

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA BIOLOGIJO

Aleksander KOREN

**VPLIV IZPUSTA CENTRALNE ČISTILNE NAPRAVE CELJE NA
ZDRUŽBO OBRASI REKE SAVINJE**

DIPLOMSKO DELO
Univerzitetni študij

**THE INFLUENCE OF CELJE SEWAGE TREATMENT PLANT
DISCHARGE ON PERIPHYTON COMMUNITY IN THE SAVINJA
RIVER**

Ljubljana, 2009

Diplomsko delo je zaključek univerzitetnega študija biologije. Opravljeno je bilo na Katedri za ekologijo in varstvo okolja Oddelka za biologijo Biotehniške fakultete v Ljubljani, v podjetju za aplikativno ekologijo Limnos in na Nacionalnem inštitutu za biologijo v Ljubljani.

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

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednica: 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: doc. dr. Gorazd URBANIČ
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo

Datum zagovora: 27. 3. 2009

Naloga je rezultat lastnega raziskovalnega dela.

Podpisani se strinjam z objavo svoje naloge v polnem tekstu na spletni strani Digitalne knjižnice Biotehniške fakultete. Izjavljam, da je naloga, ki sem jo oddal v elektronski obliki, identična tiskani verziji.

Aleksander Koren

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD Dn
DK 574:502(043.2)=163.6
KG perifiton/Savinja/centralna čistilna naprava Celje/hranila/samočistilna sposobnost
KK
AV KOREN, Aleksander
SA TOMAN, J. Mihael (mentor)
KZ SI-1000 Ljubljana, Večna pot 111
ZA Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo
LI 2009
IN VPLIV IZPUSTA CENTRALNE ČISTILNE NAPRAVE CELJE NA ZDRUŽBO OBRASTI REKE SAVINJE
TD Diplomsko delo (univerzitetni študij)
OP XII, 73 str., 9 pregl., 34 sl., 10 pril., 59 vir.
IJ sl
JI sl/en
AI Kakovost vode določajo fizikalne, kemične in biološke značilnosti. Združba perifitona odraža ekološke razmere, posamezne vrste pa specifične ekološke razmere povezane s stopnjo obremenjenosti. Namen diplomske naloge je bil spremljanje longitudinalnih sprememb različnih abiotskih in biotskih dejavnikov na reki Savinji s ciljem oceniti vpliv s hranili bogate očiščene odpadne vode iz Centralne čistilne naprave Celje na perifitonsko združbo reke Savinje. Na približno 7 km dolgem odseku Savinje smo izbrali 3 vzorčna mesta. Vzorčenje perifitona je potekalo med julijem 2007 in aprilom 2008. Izvedli smo 3 vzorčenja, poletno, jesensko-zimsko in pomladno. Perifiton smo vzorčili po metodi pobiranja kamnov in strganja znane površine kamnov. Izmerili smo biomaso perifitona in količino klorofila *a* ter prikazali vrstno sestavo združbe in abundanco posameznih vrst. Spremljali smo tudi številne hidromorfološke, fizikalne in kemijske parametre na vzorčnih mestih. Najvišje število vrst perifitonske združbe so dosegale kremenaste alge, sledile so jim zelene alge in modro-zelene cepljivke. Z izračunanimi vrednostmi saprobnega indeksa smo Savinjo uvrstili v 2. kakovostni razred. S pomočjo trofičnega indeksa po Rottu (1999) smo ugotovili, da je bila količina dodatnih hranil iz iztoka čistilne naprave verjetno premajhna, da bi bistveno spremenila trofično stanje vodotoka. Shannon-Wienerjev diverzitetni indeks je v povprečju znašal 3,56, razlike med vzorčnimi mesti so bile majhne. V dendogramu različnosti so bili najbolj sorodni vzorci iz različnih vzorčnih mest nabrani v posameznih vzorčenjih, zato smo sklepali, da je vpliv drugih, sezonsko spremenljivih dejavnikov na perifitonsko združbo večji od vpliva obremenjevanja reke s hranilnimi snovmi iz iztoka Centralne čistilne naprave Celje.

