugi pritok se nahaja pri severovzhodnem kotu ribnika. V koritu je serija pregrad za zadrževanje plavin. Del območja tega pritoka je zavarovan kot naravni spomenik, ker je tukaj klasično nahajališče evropske gomoljčice (*Pseudostellaria europaea*). Na območju pritoka se pojavlja tudi problem erozije na pobočjih, ki pogloblja strugo in spodkopava pobočje, kar temelji na dejstvu, da je geološka podlaga iz glinastih skrilavcev, ki je slabo odporna proti eroziji. Voda iz tega vodotoka je kanalizirana in po cevi speljana v SV del ribnika. Kot tip vodotoka ima značaj gozdnega potoka (Šajn-Slak, A., 2005).
- Ø Tretji dotok izvira pod platojem, kjer je bil nekdaj letni kino Tivoli. Prvotno, predno je bil takoj po drugi svetovni vojni izdelan plato kina Tivoli, je voda tekla po površju. Izvir je parkovno urejen. Voda je takoj po izviru zajeta in speljana v S del ribnika. Kot tip vodotoka ima značaj gozdnega potoka. Kot obstoječa ureditev je izpeljana regulacija pred vtokom v kanalizacijo (Šajn-Slak, A., 2005).
- Ø V ribnik dotekajo tudi meteorne vode z območja poti, otroškega igrišča in depresij.

Iztok iz ribnika je površinski (preliv). Iztok predstavlja robni pogoj za nivo gladine oziroma globino vode v ribniku. Iztok je nameščen v skrajnem J kotu ribnika in je zaščiten

z rešetko. Prelivni rob je nameščen sorazmerno nizko. Odtok vode se dodatno kontrolira z zapornico, ki jo upravlja VO-KA (Fazarinc, R., 2006).

Glede na razmere je stalna gladina ribnika prenizka, spreminjanja gladine v ribniku pa prevelika, kar je vidno na sledeh ob obali.

Globina vode v ribniku znaša le med 0.5 in 1.3 m (največjo globino doseže le po daljšem obdobju padavin). Tako je tudi volumen vode v njem zelo majhen. Zaradi pomanjkanja hidroloških podatkov je težko oceniti zadrževalni čas vode v ribniku. Groba ocena, narejena na podlagi površine prispevnega območja in povprečne letne količine padavin ter evapotranspiracije pa je, da je zadrževalni čas vode v ribniku 8 do 15 dni, kar bi ribnik uvrščalo med bolj pretočne ribnike. Vendar pa narava ribnika kaže povsem drugo sliko (Šajn-Slak, A., 2005).

### 3.2 BREŽINE RIBNIKA TIVOLI

Brežine ribnika Tivoli so v večjem delu obrasle z vegetacijo. Izjemi sta le omočji Čolnarne in južna brežina, ki ima tlakovano razgledno teraso. Brežine so dokaj strme in erozija na njih je velika. So neurejene in niso vodotesne, saj se vidi, da je gladina vode nižja, kot pa je bilo predvideno (Šajn-Slak, A., 2005).

Na S delu ribnika, kjer so vtoki vode v ribnik, se na brežini nahaja gosta strnjena drevesna in grmovna obrežna zarast, ki preprečuje dostop do vode. Prisotne so avtohtone drevesne vrste, kot so črna jelša (*Alnus glutinosa*), gaber (*Carpinus betulus*), vrba (*Salix* sp.). Grmovna živica pa je zasajena s parkovnimi grmovnicami (Šajn-Slak, A., 2005).

Vzhodna brežina, ki meji na otroško igrišče, je strma. Na stiku z vodno površino so zasajeni gabri (*Carpinus betulus*), ki s koreninami utrjujejo brežino. Na zgornjem robu brežine, kjer je lesena ograja, raste grmovna živica iz češmina (*Berberis* sp.) ter drevored iz divjega kostanja (*Aesculus hippocastanum*). V neposredni bližini brežine je speljana sprehajalna pot, ki meji na otroško igrišče (Šajn-Slak, A., 2005).

Južna brežina je brez vegetacije. Pri sanaciji brežine je bila zgrajena betonska pregrada, ki je premasivna in v prostoru deluje kot vizualna motnja. Problematičen je tudi »napušč« širine 50 cm nad vodno gladino, kar ustvarja dodatne neustrezne pogoje za uspešno rast rastlin. Plato nad južno brežino je tlakovan in deloma zasajen s parkovnimi grmovnimi vrstami (Fazarinc, R., 2006).

Na zahodni brežini z urejeno sprehajalno potjo in čolnarno, so ohranjena večja drevesa doba (*Quercus robur*), črne jelše (*Alnus glutinosa*), velikega jesena (*Fraxinus excelsior*) in vrbe (*Salix* spp.), zasajene pa je bilo tudi nekaj okrasne vegetacije, kar je za parkovne površine običajno. Vmesne vrzeli so večinoma zapolnjene s posameznimi močvirskimi cipresami in raznimi okrasnimi grmi. Velik del brega zavzema Čolnarna, kjer rastja ni.



Brežina je bila utrjena z lesenimi piloti, ki pa niso bili ustrezno zasidrani v brežino, tako da je to obrežno zavarovanje že precej poškodovano. Poleg tega so se na robu zavarovanja razrasle jelše, kar še dodatno obremeni brežino (Šajn-Slak, A., 2005).

Dno je zamuljeno, kar zmanjša globino vode ter poslabša ekološke razmere v ribniku. Zaradi preplitve vode se je razbohotila rast vodnih rastlin in to še dodatno poslabša razmere, predvsem v poletnem času (Fazarinc, R., 2006).



Slika 3: ribnik Tivoli (30.9.2005)



Slika 4: ribnik Tivoli (3.1.2006)

## 4 MATERIAL IN METODE

Vzorčili smo jeseni (10.10.2005), spomladi (30.3.2006) in poleti (22.6.2006). Zimsko vzorčenje smo izpustili, ker je bil ribnik čez zimo zamrznjen. Led na površini se je v celoti stalil šele 20.3.2006.

### 4.1 FIZIKALNI IN KEMIJSKI PARAMETRI

Pri vsakem vzorčenju smo izmerili naslednje parametre: temperaturo, koncentracijo kisika, nasičenost s kisikom, elektroprevodnost, pH, globino vode, Secchijevo globino, ortofosfate, nitrate, sušino in skupne suspendirane snovi (TSS).

#### 4.1.1 Material

Aparature:

- Oksimeter WTW Oxi 197-S
- Konduktometer WTW Cond 330i/SET
- pH meter WTW pH 340i/SET
- spektrofotometer

Reagenti:

- obarjalna raztopina (360 g NaOH, 200 g KI in 5 g NaN<sub>3</sub>, raztopljenih v 1000 mL destilirane vode)
- raztopina manganovega (II) klorida (800 g MnCl<sub>2</sub> x 2H<sub>2</sub>O, raztopljenih v 1000 mL destilirane vode)
- koncentrirana žveplova (VI) kislina (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)
- 0.01 N raztopina natrijevega tiosulfata (Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)
- škrobica (5 g škroba, raztopljenega v 500 mL destilirane vode z dodatkom 30 mL očetne kisline)
- raztopina natrijevega salicilata (C<sub>7</sub>H<sub>5</sub>NaO<sub>3</sub>)
- natrijev hidroksid (NaOH)
- kalijev – natrijev tartrat (C<sub>4</sub>H<sub>4</sub>KNaO<sub>6</sub> x 6H<sub>2</sub>O)
- destilirana voda
- raztopina amonmolibdata (25 g (NH<sub>4</sub>)<sub>6</sub>Mo<sub>7</sub>O<sub>24</sub> x 4H<sub>2</sub>O raztopimo v 175 mL destilirane vode in ji dodamo 280 mL konc. H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> v 400 mL destilirane vode)
- raztopina kositrovega (II) klorida v glicerolu (2.5 g SnCl<sub>2</sub> x H<sub>2</sub>O raztopimo v 100 mL glicerola)

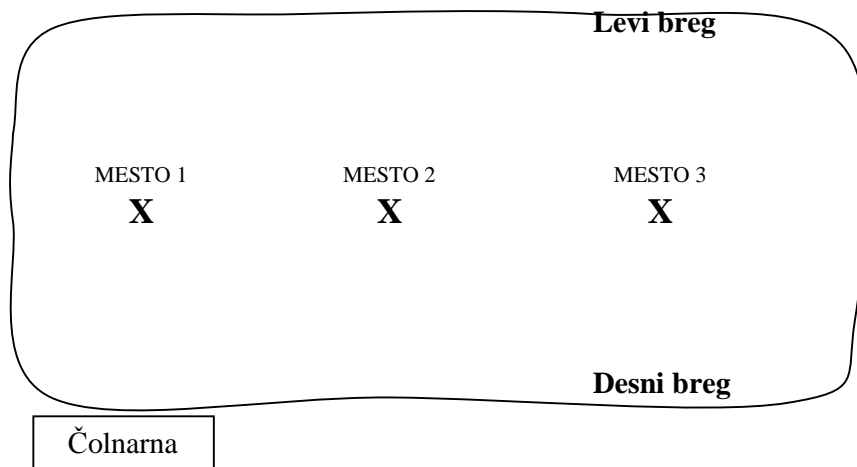
Ostal material:

- čoln
- Winklerjeve steklenice (250 – 300 mL)

- pipete (10 mL) in nastavki za pipetiranje
- termometer
- lesen in kovinski meter
- Secchijeva plošča
- plastične posode za vodo
- steklovina
- steklen filter
- kapalke
- lončki
- eksikator
- sušilnik
- tehtnica

#### 4.1.2 Metode dela

Koncentracijo  $O_2$ , nasičenost z  $O_2$ , elektroprevodnost, pH, globino vode, Secchijevo globino in temperaturo vode smo merili na treh vzorčnih mestih, ki so bila razporejena po sredini jezera v smeri sever – jug.



Slika 5: Vzorčna mesta na ribniku Tivoli

Na desnem bregu (zahodna stran), ki je bil večino dneva v senci in na levem s soncem bolj obsijanem bregu (vzhodna stran) smo merili koncentracijo  $O_2$ , nasičenost z  $O_2$ , temperaturo vode, elektroprevodnost in pH. Ugotavljali smo razliko med senčno in sončno stranjo.

Vzorec vode za ortofosfate ( $PO_4^{3-}$ ), nitrate ( $NO_3^-$ ), sušino, TSS in  $BPK_5$  smo vzeli iz sredine jezera (vzorčno mesto 2). Analizo smo izvedli v laboratoriju.

Ugotavljali smo tudi spreminjanje koncentracije O<sub>2</sub>, nasičenosti z O<sub>2</sub> in temperature preko dneva in sicer zjutraj (ob sončnem vzhodu), opoldne in zvečer (ob sončnem zahodu). Sonce je 10.10.2005 vzšlo ob 7.20 in zašlo ob 18.10, 30.3.2006 je vzšlo ob 6.50, zašlo ob 19.20 in 22.6.2006 je vzšlo ob 5.30 in zašlo ob 20.30. Meritev smo opravili na desnem bregu.

Marca in junija smo na sredini jezera, kjer je voda najbolj globoka, iz čolna izmerili še spreminjanje koncentracije O<sub>2</sub>, nasičenosti z O<sub>2</sub> in temperature v vertikalnem profilu v treh točkah: ob površini (globina 5 cm), na sredini vodnega stolpca in ob usedlinah.

## 4.2 BIOLOŠKA ANALIZA

### 4.2.1 Vzorčenje fito- in zooplanktona

#### 4.2.1.1 Material

Material za terenski del:

- planktonska mreža (20µm)
- plastične posodice za vzorce
- alkoholni marker
- čoln

Material v laboratoriju:

- mikroskop
- krovna in objektna stekelca
- formalin
- določevalni ključi

#### 4.2.1.2 Metode dela

Vzorce planktona za določanje vrstne sestave in pogostosti pojavljanja smo nabirali na treh vzorčnih mestih ribnika. Prvo vzorčno mesto je bilo na sredini ribnika. Tam smo vzorec vzeli tako, da smo planktonsko mrežo vrgli v vodo in ko se je potopila za pol metra, smo jo vlekli za čolnom, ki se je premikal s konstantno hitrostjo v dolžini 10 metrov. Drugo vzorčno mesto je bilo ob desnem bregu pri Čolnarni. Tam smo mrežo vrgli z obale približno 5 metrov daleč, počakali, da se je potopila za pol metra in povlekli nazaj. Mrežo smo vrgli trikrat. Tretje vzorčno mesto je bilo na južnem delu ribnika ob betonski pregradi. Tudi na tem mestu smo mrežo metali z obale in zbrali vzorec iz treh metrov mreže.

Vse vzorce v plastičnih stekleničkah smo odnesli v laboratorij, kjer smo še žive pregledali pod mikroskopom. Nato smo jih fiksirali s formalinom. Pri vsakem fiksiranem vzorcu smo

kasneje še bolj natančno pregledali posamezne podvzorce, določili taksonomske skupine in pogostost.

Plankton smo določili do različnih sistematskih enot (družin, rodov, vrst). Pri tem smo uporabljali naslednje ključe: Streble, H., Krauter, D. (2002), Deisinger, G. (1984), Hindák, F. s sod. (1978) in Ettl, H. s sod. (1986).

## 4.2.2 Vzorčenje makroinvertebratov

### 4.2.2.1 Material

Material na terenu:

- ročna vodna mreža (odprtine 0.5 x 0.5 mm)
- banjice
- vedro
- plastične vrečke za shranjevanje vzorcev
- paus papir
- formalin
- čoln

Material v laboratoriju:

- pinceta
- igla
- lupa
- mikroskop
- vata
- fiole
- paus papir
- 80% alkohol

### 4.2.2.2 Metode dela

Makroinvertebrate smo vzorčili na treh vzorčnih mestih. Prvo vzorčno mesto je bilo na sredini ribnika, kjer smo z mrežo skušali zajeti organizme pod listi blatnika (*Nuphar luteum*). Drugo vzorčno mesto je bilo ob desnem bregu, kjer smo organizme pobirali okoli račje zeli (*Elodea canadensis*). Tretje mesto vzorčenja je bilo ob usedlinah na sredini jezera, kjer površine niso preraščali blatniki. Tam smo organizme pobirali tik ob usedlinah. Šlo je za neko vrsto »kick – sampling« metode, le da smo dvig substrata namesto z brcanjem dosegli z drezanjem daljše palice mreže. Za brcanje je bila voda namreč pregloboka. Dvignjen substrat in živali smo zajeli v ročno mrežo tako, da smo tik ob dnu z mrežo krožili v obliki osmic.

Zajet material smo stresli v banjico in nato material prenesli v plastične vrečke. Že na terenu smo vzorce fiksirali s formalinom.

V laboratoriju smo ves material presortirali tako, da smo živali ločili po nižjih taksonomskih skupinah. Posamezne skupine smo shranili v fijoalice in jih fiksirali v 80% alkoholu. Nato je sledila bolj natančna določitev do družin, rodov in kjer je bilo mogoče do vrst. Pri tem smo za Oligochaeta uporabljali določevalne ključe: Campaioli, S. s sod. (1980), Brinkhurst, R.O. (1971) in Tachet, H. s sod. (1985); za Gastropoda: Glöer, P. (2002); za Ephemeroptera: Elliot, J.M., Humpesch, U.H., Macan, T.T. (1988) ter za Odonata: Gerken, B., Sternberg, K. (1999).

#### **4.2.3 Vzorčenje makrofitov**

Ob vsakem vzorčenju smo naredili popis višjih rastlin v jezeru. Pri emergentnih makrofitih smo tudi skušali ugotoviti, v kakšnem deležu prekrivajo površino ribnika.

Pri določevanju rastlin smo uporabljali ključ: Martinčič, A. s sod. (1999).

#### **4.2.4 Biomasa fitoplanktona, količina klorofila *a***

##### 4.2.4.1 Material

- vzorčevalna posoda
- steklen filter
- steklovina
- alu-folija
- magnetno mešalo
- spektrofotometer

Reagenti:

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

##### 4.2.4.2 Metode dela

Biomaso fitoplanktona smo ocenili s fotosinteznimi barvili oziroma s koncentracijo klorofila *a*. Klorofil *a* je prisoten v večini fotosinteznih organizmov in merjenje količine klorofila je najpogosteje uporabljena metoda za posredno merjenje biomase alg. Za določanje smo uporabili spektrofotometrično metodo.

## 5 REZULTATI

### 5.1 HIDROMORFOLOŠKI PARAMETRI

#### 5.1.1 Morfometrija

Tabela 1: Morfometrija ribnika Tivoli

parameter	
Nadmorska višina (m)	298
Maksimalna dolžina (m)	143,3
Maksimalna širina (m)	50,3
Globina (m)	0,9-1,3
Obseg (m)	368
Površina (m <sup>2</sup> )	6000
Zadrževalni čas (dni)	8-15 (Šajn-Slak, A., 2005)
Volumen (m <sup>3</sup> )	5000-7700

Na osnovi izmerjene globine vode lahko določimo vodnatost vodnega telesa. Breg se povsod dokaj hitro spusti do določenega nivoja in tako ima večji del ribnika enako globino.

Tabela 2: Spreminjanje globine ribnika Tivoli na treh vzorčnih mestih v času vzorčenj

VM	10.10.2005	30.3.2006	22.6.2006
	globina (cm)	globina (cm)	globina (cm)
1	130	109	103
2	120	102	97
3	115	108	92

#### Dolžine stranic ribnika

Severna stran: 50,3 m

Južna stran: 33,0 m

Zahodna stran (desni breg): 141,5 m

Vzhodna stran (levi breg): 143,3 m

#### 5.1.2 Substrat

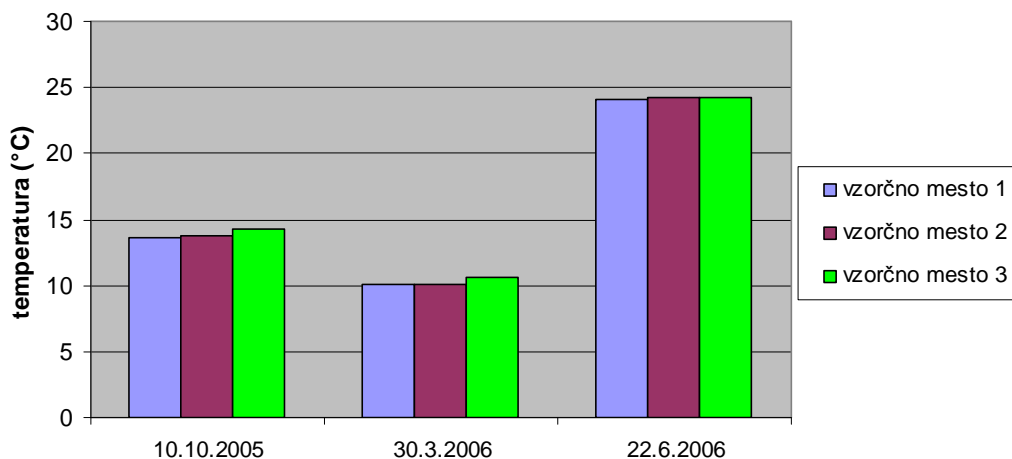
Substrat ima v vodnih ekosistemih pomembno vlogo v kroženju elementov. V ribniku Tivoli je anorganski substrat manjši od 0.006 cm, kar pomeni, da gre za mulj oz. po AQEM za kategorijo agrilal. Organski substrat predstavljajo alge, deli kopenskih rastlin, odpadlo listje, manjši odmrli organski delci...

## 5.2 FIZIKALNO – KEMIJSKI PARAMETRI

### 5.2.1 Temperatura

Temperaturo smo merili na približno 15 cm globine. Povprečna jesenska temperatura je znašala le 13.9 °C. Najnižja temperatura je bila konec marca 10.1°C. Najvišje temperature smo izmerili junija in sicer 24.2 °C. Na vzorčnem mestu 3 so bile pri vseh treh vzorčenjih izmerjene najvišje temperature. To mesto je bilo večina dneva osončeno in mesto se nahaja ravno na drugi strani kot pritoki, ki vodo ohlajajo.

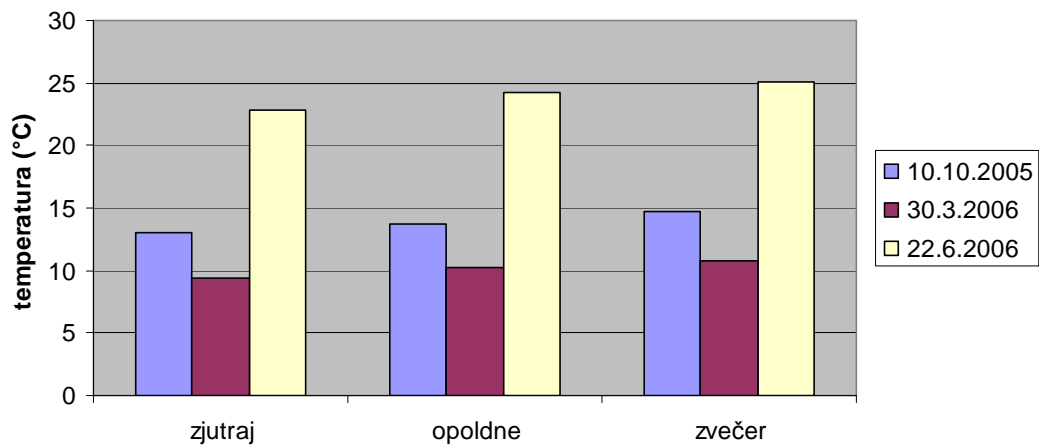
Pri tako majhnem volumnu vode v ribniku in majhni globini so bile temperature vode dokaj podobne temperaturi ozračja.



Slika 6: Temperatura vode v ribniku Tivoli na treh vzorčnih mestih v času vzorčenj

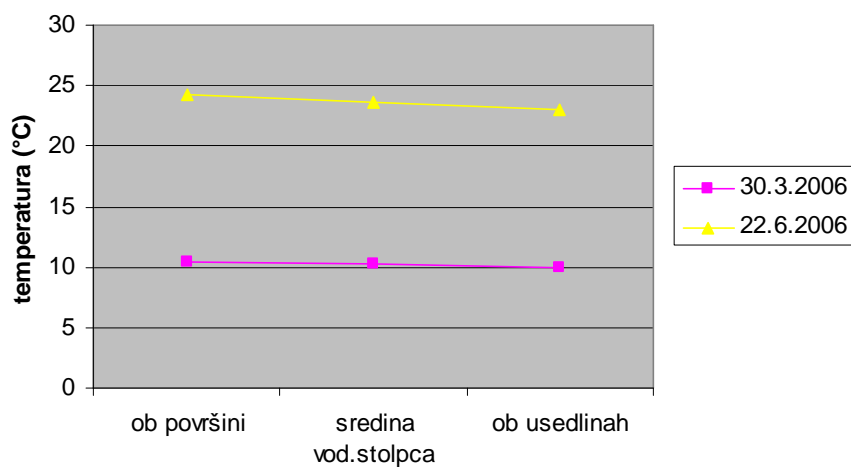
Opazovali smo tudi spreminjanje temperature preko dneva. Merili smo jo ob sončnem vzhodu opoldne in zvečer. Po pričakovanjih so bile najnižje temperature zjutraj in najvišje zvečer. Največjo razliko v temperaturi med sončnim vzhodom in zahodom smo izmerili junija in sicer 2.2°C, najmanjšo razliko pa marca in je znašala 1.4°C.





Slika 7: Spreminjanje temperature vode čez dan v času vzorčenj

Spreminjanje temperature v vertikalnem profilu smo merili marca in junija 2006. To smo merili na sredini ribnika, kjer smo predvidevali, da je voda najbolj globoka. Poleti je bila razlika v temperaturi vode med površino in vodo ob usedlinah  $1.2^{\circ}\text{C}$ , marca pa je ta razlika znašala le  $0.4^{\circ}\text{C}$ .



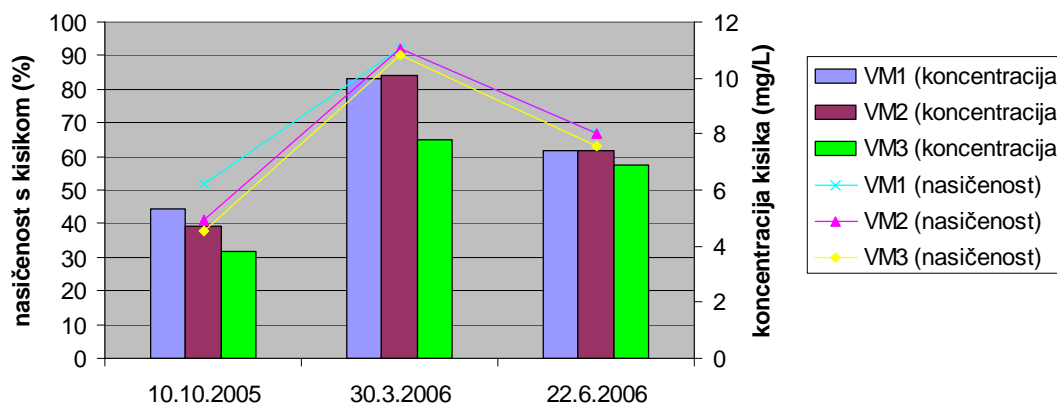
Slika 8: Spreminjanje temperature vode v vertikalnem profilu 30.3. in 22.6.2006

### 5.2.2 Kisikove razmere

Določanje koncentracije kisika je bistveno za oceno kakovosti vode, saj kisik vpliva na skoraj vse biotske procese in kemijske reakcije v vodnih telesih. Spremembe v koncentraciji kisika so lahko zgodnji pokazatelj spremenjenih razmer v vodnih telesih.

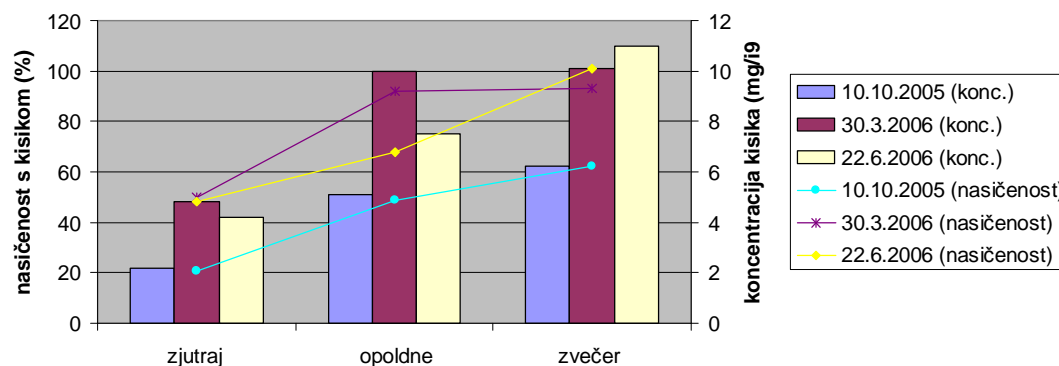
Nasičenost vode s kisikom je odvisna od temperature, zračnega tlaka in koncentracije ionov. Nasičenost lahko čez dan presega 100% v primeru, če je primarna produkcija v vodi večja kot respiracija – takrat govorimo o biogenem prezračevanju. Vrednosti pod 100% nakazujejo višjo respiracijsko aktivnost od fotosinteze.

Vsebnost kisika se je skozi sezono kar precej spreminjala. Najvišje vrednosti kisika smo izmerili marca. V poletnem času smo opazili trend zniževanja koncentracije O<sub>2</sub>, ki se nadaljuje tudi v oktobru. Najvišjo koncentracijo smo izmerili marca na VM 2, najnižjo pa oktobra na VM 3.

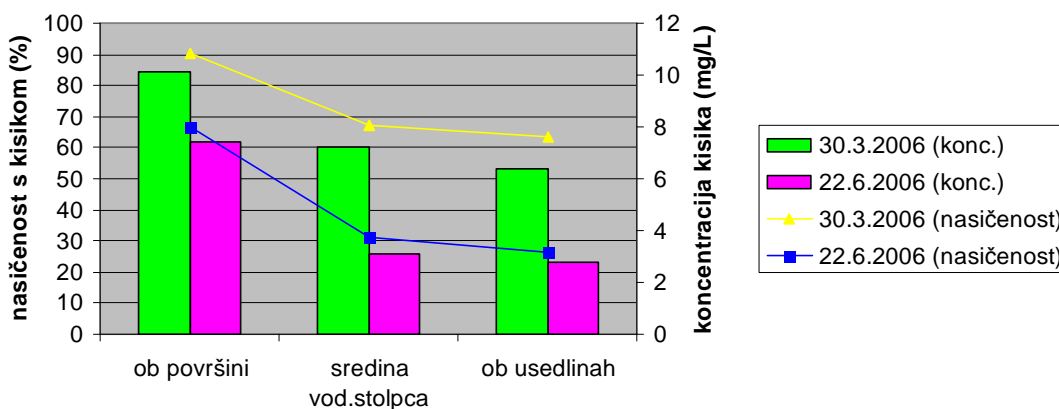


Slika 9: Vsebnost O<sub>2</sub> v ribniku Tivoli na treh vzorčnih mestih v času vzorčenj

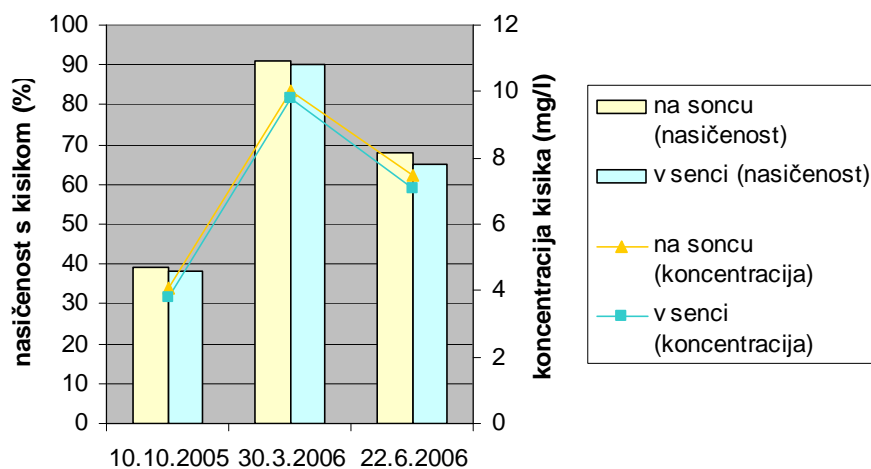
Merjenje koncentracije O<sub>2</sub> in nasičenosti z O<sub>2</sub> čez dan pokaže, da so na vseh treh vzorčnih mestih ob vseh treh vzorčenjih najnižje vsebnosti kisika zjutraj, ki potem preko dneva naraščajo in dosežejo največjo vrednost tik pred sončnim zahodom. Največjo razliko v vsebnosti kisika med jutrom in večerom smo zaznali junija in je znašala 6.8 mg/L oziroma 53%. Zvečer je vrednost koncentracije tudi preseгла 100% (101%), kar pomeni, da je bila primarna produkcija večja od respiracije.

Slika 10: Vsebnosti O<sub>2</sub> v ribniku Tivoli čez dan na treh vzorčnih mestih v času vzorčenja

Koncentracijo O<sub>2</sub> in nasičenost z O<sub>2</sub> v vertikalnem profilu smo merili marca in junija. Vsebnost kisika z naraščajočo globino pada, ravno tako to velja za temperaturo. Razlika med vsebnostjo O<sub>2</sub> vode na površini in vode ob usedlinah je bila poleti večja kot pa spomladi in je znašala 4.6 mg/L oziroma 40%. Kljub temu pa ne moremo govoriti o stratifikaciji ribnika, ker te razlike niso bile tako signifikantne.

Slika 11: Vsebnosti O<sub>2</sub> v ribniku Tivoli po vertikalnem profilu 30.3. in 22.6.2006

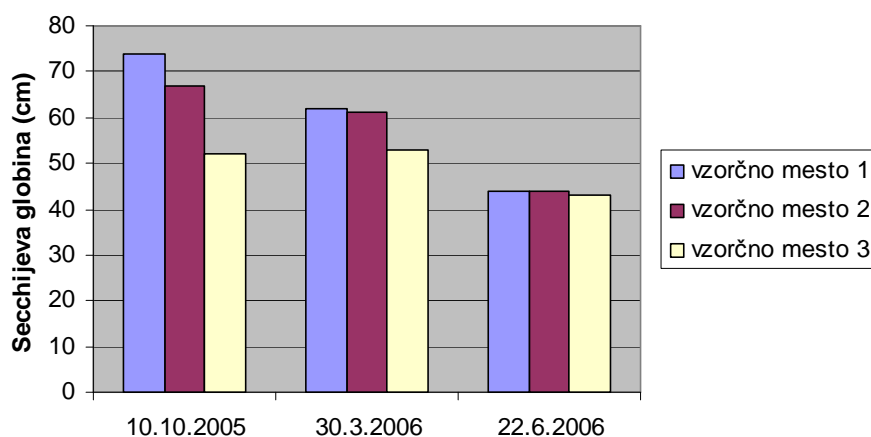
Ugotavljali smo tudi razliko v vsebnosti kisika med osenčenim in osončenim predelom ribnika. Večji del dneva je bila senca ob levem bregu ribnika, zato smo eno meritev opravili tam, drugo meritev pa smo naredili ob desnem – osončenem bregu. Vsakokrat je bila koncentracija O<sub>2</sub> in nasičenost z O<sub>2</sub> višja na predelu obsijanem s soncem. Tudi temperatura vode je bila na soncu višja kot pa v senci, razen 30.3.2006, ko je bila temperatura v senci in na soncu enaka.

Slika 12: Vsebnosti O<sub>2</sub> na osenčenem in osončenem predelu ribnika Tivoli v času vzorčenj

### 5.2.3 Prosojnost - transparenca

Prosojnost merimo s Secchijevo ploščo, s pomočjo katere ocenimo prosojnost na osnovi odboja svetlobe s površine potopljene plošče. Globina, do katere prodre en odstotek vpadne svetlobe, je fotična cona oziroma kompenzacijska ravnina. To je globina, kjer se fotosinteza izenači s dihanjem in predstavlja dvakratno globino Secchijeve plošče.

Najnižje vrednosti Secchijeve globine smo pri vseh treh vzorčenjih dobili na vzorčnem mestu 3. Najmanjša prosojnost je bila junija, največja pa oktobra. Vendar pa se oktobra med posameznimi vzorčnimi mesti spreminja – razlika med VM 1 in VM 3 je kar 22 cm.

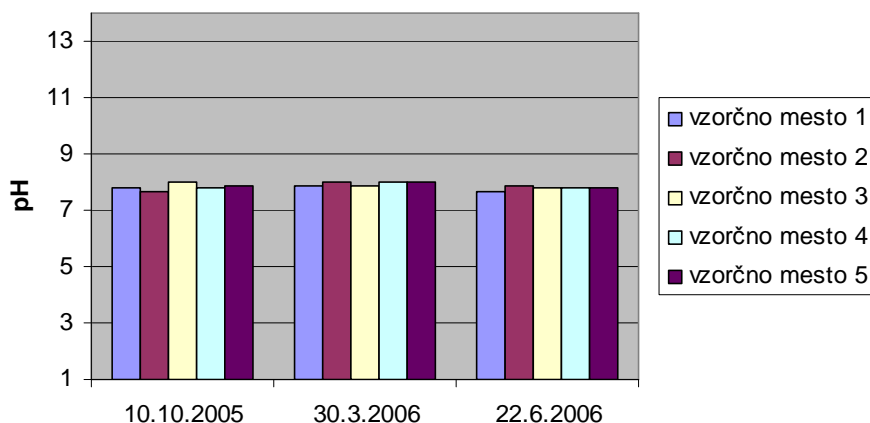


Slika 13: Secchijeva globina v ribniku Tivoli na treh vzorčnih mestih v času vzorčenj

## 5.2.4 pH

pH je definiran kot negativni desetiški logaritem  $H^+$  ionov. pH je najbolj odvisen od prostega  $CO_2$ , ki se lahko dnevno spreminja zaradi fotosintetske aktivnosti in respiracije primarnih producentov. Čim večja je koncentracija  $CO_2$  v vodi, tem manjši je pH. Če pride do pomanjkanja  $CO_2$  v vodi zaradi fotosintetske aktivnosti, se poruši karbonatno ravnotežje. Če so vrednosti višje od 8.5 (bazično), gre ponavadi za eutrofn vodno telo. Takrat je nivo primarne produkcije še posebno visok.

pH smo merili na treh vzorčnih mestih, tako kot ostale parametre, ter na sončnem - desni breg (VM 4) in senčnem predelu – levi breg (VM 5). Med temi mesti ni bilo bistvenih razlik v pH-ju, ki dosega vrednosti od 7.7 do 8.0 in tudi med posameznimi vzorčenji ne zaznamo večjega odstopanja. Vse izmerjene vrednosti pH-ja nakazujejo, da gre za rahlo bazično okolje.