KEY WORDS DOCUMENTATION

DN Dn
DC 574:502(043.2)=163.6
CX periphyton/Savinja/sewage treatment plant Celje/nutrients/selfpurification
CC
AU KOREN, Aleksander
AA TOMAN, J. Mihael (supervisor)
PP SI-1000 Ljubljana, Večna pot 111
PB University of Ljubljana, Biotechnical faculty, Department of Biology
PY 2009
TI THE INFLUENCE OF CELJE SEWAGE TREATMENT PLANT DISCHARGE
ON PERIPHYTON COMMUNITY IN THE SAVINJA RIVER
DT Graduation thesis (University studies)
NO XII, 73 p., 9 tab., 34 fig., 10 ann., 59 ref.
LA sl
AL sl/en
AB Water quality is defined by physical, chemical and biological parameters. Periphyton community reflects ecological conditions, individual species reflects individual ecological conditions related to water quality. The purpose of this research was to monitor longitudinal changes of abiotic and biotic factors in Savinja river in order to evaluate the influence of nutrient rich purified waste water from Celje sewage treatment plant on periphyton community in the Savinja river. Three sampling sites were chosen on 7 km long stretch of the Savinja river. The sampling was carried out three times between July 2007 and April 2008. First sampling was carried out in summer, second in autumn and third in spring. Algae were sampled by scraping and brushing of the stone surface. Periphyton biomass and chlorophyll *a* were measured, taxonomical composition of periphyton communities determined and quantitatively evaluated. Several hydromorphological, physical and chemical parameters of sampling sites were also measured and analysed. Qualitative evaluations have shown that the river was dominated by diatoms, followed by green algae and Cyanophyceae. According to saprobic index the Savinja river was classified in the second quality class. The trophic index after Rott (1999) has shown that the amount of nutrient rich water from sewage treatment plant is probably too small to affect the trophic state of the river. Average value of Shannon-Wiener index was 3,56, differences between sampling sites were small. Cluster analysis has shown the greatest similarity between samples from different sampling sites collected in the same sampling day. The conclusion was made that other, seasonally affected factors have greater influence on periphyton communities than nutrient rich purified water from the sewage treatment plant.

KAZALO VSEBINE

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA (KDI)	III
KEY WORD DOCUMENTATION (KWD)	IV
KAZALO VSEBINE	V
KAZALO PREGLEDNIC	VIII
KAZALO SLIK	IX
KAZALO PRILOG	XI

1	UVOD	1
2	PREGLED OBJAV	2
2.1	SAMOČIŠČENJE.....	2
2.1.1	Nebiološko samočiščenje.....	2
2.1.2	Biološko samočiščenje.....	2
2.1.2.1	Potek biološkega samočiščenja v vodotoku.....	3
2.2	ČISTILNE NAPRAVE.....	4
2.2.1	Primarna stopnja čiščenja.....	4
2.2.2	Sekundarna stopnja čiščenja.....	4
2.2.2.1	Aerobno biološko čiščenje.....	4
2.2.2.1.1	Čistilne naprave z razpršeno biomaso.....	5
2.2.2.1.2	Čistilne naprave s priraslo biomaso	5
2.2.2.2	Anaerobno biološko čiščenje.....	5
2.2.3	Terciarna stopnja čiščenja.....	6
2.3	CENTRALNA ČISTILNA NAPRAVA CELJE.....	6
2.3.1	Lokacija Centralne čistilne naprave.....	6
2.3.2	Tehnologija čiščenja.....	6
2.3.3	Vpliv na okolje.....	7
2.4	GEOGRAFSKE ZNAČILNOSTI REKE SAVINJE.....	8
2.5	PERIFITON.....	9
2.5.1	Definicija.....	9
2.5.2	Sistematska delitev alg.....	9
2.5.2.1	Euglenophyta – evglenofiti.....	9
2.5.2.2	Dinophyta (Pyrrophyta) - ognjene alge.....	10
2.5.2.3	Chlorophyta – zelene alge.....	10
2.5.2.4	Xanthophyta – rumene alge.....	10
2.5.2.5	Chrysophyta – zlatorjave alge.....	11
2.5.2.6	Bacillariophyta (Diatomeae) – kremenaste alge.....	11
2.5.2.7	Rhodophyta – rdeče alge.....	11
2.5.3	Cyanobacteria (Cianophyta) – modro-zelene cepljivke.....	12
2.5.4	Delitev perifitona glede na podlago.....	12
2.5.4.1	Epilitske alge.....	12
2.5.4.2	Epifitske alge.....	12
2.5.4.3	Epipelične alge.....	13
2.5.5	Abiotski dejavniki, ki vplivajo na strukturo in funkcijo perifitona.....	13
2.5.5.1	Temperatura vode.....	13
2.5.5.2	Svetlobne razmere.....	14