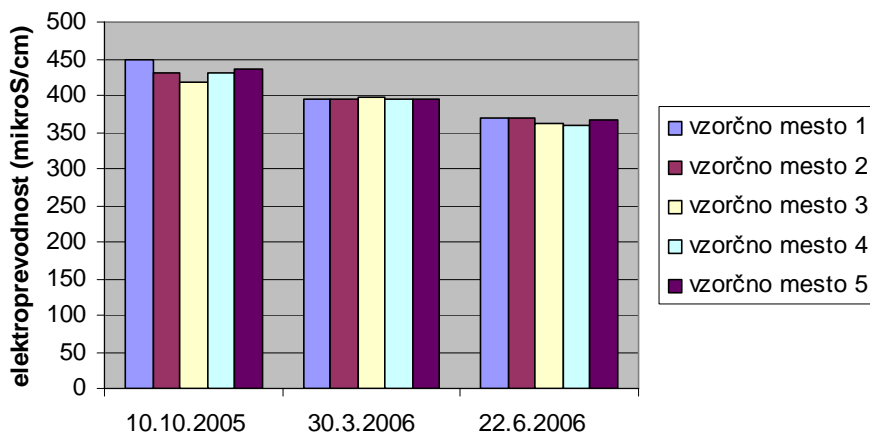


Slika 14: Vrednosti pH-ja v ribniku Tivoli na petih vzorčnih mestih v času vzorčenj

## 5.2.5 Elektroprevodnost

Elektroprevodnost je sposobnost vode, da prevaja električen tok. Odvisna je od temperature raztopine in koncentracije ionov v raztopini ter njihovih značilnosti (stopnja disociiranosti snovi v ione, električen naboj, mobilnost ionov). Bolj ko je vodno telo obremenjeno s hranili, tem višja je prevodnost, ker se z dotokom hranil praviloma poveča količina nabitih delcev (Urbanič, G., Toman, M.J., 2003). K prevodnosti največ prispevajo kalcijevi in bikarbonatni ioni razen v nekaterih obrežnih jezerih, kjer prevladujejo Na in Cl ioni.

Iz povečane prevodnosti lahko sklepamo na obremenjenost vodnega telesa. Med posameznimi vzorčenji je prišlo do opaznih razlik v prevodnosti, medtem ko so bile vrednosti prevodnosti na različnih mestih na dan merite dokaj podobne. Najvišje vrednosti smo izmerili jeseni, kar lahko povežemo z odpadlim listjem, najnižje vrednosti pa junija, ko je bila bioprodukcija najbolj intenzivna.

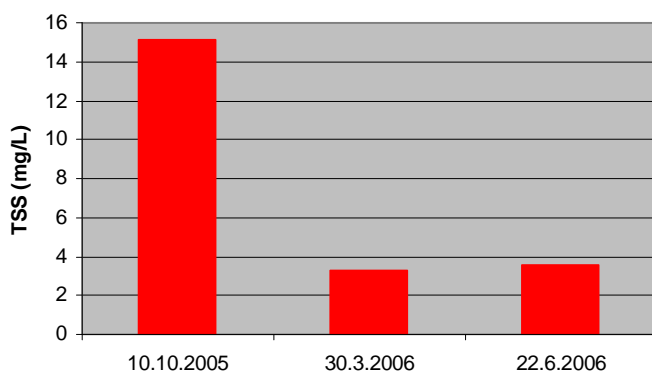


Slika 15: Elektroprevodnost v ribniku Tivoli na petih vzorčnih mestih v času vzorčenj

### 5.2.6 Skupne suspendirane snovi (TSS)

TSS pomeni suho maso snovi, ki jih s filtracijo skozi steklen filter odstranimo iz znanega volumna vodnega vzorca. Prisotnost velikih količin anorganskih delcev negativno deluje na organizme v vodi, ker med njimi in delci prihaja do trenja. Suspendirane snovi pa na organizme delujejo tudi posredno in sicer s povečanjem kalnosti vode in usedanjem. Zmanjšata se primarna produkcija in izraba nutrientov, kar vodi v povečano verjetnost evtrofni procesov v stoječih telesih. Med najpomembnejšimi viri anorganskih suspendiranih snovi je spiranje površine ob nalivih. Organske suspendirane snovi predstavljajo vir hrane za heterotrofne organizme, povečana je respiratorna aktivnost, posledica pa je zniževanje koncentracije raztopljenega kisika in slabšanje kakovosti vode (Urbanič, G., Toman, M.J., 2003).

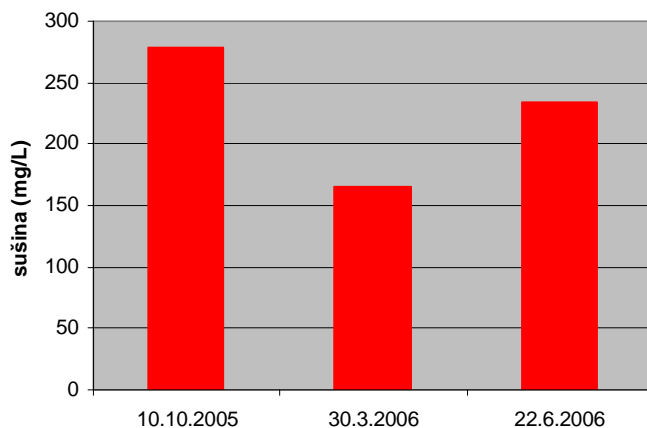
TSS smo merili na enem vzorčnem mestu in sicer na sredini ribnika. Najvišje vrednosti smo dobili oktobra. Oktobrsko vzorčenje je namreč sledilo obilnim jesenskim padavinam, ki so spirale površine in tako povečale količino TSS. Najnižjo vrednost smo izmerili marca.



Slika 16: Skupne suspendirane snovi v ribniku Tivoli v času vzorčenj

### 5.2.7 Sušina

Izraz sušina uporabljamo za snovi, ki ostanejo v posodi po sušenju pri temperaturi 105°C. Sušino sestavljajo TSS in TDS (skupne raztopljene snovi). Dobljena vrednost je le približno enaka skupni količini raztopljenih in suspendiranih snovi v vodi, saj se del karbonatov med sušenjem spremeni v CO<sub>2</sub> (Urbanič, G., Toman, M.J., 2003). Najvišjo vrednost sušine smo določili oktobra, nekaj dni za tem, ko je močno deževalo.



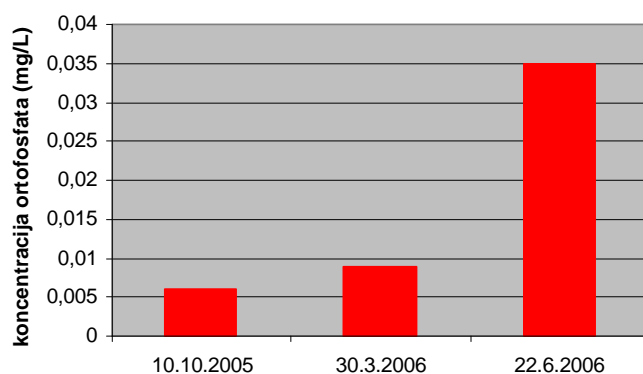
Slika 17: Količina sušine v ribniku Tivoli v času vzorčenj

### 5.2.8 Koncentracija ortofosfatnih ionov

V vodi je fosfor redko prisoten v višjih koncentracijah zaradi aktivnega privzemanja primarnih producentov. Povečane koncentracije pospešujejo produktivnost alg in

evtrofikacijske procese. Ortofosfat je anorganska oblika fosforja, ki jo lahko primarni producenti neposredno uporabljajo. V evtrofnem okolju je fosforja navadno dovolj, vendar je vezan in je tako limitirajoči dejavnik rasti fitoplanktonskih organizmov. Določa tudi stopnjo fotosintetske aktivnosti. Fosfatni ioni so pokazatelji anorganske obremenitve ribnika (Urbanič, G., Toman, M.J., 2003).

Najvišjo vrednost smo izmerili poleti, najnižjo pa jeseni. Vrednost ni nikoli padla pod tisto koncentracijo, ki bi postala omejujoča za rast fitoplanktona. Vrednosti so višje v času nižjega vodostaja.

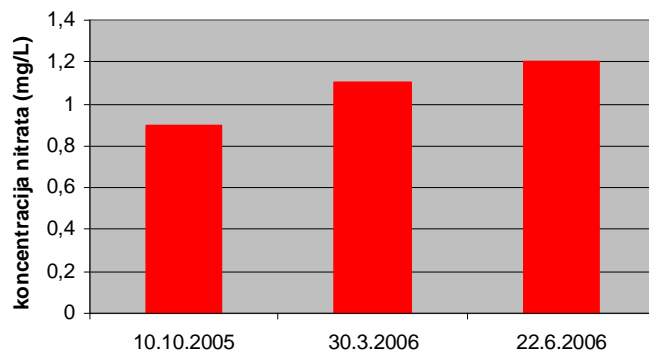


Slika 18: Koncentracije ortofosfata v ribniku Tivoli v času vzorčenj

### 5.2.9 Koncentracija nitratov

Nitratni ion ( $\text{NO}_3^-$ ) je potrebna hranilna snov za fototrofne organizme. Sezonske spremembe nitratov v neonesnaženih vodnih telesih so posledica primarne produkcije in odmiranja organizmov. Vrednosti nad 1 mg/L stimulirajo rast alg, kar nakazuje možne probleme povezane z evtrofnostjo (Urbanič, G., Toman, M.J., 2003). Za zmerno obremenjene vode so značilne koncentracije nitratov do 10 mg/L. Mi smo pri vseh treh vzorčenjih dobili nižjo vrednost. Navišjo koncentracijo  $\text{NO}_3^-$  smo izmerili poleti, kar bi lahko povezali z najnižjo gladino vode. Vendar pa med posameznimi vzorčenji ni bilo velikih razlik.



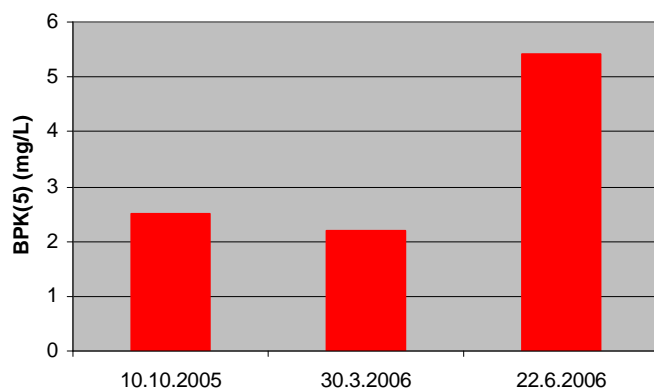


Slika 19: Koncentracije nitratov v ribniku Tivoli v času vzorčenj

### 5.2.10 BPK<sub>5</sub>

Biokemijska poraba kisika (BPK) pomeni količino biokemijsko razgradljivih organskih snovi v vodnem vzorcu in je enaka količini kisika, potrebnega za aerobno razgradnjo organskih snovi v anorganske. BPK<sub>5</sub> pa je biokemijska potreba po kisiku v petih dneh. Vrednosti BPK<sub>5</sub> v neobremenjenih vodotkih znašajo manj kot 2 mg/L (Urbanič, G., Toman, M.J., 2003).

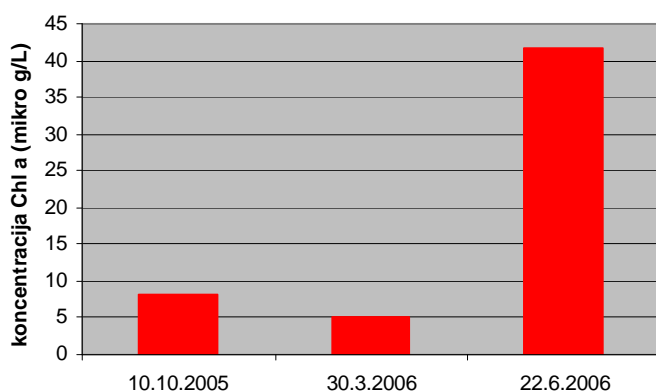
Najvišjo vrednost BPK<sub>5</sub> smo izmerili junija, kar smo tudi pričakovali, saj je takrat tudi bioprodukcija povečana. Vrednosti nad 2 mg/L pokažejo, da gre za obremenjeno vodno telo.

Slika 20: Vrednosti BPK<sub>5</sub> v ribniku Tivoli v času vzorčenj

### 5.2.11 Klorofil *a*

Klorofil *a* je fotosintetski pigment, ki je prisoten v večini fotosintetskih organizmov. Merjenje količine klorofila je najpogosteje uporabljena metoda za posredno merjenje biomase alg in oceno trofičnega stanja vodnega telesa, ki predstavlja intenzivnost izgradnje organskih snovi. Na rast alg vplivajo predvsem prisotnost nutrientov, temperatura in svetloba, to pa potem vpliva na koncentracijo klorofila, ki se lahko spreminja med letom, čez dan in z globino.

Koncentracija klorofila *a* je bila najvišja junija, kar pomeni, da je bila takrat tudi produktivnost rastlinskega planktona največja.



Slika 21: Koncentracija klorofila *a* v ribniku Tivoli v času vzorčenj

## 5.3 BIOLOŠKA ANALIZA

### 5.3.1 Plankton

Združbo planktona smo vzorčevali trikrat – jeseni (10.10.2005), spomladi (30.3.2006) in poleti (22.6.2006), na treh vzorčnih mestih. Prvo vzorčno mesto (VM1) je bilo na sredini ribnika, drugo (VM2) ob desnem bregu pri Čolnarni in tretje vzorčno mesto (VM3) na južnem delu ribnika ob betonski pregradi. Pri vseh vzorčenjih je šlo za horizontalen poteg planktonske mreže. Vzorčili smo le kvalitativno, saj volumen vode pri določenem vzorcu ni bil znan in tako tudi ne bom navajala števila osebkov.

#### 5.3.1.1 Fitoplankton

Fitoplankton ribnika Tivoli zastopajo Cyanophyta (cianobakterije), Chrysophyta (Chrysophyceae – rumene alge in Bacillariophyceae – diatomeje), Euglenophyta

(evglenoidi), Dinophyta (dinofiti) in Chlorophyta (zelene alge). V ribniku smo prepoznali 114 različnih taksonov fitoplanktona. Fitoplankton predstavlja vir hrane za vse ostale trofične nivoje

### 1. Cyanophyta (cianobakterije)

Cianobakterije imajo prokariontsko zgradbo, po čemer se razlikujejo od ostalih skupin. So brez organelov in notranjih celičnih membran, cepitev je mitotična. Večina vrst ima heterociste, s katerimi so sposobne vezati elementaren dušik iz zraka. V primeru da ni svetlobe, lahko uporabljajo preprosto vezan ogljik v organskih snoveh od organizmov, ki propadejo in se tako preživljajo miksotrofno. Večina vrst cianobakterij izloča na površje sluzasto snov (mukuz), ki tvori ovoj. Zato so tudi sorazmerno slaba hrana. Lahko so tudi toksične, kar je dobra strategija v boju z drugimi organizmi. Nekatere se v ugodnih razmerah razmnožujejo zelo hitro in lahko povzročajo cvetenje vodnega telesa. Cianobakterije imajo posebno strategijo nalaganja anorganskega fosforja; intenzivno ga nalagajo v celice, ko pa ga v okolju zmanjka, ga porabijo. V neugodnih razmerah tvorijo trpežne spore (akinete), iz katerih se kasneje razvije nova celica. Cianoficejske vrste dosega največjo abundanco poleti.

To skupino v ribniku Tivoli predstavlja šest taksonov. Pri jesenskem vzorčenju so bili znotraj te skupine najbolj pogosti: *Coelosphaerium sp.*, *Gomphosphaeria sp.* in *Microcystis aeruginosa*, medtem ko je bila pri spomladanskem vzorčenju najbolj pogosta *Oscillatoria sp.* Vrste rodu *Oscillatoria* preferirajo nizko temperaturo, zato smo jo našli v spomladanskih vzorcih. Prevelike intenzitete svetlobe pospešujejo njeno odmiranje. Rod bolje uspeva v organsko obremenjenih vodah. Pri tretjem (poletnem) vzorčenju ne izstopa noben takson. Vrsto *Anabaena flos – aquae* smo zasledili le jeseni. Le-ta ima izrazito oblikovane heterociste, kjer poteka fiksacija. *Microcystis aeruginosa* lahko prostore v celici polni s plinom in fluktuirajo na površino vodnega stolpca. Ni primerna za prehrano in je za večino organizmov toksična, ker vsebuje mikrocistine. Rod *Chroococcus* smo našli jeseni in poleti. To je prostoplavajoča galertasta alga, ki uspeva v evtrofnih jezerih in ribnikih (Streble, Krauter, 2002).

### 2. Chrysophyceae (rumene alge)

Večina predstavnikov te skupine ima negibljive enocelične organizacijske oblike. Mnoge vrste živijo v celinskih vodah ali na vlažni zemlji.

Ta skupino, ki jo je zastopala le vrsta *Dinobryon divergens*, smo zasledili le pri prvem in drugem vzorčenju. Rod *Dinobryon* ima aktivne, gibljive celice in je fakultativno heterotrofen. Če ni dovolj svetlobe oziroma če je veliko raztopljenih organskih snovi, pleni bakterije in diatomeje. Celice lahko tudi fotosintetizirajo, ker ohranijo diatomejske kloroplaste. Ima dihonomno razrast.

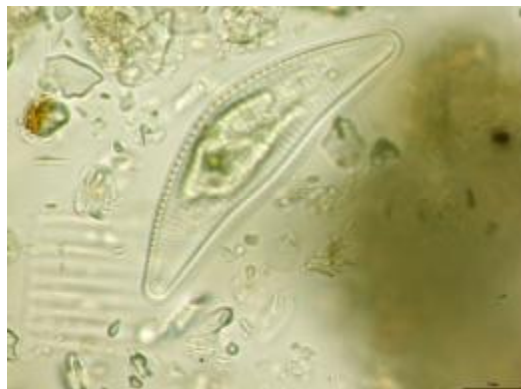
### 3. Bacillariophyceae (diatomeje, kremenaste alge)

Značilnost te skupine so silikatne, s kremenom prepojene celične stene iz dveh delov. Vse vrste so enocelične in večinoma živijo posamič ali pa so izjemoma rahlo povezane z galerto in tvorijo kolonije. Predstavljajo 70% bioprodukcije kisika v biosferi in so zato najpomembnejši fitoplankton. Razmnožujejo se z nespolno celično delitvijo in vsaka hčerinska celica je manjša od materinske. Diatomeje so indikatorji za vode z malo fosforja, razen rodu *Fragilaria*, ki ga potrebuje več.

Diatomeje so v tem ribniku močno zastopane tako po številu vrst kot po številu osebkov. Določili smo 43 različnih taksonov. Največjo diverzitetu in abundanco organizmov smo zaznali pri marčevskem vzorčenju, najmanjšo pa pri junijskem. Jeseni in spomladi je bil najbolj pogost rod *Nitzschia*, pa tudi *Gyrosigma attenuatum*; jeseni je bila pogosta tudi *Cymbella minuta*, spomladi pa *Fragilaria tenera*. Vrsto *Nitzschia palea*, ki je bila najbolj pogosta spomladi, najdemo predvsem v močno obremenjenih vodah. Poleti je bilo diatomej zelo malo, ker imajo vrh konec pomladi, potem pa številčnost upade. Rodova *Fragilaria* in *Stephanodiscus* ter vrsta *Melosira granulata* so indikatorji napredujoče evtrofnosti.



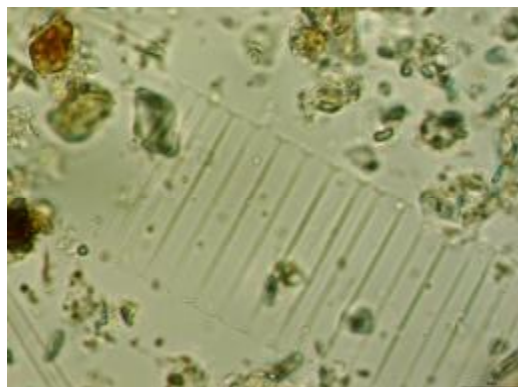
Slika 22: *Cymatopleura solea* (Bacillariophyceae)  
(merilce – 100 µm)



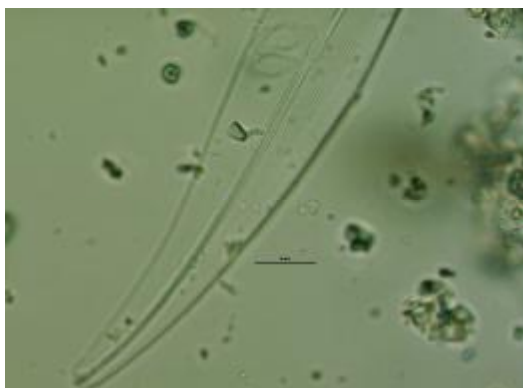
Slika 23: *Cymbella affinis* (Bacillariophyceae)  
(merilce – 10 µm)



Slika 24: *Eunotia arcus* (Bacillariophyceae)  
(merilce – 10 µm)



Slika 25: *Fragilaria construens* (Bacillariophyceae)  
(merilce – 10 µm)



Slika 26: *Gyrosigma attenuatum* (Bacillariophyceae)  
(merilce – 10 µm)



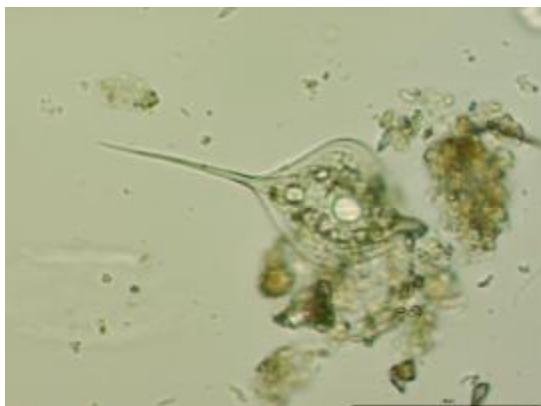
Slika 27: *Navicula scutiformis* (Bacillariophyceae)  
(merilce – 10 µm)

#### 4. Euglenophyta (evglenoidi)

To so večinoma gibljive enocelične alge. Mnogo vrst je brez kloroplastov, zato se prehranjujejo z organsko hrano in so fakultativno heterotrofni. Tako jih najpogosteje najdemo tam, kjer je v vodi mnogo gnijočega organskega materiala. V takem okolju se lahko močno namnožijo in povzročajo cvetenje ter obarvajo vodo zeleno, rdeče ali rjavo. Evglenofitni plankton je indikator za najbolj obremenjena vodna telesa, nahaja se v ribnikih, ki so bogati z dušikom.

Določili smo dva rodova: *Phacus* in *Euglena*. Največ vrst je bilo pri poletnem vzorčenju in sicer tri vrste rodu *Phacus* in štiri vrste *Euglena*. Tudi gostota teh organizmov je bila v primerjavi z jesenskim in spomladanskim vzorčenjem velika. Najmanjša diverziteteta kot tudi abundanca je bila zabeležena pri spomladanskem vzorčenju. Evglenoidi poleti prispevajo tudi k zeleno – rjavi barvi vode. *Phacus* je bil pri poletnem vzorčenju skupaj s

*Pediastrum*-om in *Scenedesmus*-om (zelene alge) združbotvoren, ostale vrste pa so bile sporadične.



Slika 28: *Phacus longicauda* (Euglenophyta)  
(merilce - 50  $\mu\text{m}$ )

### 5. Dinophyta (dinofiti)

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 litoralu ali usedlinah imajo aplanospore in tako preživijo diapavzo.

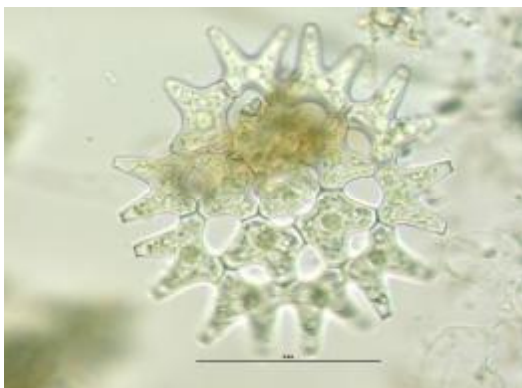
Z razmeroma veliko gostoto so se pri jesenskem vzorčenju pojavili z vrsto *Peridinium cinctum*, ki je bila tudi združbotvorna. Ta vrsta je prvo opozorilo, da prihaja do porasta hranilnih snovi v vodnem telesu. Oklepljeni so s ploščicami iz hitina, celuloze in polisaharidov. Lahko so brez kloroplastov in požirajo druge organizme. V poletnem vzorcu pa smo se srečali z vrsto *Ceratium hirudinella*. Njegove spore jeseni tonejo v usedline, kjer preživijo zimo, spomladi ob višjih temperaturah pa se dvigajo v vodnem stolpcu. Zato jih pri spomladanskem vzorčenju nismo našli, ker so bile temperature še prenizke. Poleg temperature so pomembne tudi hranilne snovi in svetloba. Pri tem rodu zasledimo sezonski polimorfizem.

### 6. Chlorophyta (zelene alge)

Zelene alge so morfološko heterogena skupina planktonskih alg. Po številu vrst so med vsemi skupinami alg najštevilčnejše. Imajo vegetativno delitev, ki je omejena na nočni čas. Ločimo tri skupine in sicer Volvocales, ki so pretežno kolonijske in so predstavniki

manjših vodnih teles. Druga skupina so solitarni Chlorococcales (*Scenedesmus*, *Ankistrodesmus*, *Selenastrum*, *Pediastrum*), ki so tako avtotrofi kot tudi fakultativni heterotrofi in lahko v okolju preživijo nekaj dni brez svetlobe. Tretja skupina so Desmidiiales (*Staurastrum*, *Cosmarium*, *Closterium*), ki so značilni predstavniki mehkih vod. Predstavniki planktonskih zelenih alg, večjih od 20  $\mu\text{m}$ , so kolonijski bičkarji in enocelične flagelatne oblike. Gibanje jim omogoča bivanje v idealnih svetlobnih razmerah. Neugodne razmere preživijo v obliki zigospore med usedlinami.

Pri vseh treh vzorčenjih smo določili 53 vrst v okviru 19 rodov. Največ vrst je bilo pri poletnem vzorčenju (48), kar smo pri tej skupini tudi pričakovali. Med njimi so bile najbolj pogoste *Scenedesmus tetracerum*, *S. acutus*, *S. longispina*, *S. quadricauda* ter *Pediastrum duplex*, *P. gracillimum*, *P. simplex*, *P. sturmi* in rod *Coelastrum*. Pri poletnem vzorčenju je bila tudi abundanca največja. Pri jesenskem vzorčenju smo določili 36 vrst, med katerimi je bil bolj pogost *Pediastrum duplex*, *P. gracillimum*, *P. simplex*, *P. sturmi*, *Coelastrum astroideum* in *Scenedesmus quadricauda*. Najmanj vrst smo našli pri spomladanskem vzorčenju in sicer 29, kjer sta bili najbolj pogosti vrsti *Pediastrum duplex* in *Gonium sp.* Rod *Pediastrum* je pogost fitoplankton v ribnikih in lužah. Vrste rodu *Scenedesmus* so razširjene po vsem svetu in živijo v skoraj vsaki stoječi ali počasi tekoči celinski vodi. Tudi rod *Coelastrum* je značilen predstavnik stoječih vod. Klorokokalen plankton (*Scenedesmus*, *Pediastrum*, ...) se pojavlja v tistih vodnih okoljih, kjer je večja organska obremenitev in veliko hranilnih snovi oziroma ta plankton najdemo v primeru eutrofnosti.



Slika 29: *Pediastrum duplex* (Chlorophyta)  
(merilce – 50  $\mu\text{m}$ )



Slika 30: *Pediastrum gracillimum* (Chlorophyta)  
(merilce – 50  $\mu\text{m}$ )

Tabela 3: Taksonomska sestava fitoplanktona v ribniku Tivoli

VM SKUPINA	10.10.2005			30.3.2006			22.6.2006		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
<b>Cyanophyta</b>									
<i>Anabaena flos-aquae</i>	-	-	1	-	-	-	-	-	-
<i>Chroococcus</i> sp.	-	1	1	-	-	-	1	-	-
<i>Coelosphaerium</i> sp.	1	3	3	-	-	-	1	-	1
<i>Gomphosphaeria</i> sp.	-	3	-	-	-	-	-	-	-
<i>Microcystis aeruginosa</i>	-	3	1	-	1	1	1	1	1
<i>Oscillatoria</i> sp.	1	1	1	3	3	3	1	1	1
<b>Chrysophyta</b>									
<b>Chrysophyceae</b>									
<i>Dinobryon divergens</i>	-	1	1	1	1	1	-	-	-
<b>Bacillariophyceae</b>									
<i>Achnanthes</i> sp.	-	-	-	1	1	1	-	-	-
<i>Amphora</i> sp.	-	-	-	1	-	-	-	-	-
<i>Aulacoseira italica</i>	1	-	1	1	1	-	-	-	-
<i>Cyclotella</i> sp.	1	1	-	1	1	1	-	-	-
<i>Cymatopleura solea</i>	-	-	-	1	-	-	-	-	-
<i>Cymbella</i> sp.	1	1	1	1	1	1	1	-	-
<i>C. affinis</i>	-	1	1	1	1	1	-	-	1
<i>C. ehrenbergii</i>	1	1	1	1	1	1	-	-	-
<i>C. lanceolata</i>	1	-	-	1	1	-	-	-	-
<i>C. minuta</i>	3	1	1	-	-	-	-	-	-
<i>C. silesiaca</i>	1	-	1	1	1	-	-	-	-
<i>C. ventricosa</i>	1	1	1	-	1	1	-	-	-
<i>Eunotia arcus</i>	1	-	1	1	1	1	-	-	-
<i>E. lunaris</i>	-	1	-	-	-	-	-	-	-
<i>Fragilaria</i> sp.	-	-	-	1	1	1	-	-	-
<i>F. capucina</i>	1	1	1	1	-	1	1	1	1
<i>F. construens</i>	1	1	-	1	-	-	-	-	-
<i>F. crotonensis</i>	-	-	-	-	1	-	-	-	-
<i>F. ulna</i>	1	1	1	1	1	1	-	-	-
<i>F. tenera</i>	-	-	-	1	3	1	-	-	1
<i>Gomphonema</i> sp.	-	1	1	1	1	-	1	-	-
<i>G. angustum</i>	-	-	-	-	1	-	-	-	-
<i>G. augur</i>	1	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>G. truncatum</i>	-	1	-	-	-	-	-	-	-
<i>Gyrosigma</i> sp.	-	-	-	-	1	1	-	1	1
<i>G. attenuatum</i>	1	5	3	3	1	1	1	1	1
<i>G. spencerii</i>	-	-	-	-	1	-	-	-	-
<i>Melosira granulata</i>	-	-	-	-	-	-	1	-	-
<i>Meridion circulare</i>	1	1	1	1	1	1	-	-	-
<i>Navicula</i> sp.	1	1	1	1	1	1	1	1	-
<i>N. cuspidata</i>	1	-	-	-	-	1	-	-	-
<i>N. scutiformis</i>	1	1	-	-	-	-	-	-	-
<i>N. trivialis</i>	-	-	-	1	1	-	-	-	-
<i>Nitzschia</i> sp.	3	5	3	3	3	1	-	-	-
<i>N. frustulum</i>	-	-	-	1	-	1	-	-	-
<i>N. palea</i>	1	-	1	1	1	1	-	-	-



<i>N. sigmoidea</i>	-	-	-	1	1	1	-	-	-
<i>N. sinuata</i>	3	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Pinnularia sp.</i>	-	-	-	-	-	-	1	1	1
<i>Stephanodiscus sp.</i>	1	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Surirella sp.</i>	-	-	-	-	1	-	1	-	1
<i>Synedra sp.</i>	1	1	1	-	-	-	1	-	-
<i>S. ulna</i>	1	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Tabellaria fenestrata</i>	-	-	-	-	-	-	-	1	-
<b>Euglenophyta</b>									
<i>Phacus sp.</i>	-	1	1	-	-	-	-	-	-
<i>P. longicauda</i>	1	3	1	-	-	1	3	3	1
<i>P. pleuronectes</i>	-	-	1	-	-	1	3	1	1
<i>P. tortus</i>	1	1	1	-	-	-	1	1	3
<i>Euglena sp.</i>	1	1	3	1	1	-	1	1	1
<i>E. oxyurus</i>	-	-	-	-	-	-	1	-	1
<i>E. peranema</i>	-	-	-	-	-	-	1	1	-
<i>E. viridis</i>	-	-	-	-	-	-	1	-	1
<b>Dinophyta</b>									
<i>Ceratium hirudinella</i>	-	-	-	-	-	-	-	1	1
<i>Peridinium cinctum</i>	3	3	3	-	-	-	-	-	-
<b>Chlorophyta</b>									
<i>Ankistrodesmus angustus</i>	-	-	-	-	1	1	1	-	-
<i>A. falcatus</i>	-	-	-	1	-	1	1	-	1
<i>Chlorococcum sp.</i>	1	1	-	1	1	1	1	1	1
<i>Closterium sp.</i>	-	-	-	-	-	-	-	1	-
<i>Coelastrum sp.</i>	-	1	-	-	-	-	3	1	1
<i>C. astroideum</i>	1	1	3	-	1	-	-	1	-
<i>C. cambricum</i>	-	-	-	-	-	-	1	1	1
<i>C. microporum</i>	-	-	-	-	1	-	3	-	1
<i>C. pseudomicroporum</i>	1	-	-	1	1	-	1	1	1
<i>C. reticulatum</i>	-	1	1	-	-	-	-	-	-
<i>Coenocystis plantonica</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	1
<i>Cosmarium sp.</i>	1	-	-	-	-	-	1	1	-
<i>Crucigenia rectangularis</i>	-	-	1	-	-	-	-	1	1
<i>Gonium sp.</i>	-	-	-	3	3	1	-	-	-
<i>Oocystis lacustris</i>	-	-	-	-	-	-	1	1	1
<i>Pediastrum spp.</i>	-	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>P. angulosum</i>	-	1	-	-	-	-	-	-	-
<i>P. boryanum</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>P. clathratum</i>	-	1	1	-	-	-	1	1	1
<i>P. duplex</i>	3	3	3	3	3	1	1	1	1
<i>P. gracillimum</i>	1	1	3	1	1	-	3	3	5
<i>P. simplex</i>	1	1	3	1	1	1	3	3	3
<i>P. sturmii</i>	1	1	3	1	1	1	1	1	3
<i>P. tetras</i>	1	1	1	-	1	-	1	1	1
<i>Peridiniopsis penardii</i>	-	1	-	-	-	-	-	-	-
<i>Scenedesmus sp.</i>	-	1	1	1	1	1	-	-	1
<i>S. acuminatus</i>	1	-	-	-	-	1	1	1	1
<i>S. acutus</i>	1	1	1	-	-	1	1	3	1
<i>S. armatus</i>	-	-	1	-	1	1	1	1	1
<i>S. bijugatus</i>	-	-	-	-	1	1	1	1	1

<i>S. brasilensis</i>	-	-	-	-	-	1	-	1	1
<i>S. denticulatus</i>	-	-	1	-	-	-	1	-	1
<i>S. disciformis</i>	-	1	1	-	1	-	1	-	1
<i>S. ecornis</i>	-	-	-	-	-	1	-	-	-
<i>S. longispina</i>	-	-	-	-	1	-	1	3	1
<i>S. obliquus</i>	-	-	1	-	-	1	1	1	-
<i>S. opoliensis</i>	-	1	-	-	-	-	1	-	-
<i>S. securiformis</i>	-	-	-	-	-	-	1	1	1
<i>S. tenuispina</i>	1	1	1	-	1	-	1	-	1
<i>S. quadricauda</i>	3	1	1	1	1	1	1	1	3
<i>Selenastrum sp.</i>	-	-	1	1	-	-	1	-	-
<i>S. dejectum</i>	-	-	-	-	-	-	-	1	-
<i>Sorastrum spinulosum</i>	-	1	-	-	-	-	-	-	-
<i>Staurastrum sp.</i>	1	1	-	-	-	-	-	-	-
<i>S. gracile</i>	-	-	-	-	-	-	1	-	-
<i>S. paradoxum</i>	-	-	1	-	-	-	1	-	1
<i>S. polymorphum</i>	-	-	-	-	-	-	1	-	-
<i>S. tetracerum</i>	-	1	1	-	-	-	5	5	5
<i>Tetraedron sp.</i>	-	-	-	-	-	-	1	1	1
<i>T. caudatum</i>	1	1	-	-	-	-	1	-	-
<i>T. minimum</i>	-	-	1	-	-	-	1	1	1
<i>Tetrastrum glabrum</i>	-	-	-	-	-	1	1	-	-
<i>Zygnema sp.</i>	1	1	1	1	1	-	1	-	1

Lestvica pogostosti organizmov v vzorcih:

Redko – 1

Srednje pogosto – 3

Zelo pogosto – 5

Vzorčno mesto 1: sredina ribnika

Vzorčno mesto 2: desni breg ob Čolnarni

Vzorčno mesto 3: južni del ribnika ob betonski pregradi

### 5.3.1.2 Zooplankton

Za zooplankton so značilne horizontalne in vertikalne migracije. Vertikalna gibanja so največkrat povezana s pašo, z begom pred plenilci in z obrambo pred močno svetlobo, zato se poleti selijo v večje globine. Zooplankton je prvi nivo nad fitoplanktonom in bakterioplanktonom in se prehranjuje s pašo, filtracijo in plenilstvom. Vezan je na določeno plast vode, ker se seli za hrano. Običajno gre ponoči v višje plasti vode, ker je tam hranilna vrednost alg večja. V ribniku Tivoli smo prepoznali 35 različnih taksonov zooplanktona, ki pripadajo naslednjim skupinam: Protozoa (Rhizopoda in Ciliata), Rotatoria, Crustacea (Phyllopora, Copepoda in Branchiura), Nematoda, Tardigrada in Oligochaeta. Ciliati, rizopodi in insektske larve samo del življenjskega cikla preživijo v

planktonu, preostali del pa v bentosu, so meroplanktoni. Se intenzivno vertikalno gibljejo od usedlin proti površini vode in nazaj.