2.5.5.3	Hitrost vodnega toka.....	14
2.5.5.4	Substrat.....	15
2.5.5.5	pH.....	15
2.5.5.6	Kisik.....	16
2.5.5.7	Hranilne in druge raztopljene snovi.....	16
2.5.5.7.1	Žveplo, dušik in fosfor	17
2.5.5.7.2	Silicij	17
2.5.5.7.3	Organske snovi.....	18
2.5.5.8	Motnje.....	18
2.5.6	Biotski dejavniki, ki vplivajo na strukturo in funkcijo perifitona.....	19
2.5.6.1	Kompeticija.....	19
2.5.6.2	Plenilstvo.....	19
2.5.6.3	Parazitizem.....	20
2.5.7	Uporaba perifitona pri ocenjevanju kakovosti voda.....	20
3	MATERIAL IN METODE.....	21
3.1	IZBIRA VZORČNIH MEST IN ČAS VZORČENJA.....	21
3.2	MERITVE HIDROMORFOLOŠKIH PARAMETROV.....	21
3.2.1	Hitrost vodnega toka in pretok.....	21
3.2.2	Substrat.....	22
3.3	FIZIKALNE MERITVE IN KEMIJSKE ANALIZE.....	23
3.3.1	Temperatura.....	23
3.3.2	Koncentracija in nasičenost s kisikom.....	23
3.3.3	Elektroprevodnost.....	23
3.3.4	pH.....	24
3.3.5	Koncentracija nitratov.....	24
3.3.6	Koncentracija fosfatov.....	24
3.3.7	Skupne suspendirane snovi.....	24
3.4	BIOLOŠKE ANALIZE.....	24
3.4.1	Vzorčenja perifitona.....	24
3.4.2	Priprava vzorcev perifitonskih alg za pregledovanje.....	25
3.4.2.1	Priprava in pregledovanje vzorcev kremenastih alg.....	25
3.4.2.2	Priprava in pregledovanje vzorcev vseh alg in modro-zelenih cepljivk.....	26
3.4.3	Merjenje suhe mase vzorcev perifitona in deleža anorganskih snovi.....	26
3.4.4	Merjenje klorofila <i>a</i>.....	27
3.5	STATISTIČNE ANALIZE.....	28
3.5.1	Relativna abundanca.....	28
3.5.2	Absolutna abundanca.....	28
3.5.3	Saprobní indeks.....	29
3.5.4	Trofični indeks po Rottu (1999).....	30
3.5.5	Shannon-Wienerjev diverzitetni indeks.....	31
3.5.6	Bray-Curtisov koeficient podobnosti.....	32
4	REZULTATI	33
4.1	OPIS VZORČNIH MEST.....	33
4.1.1	Vzorčno mesto Polule.....	33
4.1.2	Vzorčno mesto Tremerje.....	34
4.1.3	Vzorčno mesto Laško.....	35
4.2	REZULTATI HIDROMORFOLOŠKIH PARAMETROV.....	36