### 1. Rhizopoda (korenonožci)

To je skupina praživali, ki ima posebne organele- psevdopodije, s katerimi se premikajo in sprejemajo hrano. Ti izrastki so spremenljivih oblik. Lahko imajo lupinico iz apnenca, ki ima odprtine za psevdopodije. Prehranjujejo se z drugimi protozoji, bakterijami in fitoplanktonom. Pri vseh treh vzorčenjih je bil edini predstavnih rizopodov rod *Diffflugia*, ki je imel predvsem pri spomladanskem in poletnem vzorcu veliko abundanco. *Diffflugia* sodi med lupinaste amebe, ki tvorijo enodelne lupinice iz organskega materiala. Je meroplankton in je zelo pogost v vseh vodah, razen v močvirjih. Zimo preživi v obliki cist med usedlinami, ob povišanju temperature pa se preseli v vodni stolpec. Dvigne se s pomočjo sinteze olj v celici in produkcijo plina, ki se ujame v teko in vzgon tako dvigne organizem.

### 2. Ciliata (migetalkarji)

Migetalkarji so najobsežnejša skupina praživali. Telo imajo obdano z migetalkami. Hranijo se z bakterijami in drugimi mikroorganizmi. Pri konjugaciji tvorijo ciste, s pomočjo katerih lahko preživijo zmrzovanje ali vroče poletje. Z nespolnim razmnoževanjem lahko dosežejo veliko gostoto. Ciliati so abundantni v plitvih evtrofnih jezerih oziroma ribnikih. Do maksimalne biomase protozojskega zooplanktona (Rhizopoda, Ciliata) pride po odmiranju alg in ob povečanju bakterijskih populacij. V ribniku Tivoli so bili Ciliati pri poletnem vzorčenju popolnoma odsotni. Največ smo jih lahko zasledili pri marčevskem vzorčenju in sicer devet vrst. Zelo pogosti so bili predstavniki iz skupine Holotricha. Le-ti so bili tudi edini, ki smo jih našli v vzorcih tudi jeseni.

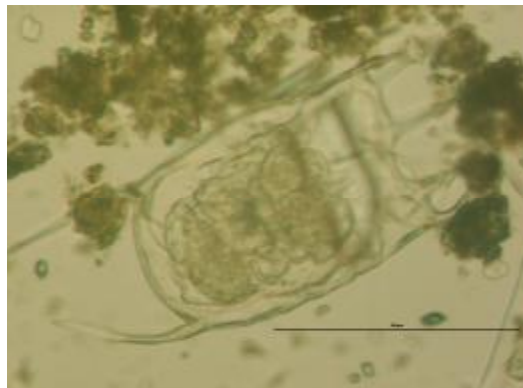
### 3. Rotatoria (kotačniki)

Kotačniki so manjše živali, pretežno manjše od milimetra. V vodnih ekosistemih so pomemben člen prehranjevalnih verig. Na sprednjem delu telesa imajo kotačni organ iz vencev migetak. Ta organ jim služi kot pomoč pri prehranjevanju ali plavanju. Ustni del se nadaljuje v mastaks (čeljust), s katerim drobijo in selekcionirajo hrano. Neužitno hrano izločijo hkrati z delom užitne hrane in na ta način pospešujejo mikrobo kolonizacijo organskih delcev. Razmnožujejo se partenogenetsko, neugodne razmere pa vodijo v spolno razmnoževanje, pri katerem se razvijejo velika odporna jajca, ki preživijo diapavzo. Za rotatorije so značilne ciklomorfoze. Preko dneva v vodnem stolpcu migrirajo s pomočjo korone (*Brachionus*) ali z mišičastimi stranskimi izrastki (*Polyarthra*, *Keratella*).

V ribniku smo največ predstavnikov zasledili pri spomladanskem vzorčenju, tudi vrstna diverziteteta je bila takrat največja. V tem vzorcu smo določili osem vrst rotatorijev, med katerimi je bila najbolj abundanten rod *Polyarthra*. Najmanj vrst smo našli poleti.



Slika 31: *Keratella cochlearis* (Rotatoria)  
(merilce – 50 µm)



Slika 32: *Keratella quadrata* (Rotatoria)  
(merilce – 100 µm)

#### 4. Crustacea (raki)

##### Phyllopoda (listonožci)

Med njimi so najbolj razširjena skupina Cladocera (vodne bolhe), ki živijo planktonsko. Imajo dobro ločljivo glavo z velikim sestavljenim očesom in dolge druge antene, ki so namenjene gibanju. Razmnožujejo se s partenogenezo, samice nosijo jajca v marsupiju. Število jajc je odvisno od temperature, kisika ter pestrosti in razpoložljivosti hrane. Jeseni in pozimi pride do prekinitve partenogenetskega razmnoževanja, pojavijo se samci, ki oplodijo haploidna jajca in razvijejo se odporni efipiji. Kisik in hrano si ti rakci dovajajo z vrtnčenjem vode, ki ga omogoča utripanje nog. So tipični filtratorji in sodelujejo pri bistrenju stoječih vodnih teles. So pomembna hrana ribjim mladim. Razvit imajo sezonski polimorfizem. Povečana eutrofikacija jezer v začetku pomeni več kladocer, ko pa se poveča abundanca cianoficej, pride do upada števila kladocer. 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.

Največ vrst (6) smo zasledili pri jesenskem vzorčenju, medtem ko je bila abundanca vodnih bolh največja spomladi in poleti. Spomladi sta se množično pojavili vrsti *Ceriodaphnia reticulata* in *Chydorus sp.*, poleti pa vrsta *Daphnia longispina*.

##### Copepoda (ceponožci)

To so majhni, pretežno planktonski organizmi. Običajno imajo eno samo ličinkino oko. Imajo samo spolno razmnoževanje, značilen je spolni dimorfizem. Samice nosijo jajčeca v eni ali dveh vrečkah ob zadku. Imajo dva tipa oplojenih jajc. Iz jajca z mehko lupino se razvije nesegmentiran navplij, s trpežnim jajcem s trdo lupino pa v usedlinah preživijo

diapavzo. V celinskih vodah so zelo številčni in zato pomembni v prehranjevalnih spletih. So značilni plenici in plenijo kladocere, različne larve, rotatorije, kopepode, lahko pa so tudi herbivorni. Vrsti *Cryptocyclops bicolor* in *Cyclops sp.* sta bili prisotni pri vseh treh vzorčenjih. V jesenskem vzorcu smo določili tudi vrsti *Macrocyclus sp.* in *Thermocyclops oithonoides*. Skozi vse leto je bila v vzorcih prisotna tudi ličinka – navplij.



Slika 33: kopepodni navplij (merilce – 100 µm)

#### Branchiura

To so majhni ribji zajedavci, okoli ust imajo stilete za sesanje. So dokaj dobri plavalci, ker ne parazitirajo ves čas. Zasledili smo eno samo vrsto in sicer v oktobrskem vzorcu (*Argulus foliaceus*).

#### 5. Nematoda (gliste)

Večina jih živi na prostem, zlasti v bivališčih, kjer je malo kisika. Glave nimajo posebej izoblikovane. Mnoge gliste sodelujejo pri razgradnji gnijočih organskih snovi v tleh ali vodah in so skupaj z bakterijami in glivami najpomembnejši razkrojevalci. Predstavnike te skupine smo našli v jesenskih in spomladanskih vzorcih, vendar pa jih nismo znali nadalje določiti.

#### 6. Tardigrada

To so majhni segmentirani mnogočlenarji. Veliki so od 0.1-1.5 mm in imajo osem nog. Značilnost sta dva apnenčasta stileta pred ustno odprtino, ki jih uporabljajo za prebadanje hrane, preden jo izsesajo. Večina tardigradov je fitofagov ali bakteriofagov, nekateri pa so predatorji. Enega predstavnika smo našli le pri spomladanskem vzorčenju na sredini ribnika.



<b>Nematoda</b>	1	-	-	1	1	-	-	-	-
<b>Tardigrada</b>	-	-	-	1	-	-	-	-	-
<b>Oligochaeta</b>									
<i>Nais sp.</i>	-	1	-	-	1	-	-	-	-

Lestvica pogostosti organizmov v vzorcih:

Redko – 1

Srednje pogosto – 3

Zelo pogosto – 5

Vzorčno mesto 1: sredina ribnika

Vzorčno mesto 2: desni breg ob Čolnarni

Vzorčno mesto 3: južni del ribnika ob betonski pregradi

### 5.3.2 Makroinvertebrati

Makroinvertebrate smo vzorčili trikrat in sicer z mrežo pod listi blatnikov (VM 1), pri bregu okrog račje zeli (VM 2) in ob usedlinah (VM 3). Organizmi, ki smo jih zajeli z mrežo, pripadajo naslednjim skupinam: Gastropoda, Bivalvia, Oligochaeta, Hirudinea, Insecta – larve (Ephemeroptera, Odonata, Trichoptera, Diptera).

#### 1. Gastropoda (polži)

Za večino polžev je značilen zasukan drobovnjak, posledica pa je tudi zavita hišica. Na površini strgače rastlinojedih polžev so običajno številni zobci. S strgačo na drobno nastrgajo hrano. Pri plenilcih pa je spremenjena. Večina polžev je hermafroditov. V vzorcih smo našli 4 različne vrste. Pri jesenskem in spomladanskem vzorcu so bili osebki premajhni, da bi lahko natančno določili vrsto. Ugotovili smo, da gre za družino Planorbidae, osebki pa bi lahko spadali tako v rod *Ancylus* kot v rod *Ferrissia*. Največ polžev smo našli pri oktobrskem vzorčenju in sicer na vzorčnem mestu pod listi blatnikov. To se nam je zdelo razumljivo, saj se polži pogosto zadržujejo na površinah rastlin, ker objedajo epifitsko združbo na njih.

#### 2. Bivalvia (školjke)

To so mehkužci z dvodelno lupino, ki ščiti telo. Imajo dobro razvito sekirasto oblikovano nogo; z njo se zakopavajo v podlago in počasi lazijo v njej. Školjke so filtratorji in se prehranjujejo s filtriranjem hranilnih delcev iz vode. Pri tem imajo škrge poleg dihalne funkcije še vlogo cedila. Pri poletnem vzorčenju smo na tretjem vzorčnem mestu našli en osebek, ki pa je bil premajhen, da bi ga bolj natančno določili.

### 3. Oligochaeta (maloščetinci)

Oligoheti so v pozitivni korelaciji z evtrofnostjo. Prehranjujejo se z detritom in so neobčutljivi na raztopljen kisik. Potrebujemo veliko organskega detrita. So najpomembnejši detritovori, ker mešajo vodo in vplivajo na izmenjavo snovi. Bolj ko je ribnik evtrofen, večja je številčnost oligohetov. Zelo abundantna je bila družina Naididae z vrstami *Ophidonais serpentina*, *Slavina appendiculata*, *Nais spp.*, nekoliko manj pa je bilo osebkov vrste *Chaetogaster langi*. Pri vseh vzorčenjih je bil najštevilčnejši rod *Nais*, predvsem pa pri poletnem vzorčenju, sledi mu vrsta *Ophidonais serpentina*. Glede na mesto vzorčenja smo največ organizmov našli okrog račje zeli, najmanj pa jih je bilo ob usedlinah. Vendar pa so bili ob usedlinah še vedno najbolj pogosta skupina.

### 4. Hirudinea (pijavke)

V evoluciji so zgubile ščetine. Spredaj in zadaj imajo priseseke. Večina pijavk je plenilcev, ki pogoltnejo svoj plen ali pa ga najprej ubijejo in nato izsesajo njegove telesne sokove. Število pijavk je v pozitivni korelaciji z majhno Secchijevo globino. Nizka Secchijeva vrednost pomeni veliko suspendiranih snovi oziroma sestona, kar predstavlja hrano hironomidom in oligohetom, ki so hrana pijavkam. V ribniku Tivoli smo našli vrsto *Erpobdella stagnalis* le pri spomladanskem vzorčenju in sicer pod listi blatnikov. Ta vrsta se prehranjuje predvsem z oligoheti, turbelariji, polži, juvenilnimi efemeropteri,... Uspešnost prehranjevanja je odvisna od velikosti in koncentracije plena.

### 5. Ephemeroptera (enodnevnice)

Ličinke enodnevnice živijo v vodi in dihajo s trahealnimi škrkami, ki so na zadku. Na koncu zadka so običajno še tri dolgi, nitasti izrastki. Ličinka živi več let, odrasla enodnevnica pa le nekaj dni ali ur. Znotraj te skupine smo v ribniku določili le dva taksona, ker niso tipični predstavniki stoječih vod. Vrsta *Cloeon dipterum* je bila bolj abundantna, predvsem je izstopala pri jesenskem vzorčenju in vrsta *Caenis sp.*, ki je pri poletnem vzorčenju nismo zasledili.

### 6. Odonata (kačji pastirji)

Ličinke kačjih pastirjev so vodne. So izraziti plenilci, ki svoj plen zagrabijo z lovilno krinko – spremenjeno in zložljivo spodnjo ustno. Makrofitit predstavljajo za te organizme primaren življenjski prostor. So pomemben plen za mlade ribe. Našli smo predstavnike dveh vrst: *Enallagma cyathigerum* in *Coenagrion puella*, vendar pa nobena od teh vrst ni bila pogosta. Pri dveh osebkih pa nismo znali določiti vrste, ker sta bila premajhna.



## 7. Trichoptera (mladoletnice)

Ličinke živijo v celinskih vodah. Večina vrst si iz drobnega materiala ponavadi zgradi v tulce. Zasedili smo le enega predstavnika mladoletnic iz skupine Limnephilinae. Ker je bil osebek juvenilen, ga nismo mogli bolj natančno določiti. V ribnik je po vsej verjetnosti prišel z driftom, ker se ta poddružina zadržuje v manjših potokih in ni značilna za stoječa vodna telesa.

## 8. Diptera (dvokrilci)

Ličinke dvokrilcev so brez nog. Mnogo ličink dvokrilcev živi v mulju celinskih voda ali v gnijoči podlagi. V ribniku so se pojavljali predstavniki treh družin: Chironomidae, Ceratopogonidae in Dixidae. Najbolj pogosti so bili organizmi iz družine Chironomidae. Na račun glikogena lahko ti organizmi tri mesece preživijo v anoksiji in vršijo anaeroben metabolizem pretvorbe glikogena v mlečno kislino. Družina Chironomidae je za določanje do vrste zelo težavna, zato smo organizme določili le do nižjih taksonomskih skupin. Za skupino Chironomus plumosus, ki je bila bolj pogosta spomladi, velja, da se zadržuje tam, kjer je močna organska obremenitev, ki je rezultat evtrofnosti. Tako je indikatorska skupina za stoječa vodna telesa, ki prehajajao v anoksijo in imajo manj kot 50% nasičenost. Preživi pri nizkih koncentracijah kisika. Največje vrstno bogastvo in številčnost smo zaznali pri poletnem vzorčenju, največ pa jih je bilo pod listi blatnikov in okoli račje zeli. Pri vseh treh vzorčenjih so bili vedno najmanj številčni ob usedlinah. Najmanjšo abundanco so dosegli jeseni, vendar pa je bila takrat vrstna diverzitetata dokaj visoka. Predstavnike družin Ceratopogonidae in Dixidae smo našli le pri poletnem vzorčenju.

Tabela 5: Taksonomska sestava makroinvertebratov v ribniku Tivoli

VM SKUPINA	10.10.2005			30.3.2006			22.6.2006		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
<b><u>Mollusca</u></b>									
<b>Gastropoda</b>									
Planorbidae									
<i>Ancylus/ Ferrissia</i>	1	1	-	-	-	-	1	1	1
<i>Hippeutis complanatus</i>	-	-	-	1	-	-	-	-	-
Physidae									
<i>Physella acuta</i>	-	-	-	1	-	-	-	-	-
<b>Bivalvia</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	1
<b><u>Annelida</u></b>									
<b>Oligochaeta</b>									
Naididae									
<i>Nais spp.</i>	1	5	1	3	3	1	3	5	1
<i>Ophidonais serpentina</i>	-	3	-	3	1	1	1	3	1
<i>Slavina appendiculata</i>	-	1	-	1	-	-	-	-	-
<i>Chaetogaster langi</i>	-	3	-	1	3	-	1	1	1

Tubificidae (brez ščetin)	-	1	1	1	1	1	-	-	1
Tubificidae (s ščetinami)	-	-	-	-	-	1	-	-	1
<b>Hirudinea</b>									
Erpobdellidae									
<i>Erpobdella stagnalis</i>	-	-	-	1	-	-	-	-	-
<b>Insecta</b>									
<b>Ephemeroptera</b>									
Baetidae									
<i>Cloeon dipterum</i>	1	3	-	1	1	-	3	1	1
Caenidae									
<i>Caenis sp.</i>	1	-	-	1	-	-	-	-	-
<b>Odonata</b>									
Coenagrionidae									
<i>Enallagma cyathigerum</i>	-	1	-	-	1	1	1	-	-
<i>Coenagrion puella</i>	-	-	-	-	-	-	1	-	-
<b>Trichoptera</b>									
Limnephilidae									
Limnephilinae	-	1	-	-	-	-	-	-	-
<b>Diptera</b>									
Chironomidae									
Tanypodinae	-	-	1	-	-	-	-	-	1
Orthoclaadiinae	-	1	-	3	5	1	1	1	1
Orthoclaadiinae – buba	-	1	-	1	1	1	-	-	-
Chironomini	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Chironomini - buba	-	-	-	-	-	-	-	-	1
Tanytarsini	-	1	-	3	3	1	1	1	1
Tanytarsini – buba	-	1	-	3	3	1	-	-	-
skupina Chironomus plumosus	-	-	-	1	1	-	-	-	1
Ceratopogonidae									
Ceratopogoninae	-	-	-	-	-	-	1	-	-
Dixidae									
<i>Dixella sp.</i>	-	-	-	-	-	-	-	1	-

Lestvica pogostosti organizmov v vzorcih:

Redko – 1

Srednje pogosto – 3

Zelo pogosto - 5

Vzorčno mesto 1: vzorčenje z mrežo pod listi blatnikov (*Nuphar luteum*)

Vzorčno mesto 2: vzorčenje pri bregu okrog račje zeli (*Elodea canadensis*)

Vzorčno mesto 3: usedline

### 5.3.3 Makrofiti

V ribniku smo pri vseh treh vzorčenjih zaznali le dve vrsti višjih vodnih rastlin. To sta bili:

*Nuphar luteum* (blatnik) in

*Elodea canadensis* (račja zel).

Emergentni makrofiti v ribniku izboljšajo pogoje za sedimentacijo suspendiranih delcev, predstavljajo površino, na katero se naselijo mikrobi (ki so poglaviti nosilci čiščenja predvsem dušikovih spojin), privzemajo hranilne snovi, uvajajo kisik v rizosfero, kar omogoča aerobno razgradnjo organske snovi in nitrifikacijo, ustvarjajo življenjski prostor za druge organizme, vplivajo na mikroklimo ter dajejo ribniku estetsko vrednost. Natantne rastlinske vrste poleg tega, da privzemajo hranilne snovi iz vode in nudijo substrat za naselitev mikrobov, senčijo vodno površino in na ta način kontrolirajo razvoj alg, kar zmanjšuje koncentracijo suspendiranih snovi v vodi (Šajn-Slak, A., 2005)

Blatniki so emergentni makrofiti, ki so se razraščali čez površino ribnika in koreninili v zamuljenem litoral. Jeseni in poleti so prekrivali skoraj tretjino površine ribnika. Pri spomladanskem vzorčenju pa se še niso razrastli po površini, ker se je komaj deset dni pred tem stopil led v ribniku.

Račja zel je submerzen makrofit in se je razraščala bolj ob bregovih ribnika. Njeno rast stimulira evtrofnost.

#### 5.4 OPREDELITEV VPLIVOV NA EKOLOŠKI STATUS RIBNIKA TIVOLI GLEDE NA TROFIČNOST

Vpliv na ekološki status ribnika je bil opredeljen na podlagi obstoječih podatkov o trofičnosti jezer. Trofičnost jezer se ocenjuje po OECD kriterijih (OECD,1982), ki so prikazani v spodnji tabeli (Tavzes, R. s sod., Vodna direktiva, 2005).

Tabela 6: Trofične vrednosti za jezera po OECD kriterijih

Trofične kategorije	Povprečna letna konc. klorofila <i>a</i> (µg/L)	Maksimalna konc. klorofila <i>a</i> (µg/L)	Povprečna letna prosojnost (Secch. plošča) (m)	Minimalna nasičenost vode s kisikom (%)
ULTRAOLIGOTROFNO	<1	<2,5	>12	<90
OLIGOTROFNO	<2,5	<8	>6	<80
MEZOTROFNO	2,5-8	8-25	6-3	40-89
EVOTROFNO	8-25	25-75	3-1,5	10-40
HIPEREVTROFNO	>25	>75	<1,5	0-10

Iz tabele lahko razberemo, da ribnik Tivoli na podlagi povprečne letne Secchijeve globine uvrščamo v skupino hiperevtrofnih vodnih teles ter glede na povprečno letno in maksimalno koncentracijo klorofila *a* in minimalno nasičenost vode s kisikom v skupino evtrofnih vodnih teles.

## **6 RAZPRAVA IN SKLEPI**

### **6.1 RAZPRAVA**

#### **6.1.1 Abiotski dejavniki**

Ribnik Tivoli je majhen in plitev. Breg se dokaj strmo spušča v vodo, na južnem delu je betonska pregrada. Pri izbiri mest za vzorčenje smo upoštevali princip različnosti mikrohabitatom.

##### **6.1.1.1 Globina**

Globina ribnika se je med tremi vzorčnji spreminjala zaradi hidroloških danosti, kotanja namreč prepušča vodo. Pričakovali smo, da bomo v obdobju z manj padavinami izmerili manjšo globino in res je bila globina najnižja junija. Zaradi višjih temperatur je bilo tudi izhlapevanje vode večje. Globina po celotni površini ribnika je dokaj enotna, bregovi se strmo spustijo do maksimalne globine. Enostavno je bilo izračunati volumen, ker ima ribnik obliko štirikotnika. Volumen znaša od 5000 do 7700 m<sup>3</sup>. V primerjavi z meritvami, ki so že bile narejene na tem ribniku, smo izmerili povprečno za 20 cm večjo globino, zato smo tudi pri izračunu volumna dobili višjo vrednost. Razlike v globini so se pojavile zato, ker smo jesenske meritve opravili po obilnem deževju, spomladanske po taljenju snega, pred poletnimi meritvami pa tudi ni bilo daljšega sušnega obdobja.

##### **6.1.1.2 Substrat**

Anorganski substrat v ribniku v večji meri predstavlja mulj. Pri revitalizaciji ribnika bi bilo nujno potrebno ta mulj odstraniti. Velik problem v ribniku pa je tudi navzočnost organskega substrata, predvsem listja jeseni. Ribnik namreč obdajajo listopadna drevesa in to listje pomeni za tako majhno vodno telo veliko organsko breme in obenem osnoven vir substrata razgrajevalcem.

##### **6.1.1.3 Temperatura**

Glavni dejavniki, ki oblikujejo temperaturni režim ribnika, so morfometrija (volumen, globina), kratek zadrževalni čas, prisojna lega, nadmorska višina in letni čas. Ker je ribnik dokaj zaprt ekosistem, je posreden vpliv vetrov na temperaturo manjši. Voda se segreva neposredno s sončnimi žarki. V vodi se radiacijska energija razprši in pretvarja v toploto.

Ker je ribnik plitev, je temperatura vode ob vseh meritvah sledila temperaturi ozračja. Spomladi smo temperaturo vode merili deset dni po tem, ko se je stopil led. V teh desetih dneh je temperatura vode dosegla 10.6°C. Pri poletnem vzorčenju je temperatura vode dosegla 24.2°C. Predvidevamo lahko, da je temperatura vode čez poletje še naraščala in

dosegla blizu 30°C, ker se je tudi ozračje čez poletje še ogrevalo. Jeseni sta se temperatura vode in ozračja znižali.

Razliko v temperaturi smo ugotavljali tudi preko dneva. Največjo razliko med jutrom in večerom smo izmerili poleti. Razlog je bil v tem, ker je bila v tem času tudi v ozračju največja razlika v temperaturi med dnevom in nočjo.

Ker ima ribnik kratek zadrževalni čas vode in majhno globino, ki omogoča mešanje vode po vertikali, ne pride do poletne stratifikacije. Poleti je bila razlika v temperaturi med površino in usedlinami le 1.2°C, spomladi pa komaj 0.4°C, ker je takrat voda še bolj premešana.

#### 6.1.1.4 Kisik

Kisikove razmere se v ribniku sezonsko spreminjajo in so direktno povezane s termiko. Najnižje vrednosti smo izmerili oktobra, najvišje pa junija.

Kisik vstopa v vodno okolje z difuzijo, velik je vpliv turbulence. V primeru ribnika Tivoli turbulenca ne igra pomembne vloge, saj ni večjih pritokov, manjši je tudi vpliv vetra. Koncentracija kisika je odvisna predvsem od prispevka primarnih producentov, torej od biogenega prezračevanja. Kisik se v vodi raztaplja, topnost je odvisna od temperature, tlaka in koncentracije ionov v vodi.

Podobno kot pri vertikalnem merjenju temperature tudi pri koncentraciji in nasičenosti s kisikom ni prišlo do večjih razlik v vrednostih med različnimi globinami. Največjo razliko med površino in usedlinami smo po pričkovanjih izmerili poleti, vendar pa do anoksije v vodnem delu ni prišlo. Vodnim organizmom pa v tem obdobju lahko primanjkuje kisika.

Spremembe v vsebnosti O<sub>2</sub> smo merili tudi čez dan. Najnižja koncentracija oziroma nasičenost je bila zjutraj, vrednosti so preko dneva naraščale in dosegle maksimalno vrednost pred sončnim zahodom. Junija je koncentracija O<sub>2</sub> zvečer rahlo preseгла 100%, kar pomeni, da je bila v tistem času primarna produkcija večja od respiracije, torej je šlo za biogeni vnos.

#### 6.1.1.5 Prosojnost

Svetloba, ki prodre v vodo, se na molekulah absorbira in razprši. Posledica je zmanjševanje količine svetlobe z globino ter spremenjen svetlobni spekter. Prosojnost smo merili s Secchijevo ploščo. Najmanjšo vrednost smo zabeležili junija, največjo pa oktobra. Poleti smo dobili nizke vrednosti, ker je velika produkcija planktona zmanjšala prosojnost. Poleg tega pa je bil tudi dotok sveže vode manjši in tako nižja globina.

#### 6.1.1.6 pH

pH se skozi sezono ni bistveno spreminjal in je znašal od 7.7 do 8.0. Torej gre le za rahlo bazično okolje.

#### 6.1.1.7 Elektroprevodnost

Najvišje vrednosti prevodnosti smo izmerili jeseni. Takrat je prišlo do intenzivne razgradnje odpadlega listja, ki ga je bilo v ribniku veliko. Zaradi nizkih temperatur in majhne intenzitete svetlobe v tem času je bila bioprodukcija majhna. Najnižje vrednosti smo zabeležili junija, ker je bila takrat bioprodukcija najbolj intenzivna. Tudi padavine zaradi učinka redčenja zmanjšujejo koncentracije ionov.

#### 6.1.1.8 Skupne suspendirane snovi (TSS)

Do največjega povečanja količine anorganskih suspendiranih snovi pride pri spiranju površine ob obilnem deževju oziroma nalivih. To se je izkazalo tudi v našem primeru, saj smo najvišjo vrednost TSS dobili oktobra, ko je nekaj dni pred vzorčenjem še močno deževalo. Dež je odnašal anorganski material iz okolice v ribnik, tako se je povečala tudi kalnost vode. Posledica je bila manjša produkcija in povečana koncentracija hranil v vodi. Najnižjo vrednost smo izmerili marca.

#### 6.1.1.9 Koncentracija ortofosfatnih ionov

Fosfor je v vodnih ekosistemih zelo pomemben, saj omejuje biološko produkcijo. Nahaja se v obliki partikularnega in raztopljenega fosfata. Primarni producenti lahko privzemajo edino raztopljeno obliko fosforja, to je ortofosfat. Za organizme je neuporaben tudi fosfor, ki je vezan v sediment.

Najvišjo vrednost ortofosfata smo izmerili junija, ko je bila gladina vode najnižja. Najnižjo vrednost pa smo izmerili oktobra in sicer 0.006 mg/L. V nobenem primeru vrednost ni padla pod mejo, ki bi bila omejujoča za rast fitoplanktona.

#### 6.1.1.10 Nitratni ioni

Dušik vstopa v vodo s spiranjem kmetijskih in erozijskih površin, z difuzijo iz atmosfere, s fiksacijo dušika s cianobakterijami, s padavinami in razgradnjo organskih snovi. Največji porabniki nitratov in amonijevih soli so rastline.

V ribniku Tivoli lahko spreminjanje koncentracije skozi sezono med drugim pojasnimo s spreminjanjem količine volumna vode in izpiranjem zaradi padavin. Najvišja koncentracija nitratov je sovpadala z najnižjim vodostajem pri junijskem vzorčenju in je znašala 1.2

mg/L. Višja koncentracija nitratov poleti je lahko tudi posledica večje razgradnje organskega materiala.

#### 6.1.1.11 BPK<sub>5</sub>

BPK pomeni količino kisika, ki se v vodi porablja za biokemijsko razgradnjo organskih snovi. Poleg tega se reducirajo tudi anorganske snovi in reducirane oblike dušika. Na ta način ugotovimo, koliko kisika se porablja v procesih razgradnje. BPK<sub>5</sub> pa je biokemijska potreba po kisiku v petih dneh. Vrednost je od jeseni do poletja naraščala. Pri vseh treh vzorčenjih je BPK<sub>5</sub> presegla vrednost 2 mg/L, kar pomeni, da gre za obremenjeno vodno telo. Najvišjo vrednost (5.4 mg/L) smo izmerili junija, kar je povezano s povečano bioprodukcijo v tem obdobju.

#### 6.1.1.12 Koncentracija klorofila *a*

Vsebnost klorofila *a* uporabljamo za ocenitev fitoplanktonske abundance oziroma produktivnosti. Najvišje vrednosti smo izmerili junija, kar smo tudi pričakovali, saj je bila takrat tudi produktivnost fitoplanktona največja. Najnižje vrednosti smo izmerili marca in sicer le dva tedna po tem, ko se je stopil led, zato rast fitoplanktona še ni bila intenzivna.

V ribnikih prihaja med makrofiti in fitoplanktonom do kompeticije za svetlobo. Tako v ribniku poraščenem z makrofiti pričakujemo nižje vrednosti klorofila *a* in brez sezonskih sprememb (Ruggiero s sod., 2003). Vendar pa se naše meritve ne ujemajo s to predpostavko, saj je med letom prišlo do kar precejšnjih razlik v koncentraciji klorofila *a* in tudi vrednosti so bile razmeroma visoke.

### 6.1.2 Biološka analiza

#### 6.1.2.1 Fitoplankton

Fitoplankton predstavljajo mikroskopske, večinoma avtotrofne alge. Rast fitoplanktona je v največji meri odvisna od fosforja, drugi najpomembnejši element pa je dušik. Za svojo rast potrebujejo tudi številne druge kemične elemente. Pri razvoju fitoplanktonske populacije je zelo pomemben zadrževalni čas vode, ker posamezen organizem potrebuje dovolj časa, da se v vodi razmnoži. V vodnih telesih brez temperaturne plastovitosti so prisotni turbulentni tokovi, ki mešajo vodo. Zato so alge v vodnem stolpcu naključno razporejene. Manj ko je teh gibanj vode, bolj je pomembno lastno gibanje alg. Fitoplankton je razvil tudi različne strukture s pomočjo katerih zavirajo tonjenje.

Združbo planktona smo vzorčevali trikrat na treh vzorčnih mestih. S kvalitativnimi raziskavami smo v ribniku identificirali 114 taksonov fitoplanktona. Največja skupina po številu taksonov je bila Chlorophyta s 53 taksoni, sledijo Bacillariophyceae (44), Euglenophyta (8), Cyanophyta (5) ter Chrysophyceae in Dinophyta s po dvema taksonoma.

K totalni biomasi fitoplanktona v ribniku so tako v glavnem prispevale zelene alge in diatomeje, medtem ko je bil pomen drugih vrst bolj majhen (gre za sporadične vrste).

Cianobakterije so bile po številu vrst in številu osebkov slabo zastopane. Edini spomladi razširjen rod je bil *Oscillatoria*. Na rast populacije oscilatorije vplivata predvsem nižja temperatura in manjša intenziteta svetlobe. Za njen razvoj je pomembna tudi prisotnost organskih snovi, zato ta vrsta bolje uspeva v organsko obremenjenih vodah. Poleg oscilatorije je bil med cianobakterijami pogosta vrsta *Microcystis aeruginosa*, ki je toksična alga in tudi največkrat udeležena vrsta pri cvetenju. Glede na to, da gre za precej evtrofno vodno telo smo pričakovali, da bodo k abundanci najbolj prispevale cianobakterije, vendar se to ni zgodilo. Spomladi so med fitoplanktonskimi vrstami najbolj prevladovali diatomeje, kar je za to skupino značilno. Vrh dosežejo konec pomladi. Med njimi so izstopali predvsem rodovi *Fragilaria*, *Gyrosigma* in *Nitzschia*. Pri poletnem vzorčenju večjih populacij diatomej nismo zasledili, čeprav so bile zastopane z relativno velikim številom vrst. Dominantne vrste fitoplanktona so bile poleti iz skupine zelenih alg predvsem na račun rodov *Coelastrum*, *Pediastrum* in *Scenedesmus*. Tudi evglenofiti so dosegli svoj vrh poleti z rodovoma *Phacus* in *Euglena*. *Phacus* in *Euglena* sta značilna rodova v evtrofnih in hiperevtrofnih vodnih ekosistemih. Na evtrofnost sistema namreč najbolj kaže ravno prisotnost evglenoidov, ki jih najpogosteje najdemo v okoljih, kjer je veliko razgrajenih organskih snovi. Pri poletnem vzorčenju sta bila *Phacus* in *Pediastrum* najbolj pogosta in združbotvorna, vse ostale vrste so bile sporadične. Jeseni je bila združbotvorna vrsta *Gyrosigma attenuatum*. Velika abundanca zelenih alg in evglenofitov poleti je bil tudi razlog za zeleno obarvanost vode.

#### 6.1.2.2 Zooplankton

Pri treh vzorčenjih na treh vzorčnih mestih smo določili 36 taksonov zooplanktona, ki so pripadali naslednjim skupinam: Rhizopoda, Ciliata, Rotatoria, Crustacea (Phyllozoa, Copepoda in Branchiura), Nematoda, Tardigrada in Oligochaeta. Združba zooplanktona je sezonsko zelo variabilna. V določenem delu leta je dominantna vrsta lahko povsem odsotna. Zato bi bil pri raziskavah zooplanktona potreben večleten pregled.

Najbolj množično je bil zooplankton zastopan pri spomladanskem vzorčenju, predvsem na račun rizopodov. Najmanjše vrstno bogastvo in številčnost pa smo zabeležili pri poletnem vzorčenju. Takrat je prišlo do popolne odsotnosti migetalkarjev, zelo pogoste pa so bile vodne bolhe, predvsem vrsta *Bosmina longirostris* in rod *Chydorus*. Poleti smo opazili tudi razliko med posameznimi vzorčnimi mesti. Združba ob obali je bila drugačna kot pa na sredini ribnika. Cladophora, Rotatoria in Copepoda so se koncentrirali ob robu, kjer so se razraščali makrofiti, predvsem račja zel. Pri spomladanskem in poletnem vzorčenju je bila najbolj abundantna vrsta iz skupine Rhizopoda (*Diffflugia sp.*), medtem ko jeseni nobena vrsta ni posebej izstopala. Pri kopepodnih rakih se je skozi celo leto konstantno pojavljala tudi navplijska ličinka. Z naraščanjem temperature vode je prišlo do upadanja



relativne abundance pri dveh rodovih, *Simocephalus* in *Chydorus* (Cladophora), zato je abundanca do poletja že upadla, medtem ko je abundanca pri rodovih *Ceriodaphnia* in *Daphnia* (Cladophora) narasla. Iz skupin Nematoda, Tardigrada in Oligochaeta smo našli le po nekaj predstavnikov, ker ti organizmi niso značilno planktonski.