4.2.1	Hitrost vodnega toka in pretok.....	36
4.2.2	Substrat.....	36
4.3	REZULTATI FIZIKALNIH MERITEV IN KEMIJSKIH ANALIZ.....	38
4.3.1	Temperatura.....	38
4.3.2	Koncentracija in nasičenost s kisikom.....	38
4.3.3	Elektroprevodnost.....	39
4.3.4	pH.....	40
4.3.5	Koncentracija nitratov.....	41
4.3.6	Koncentracija fosfatov.....	41
4.3.7	Skupne suspendirane snovi.....	41
4.4	REZULTATI BIOLOŠKIH ANALIZ.....	42
4.4.1	Masa vzorcev perifitona.....	42
4.4.2	Klorofil <i>a</i>	43
4.4.3	Analiza perifitonske združbe.....	44
4.4.3.1	Sezonsko spreminjanje števila vrst glavnih skupin alg in modro-zelenih cepljivk...	44
4.4.3.2	Rezultati štetja kremenastih alg.....	45
4.4.3.3	Pogostost vseh alg in modro-zelenih cepljivk.....	46
4.4.3.4	Rezultati štetja izbranih taksonov alg in modro-zelenih cepljivk.....	47
4.5	REZULTATI STATISTIČNIH ANALIZ.....	52
4.5.1	Saprobní indeks.....	52
4.5.2	Trofični indeks po Rottu (1999).....	54
4.5.3	Shannon-Wienerjev diverzitetni indeks.....	54
4.5.4	Bray-Curtisov koeficient podobnosti.....	55
5	RAZPRAVA IN SKLEPI	57
5.1	RAZPRAVA.....	57
5.2	SKLEPI.....	65
6	POVZETEK.....	67
7	VIRI.....	69

ZAHVALA

PRILOGE

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Velikost koeficienta K_p v odvisnosti od globine vode (Vir: Urbanič in Toman, 2003).	22
Preglednica 2: Razvrstitev anorganskega substrata po velikosti delcev (prilagojeno po AQEM 2002).	23
Preglednica 3: Razvrstitev organskih substratov (prilagojeno po AQEM 2002).	23
Preglednica 4: Lestvica za oceno pogostosti združbe obrasti (Štendler, 2008).	26
Preglednica 5: Vrednosti saprobnega indeksa in pripadajoči kakovostni razredi (Vir: Urbanič in Toman, 2003).	30
Preglednica 6: Določitev stopnje trofije vodnega telesa na podlagi izračunanega trofičnega indeksa po Rottu (1999) (Vir: Rott in sod., 1999).	31
Preglednica 7: Število taksonov iz posamezne skupine alg in modro-zelenih cepljivk na posameznem vzorčnem mestu dne 18. 7. 2007.	44
Preglednica 8: Število taksonov iz posamezne skupine alg in modro-zelenih cepljivk na posameznem vzorčnem mestu dne 14. 11. 2007.	44
Preglednica 9: Število taksonov iz posamezne skupine alg in modro-zelenih cepljivk na posameznem vzorčnem mestu dne 27. 4. 2008.	44

KAZALO SLIK

Slika 1: Preprost model odnosov med funkcionalnimi skupinami organizmov v vodnem ekosistemu.....	2
Slika 2: Shema Čistilne naprave Celje (Vir: http://www.vo-ka-celje.si/podjetje/dejavnost/cistilna_Celje.htm).	7
Slika 3: Primer kamna s postrganim perifitonom z zarisanih polj.	25
Slika 4: Keramični lončki z anorganskim ostankom perifitona in nečistoč v njem po žarjenju. Prvi trije lončki predstavljajo tri vzorčna mesta, zadnji je kontrolni, brez perifitona.....	27
Slika 5: Vzorčno mesto Polule 18. 7. 2007 (Vir: avtorsko delo).	33
Slika 6: Ortofoto posnetek z označenim vzorčnim mestom Polule (Vir: http://gis.arso.gov.si/atlasokolja/profile.aspx?id=Atlas_Okolja_AXL@Arso).	33
Slika 7: Vzorčno mesto Tremerje 27. 4. 2008 (Vir: avtorsko delo).	34
Slika 8: Ortofoto posnetek z označenim vzorčnim mestom Tremerje (Vir: http://gis.arso.gov.si/atlasokolja/profile.aspx?id=Atlas_Okolja_AXL@Arso).	34
Slika 9: Vzorčno mesto Laško 18. 7. 2007 (Vir: avtorsko delo).	35
Slika 10: Ortofoto posnetek z označenim vzorčnim mestom Laško (Vir: http://gis.arso.gov.si/atlasokolja/profile.aspx?id=Atlas_Okolja_AXL@Arso).	35
Slika 11: Povprečna hitrost vodnega toka na različnih vzorčnih mestih ob različnih datumih vzorčenja.	36
Slika 12: Zgradba anorganskega substrata na različnih vzorčnih mestih ob različnih datumih vzorčenja.	37
Slika 13: Temperatura vode na različnih vzorčnih mestih ob različnih datumih vzorčenja. ..	38
Slika 14: Koncentracija v vodi raztopljenega kisika na različnih vzorčnih mestih ob različnih datumih vzorčenja.	39
Slika 15: Nasičenost vode s kisikom na različnih vzorčnih mestih ob različnih datumih vzorčenja.	39
Slika 16: Elektroprevodnost na različnih vzorčnih mestih ob različnih datumih vzorčenja. ..	40
Slika 17: pH vrednosti na različnih vzorčnih mestih ob različnih datumih vzorčenja.	40
Slika 18: Koncentracija nitratnih ionov na različnih vzorčnih mestih ob različnih datumih vzorčenja.	41
Slika 19: Koncentracija skupnih suspendiranih snovi na različnih vzorčnih mestih ob različnih datumih vzorčenja.	42
Slika 20: Masa vzorcev perifitona (mg/cm^2) s predstavljenima organskim in anorganskim deležema na različnih vzorčnih mestih ob različnih datumih vzorčenja.....	43
Slika 21: Količina klorofila <i>a</i> (mg/cm^2) na različnih vzorčnih mestih ob različnih datumih vzorčenja.	43
Slika 22: Spreminjanje gostote celic (št. celic/ $\text{cm}^2 \pm \text{SE}$) vrste <i>Homoeothrix varians</i> prikazane na logaritemski skali na različnih vzorčnih mestih ob različnih datumih vzorčenja.	48
Slika 23: Spreminjanje gostote celic (št. celic/ $\text{cm}^2 \pm \text{SE}$) vrste <i>Pleurocapsa minor</i> prikazane na logaritemski skali na različnih vzorčnih mestih ob različnih datumih vzorčenja.	49
Slika 24: Spreminjanje gostote celic (št. celic/ $\text{cm}^2 \pm \text{SE}$) vrste <i>Phormidium</i> sp. prikazane na logaritemski skali na različnih vzorčnih mestih ob različnih datumih vzorčenja.	49
Slika 25: Spreminjanje gostote celic (št. celic/ $\text{cm}^2 \pm \text{SE}$) vrste <i>Achnanthes minutissima</i> prikazane na logaritemski skali na različnih vzorčnih mestih ob različnih datumih vzorčenja.	50

Slika 26: Spreminjanje gostote celic (št. celic/cm ² ± SE) vrste <i>Navicula capitatoradiata</i> prikazane na logaritemski skali na različnih vzorčnih mestih ob različnih datumih vzorčenja.	50
Slika 27: Spreminjanje gostote celic (št. celic/cm ² ± SE) vrste <i>Navicula cryptotenella</i> prikazane na logaritemski skali na različnih vzorčnih mestih ob različnih datumih vzorčenja.	51
Slika 28: Spreminjanje gostote celic (št. celic/cm ² ± SE) vrste <i>Cladophora glomerata</i> prikazane na logaritemski skali na različnih vzorčnih mestih ob različnih datumih vzorčenja.	51
Slika 29: Spreminjanje gostote celic (št. celic/cm ² ± SE) vrste <i>Stigeoclonium tenue</i> prikazane na logaritemski skali na različnih vzorčnih mestih ob različnih datumih vzorčenja.	52
Slika 30: Vrednosti saprobnega indeksa, izračunanega na podlagi prisotnih kremenastih alg, na različnih vzorčnih mestih ob različnih datumih vzorčenja.	53
Slika 31: Vrednosti saprobnega indeksa, izračunanega na podlagi prisotnih vseh alg in modro-zelenih cepljivk, na različnih vzorčnih mestih ob različnih datumih vzorčenja.	53
Slika 32: Vrednosti trofičnega indeksa po Rottu (1999) na različnih vzorčnih mestih ob različnem datumu vzorčenja.	54
Slika 33: Vrednosti Shannon -Wienerjevega diverzitetnega indeksa na različnih vzorčnih mestih ob različnem datumu vzorčenja.	55
Slika 34: Dendrogram različnosti združb kremenastih alg različnih vzorčnih mest ob različnem datumu vzorčenja.	56

KAZALO PRILOG

Priloga A: Karta območja raziskave z označenimi vzorčnimi mesti

Priloga B: Hidromorfološki, fizikalni in kemijski parametri na posameznih vzorčnih mestih ob različnih datumih vzorčenja