Za evtrofna jezera je značilna abundanca kladocer, ki so zooplanktonski filtratorji (*Daphnia*, *Bosmina*, *Ceriodaphnia*), predatorskih ciklopoidnih kopepodov (*Cyclops*, *Macrocylops*) ter herbivornih rotatorijev (*Keratella*, *Polyarthra*, *Synchaeta*). Zgodaj spomladi pa v evtrofnem stoječem vodnem telesu prevladujejo predvsem Ciliata (Rettig s sod., 2006). Tak trend razširjenosti organizmov smo zabeležili tudi v ribniku Tivoli.

Številčnost združbe zooplanktona v ribniku lahko povežemo s spremembami v Secchijevi globini. Z večjo prozornostjo je bila tudi prisotnost zooplanktonskih organizmov večja. Upad abundance poleti je bil povezan z manjšo vsebnostjo kisika in naraščanjem gostote fitoplanktona, ki zmanjšuje Secchijevo globino.

Daljše opazovanje zooplanktona manjših ribnikov in vpliva klimatskih dejavnikov bi lahko pripomoglo k izboljšanju našega razumevanja spreminjanj v strukturi zooplanktonske združbe. Na spremembe združbe zooplanktona zelo verjetno vplivajo notranje abiotične in biotične spremenljivke, prav tako pa tudi zunanje klimatske razmere.

### 6.1.2.3 Makroinvertebrati

Makroinvertebrate v ribniku Tivoli predstavljajo Gastropoda, Bivalvia, Oligochaeta, Hirudinea, Ephemeroptera, Odonata, Trichoptera in Diptera.

Vzorčili smo na treh različnih mestih, s čimer smo želeli zajeti čim bolj različne habitate. Med posameznimi vzorčnimi mesti smo opazili razlike v vrstni sestavi, saj se mesta strukturno kar precej razlikujejo. Pri vzorčenju planktona, kjer smo tudi poizkušali zajeti različne habitate, med posameznimi vzorčnimi mesti nismo dobili tako opaznih razlik.

Prvo vzorčno mesto je bilo pod listi blatnikov in zato tudi ne preseneča, da smo na teh mestih našli največ polžev. Jeseni je bila diverziteta zelo majhna, saj se je tu pojavilo le pet različnih taksonov. Povsem drugače je bilo spomladi, ko smo pod listi našli kar precej oligohetov, med katerimi je bil najbolj abundanten rod *Nais* in dipterski s skupinami Orthoclaadiinae in Tanytarsini. Jeseni pa smo na tem vzorčnem mestu spet lahko zabeležili tako upad vrstnega bogastva kot abundance.

Drugo vzorčno mesto je bilo pri bregu na rastišču račje zeli. Vrstna pestrost in številčnost organizmov sta bili tu največji. Pri jesenskem vzorčenju so prevladovali oligoheti z rodом *Nais*, pogoste so bile tudi enodnevnice z vrsto *Cloeon dipterum* in dipteri. Spomladi je bila

številčnost večja, dominirale so podobne vrste kot jeseni. Največja abundanca je bila dosežena poleti na račun vrst rodu *Nais* in vrste *Ophidonais serpentina*.

Tretje vzorčno mesto je bilo ob usedlinah. Dno ribnika je prekrito z muljem, intenziteta svetlobe ob dnu je že zmanjšana, manjša je tudi vsebnost kisika. Zato ne preseneča najmanjše število vrst in najmanjša številčnost. Jeseni smo določili le 4 taksone, med katerimi je bil najbolj pogost rod *Nais*. Tudi spomladi je bila abundanca zelo majhna, pojavilo pa se je več različnih vrst, predvsem iz skupin oligohetov in dipter. Poleti je bilo stanje precej podobno spomladanskemu.

Pri vseh treh vzorčenjih smo dobili le malo predstavnikov kačjih pastirjev. Le-ti so namreč v ribnikih z ribami redki ali pa jih sploh ni (Heino, 2000).

#### 6.1.2.4 Ribe

Populacijska gostota rib, ki jedo vodne bolhe (Cladocera), vpliva na razvoj fitoplanktonskih alg in na njihovo »cvetenje«. Ker lovijo predvsem telesno večje vrste vodnih bolh, ki se prehranjujejo s planktonskimi algami, začno prevladovati manjše vrste zooplanktonskih rakcev, ki ne jedo alg. Pojavi se »cvetenje« (Tarman, 1992). Bentične ribe pa so problematične zaradi tega, ker z načinom prehranjevanja povečujejo kalnost ribnika. Lahko tudi povsem oskubijo rastline, s katerimi se prehranjujejo in to spet povzroči velik porast biomase fitoplanktona.

#### 6.1.2.5 Makrofiti

Uspevanje rastlinskih združb je odvisno od številnih abiotskih in biotskih dejavnikov- od anorganskih hranil in ionov, pH-ja, količine raztopljenega kisika, temperature vode, svetlobnih razmer, pretoka, strukture sedimentov, valovanja, prisotnosti strupenih snovi, paše živali itd.

V ribniku sta le dve vrsti višjih rastlin in sicer blatnik (*Nuphar luteum*) in račja zel (*Elodea canadensis*). Makrofiti imajo v ribniku pomembno vlogo, saj predstavljajo refugij za zooplankton in makroinvertebrate pred ribjimi predatorji. Imajo pa tudi pomembno vlogo pri obnovitvi degradiranega sistema.

### 6.1.3 Trofično stanje ribnika Tivoli

Glede na normative, ki opredeljujejo trofična stanja stoječih vodnih teles po OECD kriterijih (OECD,1982), smo ribnik Tivoli glede na posamezne parametre uvrstili v posamezne kategorije.

Na podlagi maksimalne koncentracije klorofila *a* (41,8 mg/L) smo uvrstili ribnik v skupino evtrofnih vodnih teles. Nižje vrednosti klorofila *a* jeseni in spomladi so posledica sezonske dinamike fitoplanktona, kar je značilno za vodna telesa v zmernem pasu. Zato se trofičnost glede na povprečno koncentracijo klorofila *a* skozi sezono spreminja in tako je bil ribnik spomladi mezotrofen, poleti in jeseni pa evtrofen.

Tudi povprečna prosojnost (Secchijeva globina) kaže na hiperevtrofno stanje.

Pri minimalni nasičenosti vode s kisikom smo ribnik uvrstili med evtrofna vodna telesa, saj smo najnižjo nasičenost izmerili jeseni takoj po sončnem vzhodu in je znašala 21%.

Vodna telesa lahko razvrščamo po trofičnih nivojih tudi glede na vrstni sestav fitoplanktona. Za evtrofne vodne sisteme naj bi bila značilna prisotnost majhnega števila dezmidial, krizofitov in diatomejskih vrst (Centrales) ter veliko vrst cianobakterij in diatomej (Penales) (Harper, 1992). Do neke mere se naši rezultati ujemajo s tem, čeprav vrstna pestrost cianobakterij ni bila velika, spomladi je bil pogost le rod *Oscillatoria*. Tudi rodova kot sta *Euglena* in *Phacus* sta indikatorja za evtrofno oziroma hiperevtrofno stanje.

Ugotovimo lahko, da razmere v ribniku poleti kažejo na močno evtrofno stanje. To lahko posledično pripelje do toksičnih cvetenj cianobakterij, anoksije ob usedlinah ali v nočnem obdobju, kar pa lahko vodi do pogina organizmov v vodi.

Ob upoštevanju fizikalno-kemijskih parametrov in bioloških indikatorjev (fitoplankton, zooplankton, makroinvertebrati) lahko zaključimo, da je ribnik Tivoli v evtrofnem stanju.

#### **6.1.4 Smernice za upravljanje z ribnikom Tivoli**

Ribnik bi bilo potrebno sanirati: izprazniti, odstraniti mulj, urediti nasipe, brežine in dno, poglobiti ribnik,... Ob sanaciji bi bilo treba zagotoviti dotok dodatne sveže vode v ribnik, kar bi skrajšalo zadrževalni čas vode v ribniku.

Ribnik Tivoli leži v osrčju oblikovanega parka in je zelo obiskana točka, zato je pomembno, da se v ribniku ohranja ekološko ravnovesje oziroma dobro ekološko stanje. V preteklosti so bili na ribniku in njegovih brežinah izvedeni določeni neustrezni posegi, ki bi se jih dalo sanirati oziroma omiliti. Potrebno pa bi bilo tudi urediti vodni režim in predvideti izboljšave, ki bi pripomogle k izboljšanju biološke pestrosti.

V ribniku bi bilo potrebno zagotoviti večnamensko uporabo in hkrati dobro ekološko stanje v njem. Namesto športnega ribolova bi lahko imel ribnik vlogo naravnega rezervata za zaščito in gojenje trenutno ogroženih avtohtonih vrst vodnih rastlin, nevretenčarjev, školjk, rakov, rib, dvoživk, plazilcev in ptičev. Velik problem predstavlja vnos tujerodnih vrst v ribnik, predvsem rib. V ribniku lahko med alohtonimi ribami najdemo belega amurja in

sončnega ostriža, prav tako pa v takšno vodno telo ne sodijo kleni, somi, smuči in krapci. Te ribe odžirajo drugim organizmom življenjski prostor, hrano in pribežališče. V ribnik jih vlagajo ribiči, ker so jim v ospredju interesi športnega ribolova. Tudi obiskovalci v ribnik vlagajo svoje akvarijske organizme, kot so zlate ribe, pajčolanke, želve rdečevratke itd. Z ribiči bi se lahko sklenil kompromis in tako bi v ribniku ohranjali naravo ter biotsko raznovrstnost. Ribnik bi uredili tako, da bi zagotavljal večjo biološko pestrost vodnih in obvodnih organizmov, hkrati pa bi bil na enem delu ribnika dovoljen tudi ribolov. Po sanaciji pa nikakor ne bi smelo biti dovoljeno naseljevanje neavtohtonih organizmov in rastlinojedih rib.

Ribnik je obraščen z drevesi, ki jeseni svoje liste odvržejo v vodo, kar predstavlja veliko organsko breme. V ribniku je tudi veliko makrofitov, ki se ravno tako razgrajujejo v ribniku. Posledica tega je povečevanje organske mase, dvigovanje dna ribnika, poraba kisika iz vode za razgradne procese... V ribniku bi bilo potrebno omejiti prekomerno razrast makrofitov in preprečiti vnos listja iz okoliških dreves v vodo.

Če bi ribnik poglobili, bi preprečili razrast makrofitov preko celotne površine, manjše bi bilo segrevanje vode, upočasnili bi tudi sukcesijo. Brežine ribnika se prestrmo spuščajo v vodo, zato so neporaščene in erozija na njih je precejšnja. Zato bi bilo priporočljivo, da bi bile brežine bolj položne.

Z ureditvijo ribnika bi ta pridobil na vizualni funkciji in tako bi ljudje prej vzpostavili pozitiven odnos do tega vodnega telesa. Na ta način bi dosegli, da bi ljudje do ribnika spremenili odnos in tako tudi bolj skrbeli zanj.

Po sanaciji bo potrebno ohranjati kakovost vode, da se omogoči življenje vodnim organizmom in makrofitom. Smiselno bi bilo vzpostaviti monitoring ter spremljati ekološki status ribnika in pripraviti program ukrepov za zmanjševanje onesnaževanja v primeru preseganja mejnih vrednosti, ki določajo kakovost površinskih voda.

## 6.2 SKLEPI

Ribnik Tivoli je plitev in ima majhen volumen. Temperatura vode je bila zato podobna temperaturi ozračja. Zaradi kratkega zadrževalnega časa vode in majhne globine, ki omogoča vertikalno mešanje vode, ni prišlo do poletne stratifikacije.

Vsebnost kisika je z naraščajočo globino nekoliko padla, vendar v vodnem delu ni prišlo do anoksije.

Prosojnost je bila v ribniku zelo majhna. To je bila posledica velike količine raztopljenih anorganskih in organskih snovi, suspendiranih delcev in velike produkcije planktona. Elektroprevodnost je bila največja jeseni, ko je prišlo do intenzivne razgradnje odpadlega

listja. Vrednost BPK<sub>5</sub> nad 2 mg/L nam je pokazala, da gre za obremenjeno vodno telo. Koncentracija ortofosfatov ni bila visoka. Vrednost nitratov pa je presegla 1 mg/L, kar stimulira rast alg in vodi v evtrofnost.

V ribniku smo določili 114 taksonov fitoplanktona iz skupin Cyanophyta, Chrysophyceae, Bacillariophyceae, Euglenophyta, Dinophyta in Chlorophyta. K skupni biomasi fitoplanktona so v glavnem prispevale zelene alge in diatomeje. Določene vrste so bile indikatorji za organsko obremenjene vode.

Zooplankton v ribniku je pripadal naslednjim skupinam: Rhizopoda, Ciliata, Rotatoria, Crustacea, Nematoda, Tardigrada in Oligochaeta. Najbolj množično je bil zooplankton zastopan spomladi predvsem na račun rizopodov. Upad abundance zooplanktona poleti je bil povezan z manjšo vsebnostjo kisika in naraščanjem gostote fitoplanktona, ki je zmanjševal Secchijevo globino.

Med makroinvertebrati so bili najbolj abundantni Oligochaeta in dipterska družina Chironomidae. Oligoheti so v pozitivni korelaciji z evtrofnostjo.

Na podlagi maksimalne koncentracije klorofila *a*, ki smo jo izmerili, uvrstimo ribnik v skupino evtrofnih vodnih teles. Secchijeva globina kaže na hiperevtrofno stanje. Glede na minimalno nasičenost vode s kisikom spada ribnik med evtrofna vodna telesa.

Ob upoštevanju fizikalno – kemijskih parametrov in bioloških indikatorjev (fito-, zooplankton, makroinvertebrati) lahko zaključimo, da je ribnik Tivoli v evtrofnem stanju.

## 7 POVZETEK

Ribnik Tivoli se nahaja v Parku Tivoli na severozahodnem obrobju mesta Ljubljana. Uredili so ga leta 1880. Nastal je z izkopom, ima obliko štirikotnika, obseg meri 368 m, volumen vode pa znaša od 5000 do 7700 m<sup>3</sup>. Globina vode doseže le od 0,9 do 1,3 m. Voda, ki polni ribnik, priteka iz vzhodnih pobočij Šišenskega hriba, iz parkovnih površin in iz poti prekritih s peskom. Brežine ribnika so v večjem delu obrasle z vegetacijo, so strme, erozija na njih je velika.

Namen naše naloge je bil opredeliti vplive na ekološki status ribnika Tivoli glede na fizikalno – kemijske dejavnike in biloško analizo. Ker je ribnik dokaj zaprt ekosistem, je posreden vpliv vetrov na temperaturo manjši. Zaradi plitvosti ribnika je temperatura vode ob vseh meritvah sledila temperaturi ozračja. Kratek zadrževalni čas vode in majhna globina, ki omogoča vertikalno mešanje vode, sta bila vzrok, da ni prišlo do poletne stratifikacije.

Vsebnost kisika se je skozi sezono spreminjala. Najvišjo koncentracijo smo izmerili marca (10,1 mg/L). Najnižje koncentracije kisika so bile zjutraj in so dosegle največjo vrednost tik pred sončnim zahodom. Vsebnost kisika je z naraščajočo globino padala. Vendar pa do anoksije v vodnem delu ni prišlo.

Prosojnost v ribniku je znašala od 40 do 70 cm. Tako nizke vrednosti smo dobili zaradi velike količine raztopljenih anorganskih in organskih snovi, suspendiranih delcev in zaradi velike produkcije planktona. Ko je jeseni prišlo do intenzivne razgradnje odpadlega listja, smo zabeležili najvišjo vrednost prevodnosti (448 μS/cm), najnižjo vrednost pa junija (369 μS/cm), ko je bila bioprodukcija najbolj intenzivna. Najvišjo vrednost BPK<sub>5</sub> (5,4 mg/L) smo izmerili junija, kar je povezano s povečano bioprodukcijo v tem obdobju. Vrednosti nad 2 mg/L pokažejo, da gre za obremenjeno vodno telo.

Vrednost ortofosfata ni nikoli padla pod koncentracijo, ki bi bila omejujoča za rast fitoplanktona. Vrednosti so bile višje v času nižjega vodostaja. Najvišja koncentracija nitratov (1,2 mg/L) je sovpadala z najnižjim vodostajem pri poletnem vzorčenju. Vrednost nad 1mg/l stimulira rast alg in nakazuje možne probleme povezane z evtrofnostjo.

Cianobakterije so bile slabo zastopane in so dosegle največjo abundanco poleti. Pri spomladanskem vzorčenju pa je bil najbolj pogost rod *Oscillatoria* sp., ki preferira nizko temperaturo in bolje uspeva v organsko obremenjenih vodah. Diatomeje so bile v ribniku zelo abundantne. Rodova *Fragilaria* in *Stephanodiscus* ter vrsta *Melosira granulata* so indikatorji napredujoče evtrofnosti. Evglonoidni plankton je bil poleti močno zastopan z rodovoma *Phacus* in *Euglena*. Prisotnost teh dveh rodov pokaže, da gre za zelo obremenjeno vodno telo. *Phacus* je bil pri poletnem vzorčenju skupaj s *Pediastrum*-om in *Scenedesmus*-om združbotovren. Jeseni je bila združbotovorna diatomejska vrsta *Gyrosigma*

*attenuatum* in dinofitska vrsta *Peridinium cinctum*. Ta vrsta je prvo opozorilo, da prihaja do porasta hranilnih snovi v vodnem telesu. K totalni biomasi fitoplanktona v ribniku so v glavnem prispevale zelene alge in diatomeje. Zeleni algi *Scenedesmus* in *Pediastrum* se pojavljata tam, kjer je veliko hranilnih snovi. Velika abundanca zelenih alg in evglenoidov poleti je bil razlog za zeleno-rjavo obarvanost vode.

Najbolj množično je bil zooplankton zastopan pri spomladanskem vzorčenju, predvsem na račun rizopodov. Najmanjše vrstno bogastvo in številčnost smo zabeležili pri poletnem vzorčenju. Takrat je prišlo do popolne odsotnosti migetalkarjev, zelo pogoste pa so bile vodne bolhe. Največ predstavnikov rotatorijev je bilo pri spomladanskem vzorčenju. Pri kopepodnih rakih se je skozi celo leto pojavljala navplijska ličinka. Našli smo tudi nekaj predstavnikov iz skupin Nematoda, Tardigrada in Oligochatea, ki pa niso značilno planktonski. Upad abundance zooplanktona poleti je bil povezan z manjšo vsebnostjo kisika in naraščanjem gostote fitoplanktona, ki zmanjšuje Secchijevo globino.

Makroinvertebrate v ribniku Tivoli predstavljajo naslednje skupine: Gastropoda, Bivalvia, Oligochaeta, Hirudinea, Insecta (Ephemeroptera, Odonata, Trichoptera, Diptera). Oligoheti so v pozitivni korelaciji z evtrofnostjo. V ribniku so bili abundantni, kar kaže na evtrofnost ribnika. Za diptersko skupino *Chironomus plumosus*, ki je bila bolj pogosta spomladi, velja, da se zadržuje tam, kjer je močna organska obremenitev, ki je rezultat evtrofnosti.

Bentične ribe v ribniku Tivoli so problematične, ker z načinom prehranjevanja povečujejo kalnost. Pride do zmanjševanja prosojnosti vode zaradi porasta koncentracije TSS in naraščanja populacije alg. V ribnikih 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. V ribniki smo našli le 2 vrsti višjih rastlin: *Nuphar luteum* (blatnik) in *Elodea canadensis* (račja zel).

Na podlagi maksimalne koncentracije klorofila *a* smo uvrstili ribnik v skupino evtrofnih vodnih teles. Secchijeva globina kaže na hiperevtrufno stanje. Pri minimalni nasičenosti vode s kisikom smo ribnik uvrstili med evtrofna vodna telesa.

Ob upoštevanju fizikalno – kemijskih parametrov in bioloških indikatorjev vidimo, da je ribnik Tivoli v evtrofnem stanju.

Ribnik Tivoli bi bilo potrebno urediti tako, da bi imel vlogo naravnega rezervata za avtohtone in ogrožene vrste rastlin in živali. Omejiti bi bilo potrebno prekomerno razrast makrofitov in preprečiti vnos listja iz okoliških dreves v vodo. Problem v ribniku predstavlja tudi velika količina mulja, ki ga bi bilo ob sanaciji potrebno odstraniti.

## 8 VIRI

- Abrams, P.A. 1983 Arguments in favour of higher order interactions. *Am.Nat.* 121: 887-891.
- Adrain, R., Deneke, R. 1996. Possible impact of mild winters on zooplankton succession in eutrophic lakes of the Atlantic European area. *Freshwater Biology* 36: 757-770.
- Angeline, K.Y.L. s sod. 1994. Chemical control of hepatotoxic phytoplankton blooms; Implication for human health. *Water research* 29: 1845-1854.
- Borics, G. s sod. 2000. Phytoplankton associations in a small hypertrophic fishpond in East Hungary during a change from bottom-up to top-down control. *Hydrobiologia* 424: 79-90.
- Brinkhurst, R.O. 1971. A guide for the identification of British Aquatic Oligochaeta. Freshwater biological association. University of Toronto.
- Briones, E.E. s sod. 2002. Structure of a pond community in Central Mexico. *Hydrobiologia* 467: 133-139.
- Brönmark, C., Hansson, A. 1998. The biology of lakes and ponds. Oxford university press inc. New York.
- Campaioli, S. s sod. Mannale per il riconoscimento dei macroinvertebrati delle acque dolci Italiane. Provincia autonoma di Trento.
- Dahl, J., Greenberg, L.A. 1998. Effects of fish predation and habitat type on stream benthic communities. *Hydrobiologia* 361: 67-76.
- Deisinger, G. 1984. Leitfaden zur Bestimmung der planktischen Algen der Kärntner Seen und ihrer Biomasse. Kärntner Institut für Seenforschung, Klagenfurt.
- Demir, N., Kirkagac, M.U. 2005. Plankton composition and water quality in a pond of spring origin in Turkey. *Limnology* 6: 189-194.
- Directive 2000/60/EC of the European parliament and of the council. 23.10.2000. Official Journal of the European communities.
- Elliot, J.M., Humpesch, U.H., Macan, T.T. 1988. Larvae of British Ephemeroptera: A key with ecological notes. Freshwater biological association Scientific publication.



Ettl, H. s sod. 1986. Süßwasserflora von Mitteleuropa. Bacillariophyceae. Gustav Fischer Verlag. Stuttgart – New York.

Fairchild, G.W., 2005. The trophic state 'chain of relationships' in ponds: does size matter? *Hydrobiologia* 539: 35-46.

Fazarinc, R. 2006. Revitalizacija in sanacija ribnika Tivoli. Inženiring za vode. Ljubljana.

Ferrara, R.A., Avci, C.B. 1982. *Jour. Water pollution Contr. Fed.* 54(4), 361-369.

Flores, L.N., Barone, R. 1998. Phytoplankton dynamics in two reservoirs with different trophic state (Lake Rosamarina and Lake Arancio, Sicily, Italy). *Hydrobiologia* 369/370: 163-178.

Frisk, T. s sod. 1999. Modelling phytoplankton dynamics of the eutrophic Lake Võrtsjärv, Estonia. *Hydrobiologia* 414: 59-69.

Gerken, B., Sternberg, K. 1999. Die Exuvien europäischer libellen Insecta, Odonata. Höxter und Jena.

Giziński, A. s sod. 1997. Why does Druzno Lake (Poland) still exist? On the conditions of the pond-type lake ecosystem sustainability. *Hydrobiologia* 342/343: 297-304.

Glöer, P. 2002. Die Tierwelt Deutschlands, Mollusca I. Süßwassergastropoden Nord- und Mitteleuropas. Conch Books. Hetlingen.

Gribovskaya I.V. s sod. 2003. Studies of hydrochemical and kinetic characteristics of small water bodies in the context of their eutrophication. *Water resources*, Vol. 30, No. 1: 68-71.

Harper, D. 1992. Eutrophication of freshwaters, principles, problems and restoration. London, Chapman & Hall: 327 str.

Heino, J. 2000. Lentic macroinvertebrate assemblage structure along gradients in spatial heterogeneity, habitat size and water chemistry. *Hydrobiologia* 418: 229-242.

Hindák, F. s sod. 1978. Sladkovodne riasy. Pedagogické nakladateľstvo, Bratislava.

Hussainy, S.U. 1979, *Prog. Water technology* 11 (4/5), 315-337.

Jensen, J.P. s sod. 1990. Relationships between nitrogen loading and in-lake nitrogen concentrations in shallow Danish lakes. *Verhandlungen. Internationale Vereinigung Limnologie* 24: 201-204.

Kratz, T.K., s sod. 1987. Inferences from spatial and temporal variability in ecosystems: longterm zooplankton data from lakes. *American naturalist* 129: 830-846.

Lai, P.C.C., Lam, P.K.S. 1997. Major pathways for nitrogen removal in waste water stabilization ponds. *Water, air and soil pollution* 94: 125-136.

Lampert, W., Sommer, U. 1997. *Limnoecology: The ecology of lakes and streams*. Oxford University Press, New York: 382 str.

Lauridsen, T.L. 1994. Colonisation and succession of submerged macrophytes in shallow Lake Vaeng during the first five years following fish manipulation. *Hydrobiologia* 275/276: 233-242.

Loedolff, C.J. 1965. The function of Cladocera in oxidation ponds, in: Jaag, O. (ed.). *Advances in water pollution research: Proceedings of the second international conference in water pollution research* 1, 307-325, Pergamon press, Oxford.

Manage, P.M. s sod. 1999. Seasonal changes in densitis of cyanophage infectious to *Microcystis aeruginosa* in a hypereutrophic pond. *Hydrobiologia* 411: 211-216.

Martinčič, A. s sod. 1999. *Mala flora Slovenije*. Tehniška založba Slovenije. Ljubljana.

Meijer, M. s sod. 1990. Is reduction of the benthivorous fish an important case of high transparency following biomanipulation in shallow lakes? *Hydrobiologia* 200/201: 303-315.

Okland, J. 1990. *Lakes and snails*. Universal book services/W Backhyus, Oegstgeest.

Payne, A.I. 1986. *The ecology of tropical lakes and rivers*. John Wiley & Sons. 301 str.

Rettig, J.E. s sod. 2006. Seasonal patterns of abundance: do zooplankton in small ponds do the same thing every spring-summer. *Hydrobiologia* 556: 193-207.

Richard, D.I. s sod. 1984. Phytoplankton responses to reduction and elimination of submerged vegetation by herbicides and grass carp in four Florida lakes. *Aquat. Bot.* 20: 307-319.

Salonen, K. s sod. 2005. Robust parameters confirm predominance of heterotrophic processes in the plankton of a highly humic pond. *Hydrobiologia* 543: 181-189.

Sirenko, L.A., Gavrilenko. 1978. »Tsvetenie« vody i evtrofirovanie. *Water Blooming and Eutrophication*. Naukova Dumka, Kijev.

Soballe, D.M., Kimmel B.L. 1987. A large-scale comparison of factors influencing phytoplankton abundance in rivers, lakes and impoundments. *Ecology* 68: 1943-1954.

Stephen, D. 1998. The relative importance of top-down and bottom-up control of phytoplankton in a shallow macrophyte-dominated lake. *Freshwater Biology* 39:699-713.

Streble, H., Krauter, D. 2002. Das Leben im Wassertropfen. Microflora und Fauna des Süßwassers. Kosmos, Stuttgart.

Šajn-Slak, A.. 2005. Smernice za pripravo načrta upravljanja z ribnikom Tivoli. Limnos Podjetje za aplikativno ekologijo. Ljubljana.

Tachet, H. s sod. Inverébrés d'eau, systématique, biologie, écologie. CNRS Editions.

Tarman K. 1992. Osnove ekologije in ekologija živali. Državna založba Slovenije, Ljubljana.

Tavzes, R. s sod. julij 2005. Izvajanje vodne direktive na Vodnem območju Donave. Ministrstvo za okolje in prostor RS, številka: 355-01-05/2005.

Tessier, A.J., Welser, J. 1991. Cladoceran assemblages, seasonal succession and the importance of a hypolimnetic refuge. *Freshwater biology* 25: 85-93.

Threlkeld, S.T. 1983. Spatial and temporal variation in the summer zooplankton community of a riverine reservoir. *Hydrobiologia* 107: 249-254.

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

Watanabe, M.F. s sod. 1996. Toxic Microcystis. CRC Press, Inc., Florida: 1-10.

Wetzel, R.G. 2001. Limnology. Lake and river ecosystems. Third edition. Academic Press, San Diego: 1006 str.

Wild, H.E. s sod. 1971. Jour. Water pollution Contr. Fd 43, 1845-1854.

Williams, A.E. s sod. 2002. Fish induced macrophyte loss in shallow lakes: top-down and bottom-up processes in mesocosm experiments. *Freshwater Biology* 47: 2216-2232.

Williams, P.J. s sod. 1997. Designingv new ponds for wildlife. *British Wildlife* 8: 137-150.

Windolf, J. s sod. 1996. Modelling of seasonal variation in nitrogen retention and in-lake concentration: a four-year mass balance study in 16 shallow Danish lakes. *Biogeochemistry* 33: 25-44.

Zambrano, L., Hinojosa, D. 1999. Direct and indirect effects of carp (*Cyprinus carpio* L.) on macrophyte and benthic communities in experimental shallow ponds in central Mexico. *Hydrobiologia* 408/409: 131-138.

## ZAHVALA

Na prvem mestu se zahvaljujem mentorju prof. dr. Mihaelu J. Tomanu za dragocena navodila, koristne pripombe in vodenje pri nastajanju diplomske naloge, za prijetne pogovore, posredovano znanje in zanimiva predavanja v času študija.

Prof. dr. Alenki Gaberščik se iskreno zahvaljujem za temeljit pregled naloge in koristne napotke. Prof. dr. Danijelu Vrhovšku se najlepše zahvaljujem za recenzijo dela.

Posebno zahvalo namenjam dr. Markotu Notarju za idejo in navdih, za vso nesebično pomoč in za ves čas, ki mi ga je namenil. Ob tej priložnosti bi se rada zahvalila tudi Mateji za razumevanje in vzpodbudne besede.

Zahvaljujem se Gasilski brigadi Ljubljana, še posebej g. Kusu, ki mi je omogočil izposojlo čolna in tako izvajanje terenskega dela.

Hvaležna sem celotnemu osebju Katedre za ekologijo in varstvo okolja za dobro delovno vzdušje, za nasvete in prijetno družbo pri delu. Posebej lepo se zahvaljujem Bojani za pomoč pri določanju diatomej.

Hvala tudi vsem prijateljem, ker me razumete, vzpodbujate in verjamete vame. Hvala Tina, ker me znaš vedno spraviti v smeh in napolniti z optimizmom.

Neizmerno razumevanje, vsestranska spodbuda in pomoč sestre Zale, ki mi ob vseh trenutkih stoji ob strani, so mi dali potrebno moč in energijo, da sem nalogo izpeljala do konca.

Iz vsega srca se zahvaljujem staršem in obema babicama ter ostali družini za vso brezpogojno podporo, potrpežljivost in zaupanje vame, ker ste vedno z mano, ko vas potrebujem in nikoli ne nehate verjeti vame.

Hvala!

## PRILOGA

## Fizikalno - kemijski parametri

## Temperatura vode v ribniku Tivoli na treh vzorčnih mestih v času vzorčenja

VM	10.10.2005	30.3.2006	22.6.2006
	T (°C)	T (°C)	T (°C)
1	13.6	10.1	24.1
2	13.8	10.1	24.2
3	14.3	10.6	24.2

## Spreminjanje temperature vode čez dan v času vzorčenja

	10.10.2005	30.3.2006	22.6.2006
	T (°C)	T (°C)	T (°C)
zjutraj	13.0	9.4	22.9
opoldne	13.8	10.2	24.2
zvečer	14.7	10.8	25.1

## Spreminjanje temperature vode v vertikalnem profilu 30.3. in 22.6.2006

	30.3.2006	22.6.2006
	T (°C)	T (°C)
ob površini	10.4	24.2
sredina vodnega stolpca	10.2	23.7
ob usedlinah	10.0	23.0

Vsebnost O<sub>2</sub> v ribniku Tivoli na treh vzorčnih mestih v času vzorčenja

VM	10.10.2005		30.3.2006		22.6.2006	
	mg/L	%	mg/L	%	mg/L	%
1	5.3	52	10.0	92	7.4	67
2	4.7	41	10.1	92	7.4	67
3	3.8	38	7.8	90	6.9	63

Vsebnosti O<sub>2</sub> v ribniku Tivoli čez dan na treh vzorčnih mestih v času vzorčenja

	10.10.2005		30.3.2006		22.6.2006	
	mg/L	%	mg/L	%	mg/L	%
zjutraj	2.2	21	4.8	50	4.2	48
opoldne	5.1	49	10.0	92	7.5	68
zvečer	6.2	62	10.1	93	11.0	101

Vsebnosti O<sub>2</sub> in temperatura na osenčenem in osončenem predelu ribnika Tivoli v času vzorčenja

	10.10.2005			30.3.2006			22.6.2006		
	mg/L	%	T(°C)	mg/L	%	T(°C)	mg/L	%	T(°C)
na soncu	4.1	39	13.7	10.0	91	10.1	7.5	68	24.0
v senci	3.8	38	13.5	9.8	90	10.1	7.1	65	24.2

Vsebnosti O<sub>2</sub> in temperatura v ribniku Tivoli v vertikalnem profilu 30.3. in 22.6.2006

	30.3.2006			22.6.2006		
	mg/L	%	T(°C)	mg/L	%	T(°C)
ob površini	10.1	90	10.4	7.4	67	24.2
sredina vod.stolpca	7.2	67	10.2	3.1	31	22.7
ob usedlinah	6.4	63	10.0	2.8	27	22.4

## Secchijeva globina v ribniku Tivoli na treh vzorčnih mestih v času vzorčenja

VM	10.10.2005	30.3.2006	22.6.2006
	Secchijeva globina (cm)	Secchijeva globina (cm)	Secchijeva globina (cm)
1	74	62	44
2	67	61	44
3	52	53	43

## Vrednosti pH-ja v ribniku Tivoli na petih vzorčnih mestih v času vzorčenja

VM	10.10.2005	30.3.2006	22.6.2006
	pH	pH	pH
1	7.8	7.9	7.7
2	7.7	8.0	7.9
3	8.0	7.9	7.8
4	7.8	8.0	7.8
5	7.9	8.0	7.8

## Elektroprevodnost v ribniku Tivoli na petih vzorčnih mestih v času vzorčenja

VM	10.10.2005	30.3.2006	22.6.2006
	μS/cm	μS/cm	μS/cm
1	448	394	368
2	432	395	370
3	418	397	361
4	432	396	360
5	437	395	366

## Vrednost skupnih suspendiranih snovi v ribniku Tivoli v času vzorčenja

VM	10.10.2005	30.3.2006	22.6.2006
	TSS (mg/L)	TSS (mg/L)	TSS (mg/L)
2	15.1	3.3	3.6

## Količina sušine v ribniku Tivoli v času vzorčenja

VM	10.10.2005	30.3.2006	22.6.2006
	Sušina (mg/L)	sušina (mg/L)	sušina (mg/L)
2	278	166	234

## Koncentracije ortofosfata v ribniku Tivoli v času vzorčenj

	10.10.2005	30.3.2006	22.6.2006
VM	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (mg/L)	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (mg/L)	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (mg/L)
2	0.006	0.009	0.035

## Koncentracije nitratov v ribniku Tivoli v času vzorčenj

	10.10.2005	30.3.2006	22.6.2006
VM	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/L)
2	0.9	1.1	1.2

Vrednosti BPK<sub>5</sub> v ribniku Tivoli v času vzorčenj

	10.10.2005	30.3.2006	22.6.2006
VM	BPK <sub>5</sub> (mg/L)	BPK <sub>5</sub> (mg/L)	BPK <sub>5</sub> (mg/L)
2	2.5	2,2	5,4

Koncentracija klorofila *a* v ribniku Tivoli v času vzorčenj

	10.10.2005	30.3.2006	22.6.2006
VM	Chl <i>a</i> (µg/L)	Chl <i>a</i> (µg/L)	Chl <i>a</i> (µg/L)
2	8.3	5,2	41.8