Priloga C: Masa vzorcev posušenega perifitona in masa anorganskega dela vzorcev perifitona

Priloga D: Koncentracija klorofila *a* (mg/cm²)

Priloga E: Delež (%) vrst kremenastih alg na posameznem vzorčnem mestu ob različnih datumih vzorčenja

Priloga F: Ocena pogostosti posameznih vrst alg in modro-zelenih cepljivk na posameznem vzorčnem mestu ob porazličnih datumih vzorčenja

Priloga G: Rezultati štetja izbranih taksonov alg in modro-zelenih cepljivk na posameznem vzorčnem mestu ob posameznih datumih vzorčenja

Priloga H: 1. Vrednosti saprobnega indeksa na različnih vzorčnih mestih ob različnih datumih vzorčenja izračunane na podlagi kremenastih alg (a) in na podlagi vseh prisotnih alg in modro-zelenih cepljivk (b)

2. Ocena kakovosti voda na različnih vzorčnih mestih ob različnih datumih vzorčenja na podlagi vrednosti saprobnega indeksa

Priloga I: Vrednosti trofičnega indeksa po Rottu (1999) na različnih vzorčnih mestih ob različnih datumih vzorčenja

Priloga J: Vrednosti Shannon-Wienerjevega diverzitetnega indeksa na različnih vzorčnih mestih ob različnem datumu vzorčenja

OKRAJŠAVE IN SIMBOLI

AQEM	Assessment System for the Ecological Quality of Stream and Rivers throughout Europe using Benthic Macroinvertebrates
ARSO	Agencija Republike Slovenije za okolje
BPK	biološka potreba po kisiku
CaCO_3	apnenec
CO_2	ogljikov dioksid
CO_3^{2-}	karbonatni ion
HCO_3^-	hidrogenkarbonatni ion
K_p	koeficient soodvisnosti površinske hitrosti in globine vode
Laško	vzorčno mesto Laško
MgCO_3	dolomit
PE	populacijski ekvivalent
Polule	vzorčno mesto Polule
SI	saprobni indeks
Tremerje	vzorčno mesto Tremerje

1 UVOD

Človek je od nekdaj spreminjal svoje okolje. Njegov vpliv na vodotoke se odraža v obliki onesnaževanja vode in morfološkega spreminjanja strug in obrečnega prostora. Do začetka industrijske revolucije so večino onesnaženja predstavljale organske snovi, ki so jih vodotoki zaradi razpršenosti virov in razgradljivosti v samočistilnem procesu zlahka razgradili. S širjenjem industrije in povečevanjem urbaniziranih površin so se širila kanalizacijska omrežja, ki so kompleksne, neprečiščene odpadne vode odvajala v vodotoke. Pojavile so se težave povezane s kakovostjo vode: umiranje rib, širjenje smrada, širjenje infekcijskih bolezni... Morfološke spremembe vodotokov, ki smo jih izvajali zaradi preprečevanja poplav, gradnje v poplavnih ravninah, izrabe vodne energije, izboljšanja plovnosti in drugih vzrokov, so še dodatno prispevale k zmanjšanju samočistilne sposobnosti vodotokov.

V želji po ohranjanju naravnega ravnotežja postajajo postopki čiščenja odpadnih voda vse bolj nujni spremljevalci sodobne družbe. Čistilne naprave predstavljajo najpomembnejše ukrepe za izboljševanje kakovosti vodnega okolja. Namen njihove uporabe je zmanjšanje motenj v okolju, kamor se stekajo efluenti, z zagotavljanjem procesov razgradnje snovi in odtranjevanja suspendiranih snovi, patogenov in toksičnih snovi. S tem se negativni vpliv odpadnih voda na naravno okolje močno zmanjša (Urbanič in Toman, 2003).

Obremenjevanje voda s hranili, še posebej s fosfati in nitrati, lahko povzroči velike spremembe v združbah vodnih organizmov. Običajno se poveča biomasa perifitonskih alg in makrofitov, spremenijo se tudi združbe makroinvertebratov (Parr in Mason, 2003). Pomemben vir amonija, nitratov, fosfatov in suspendiranih snovi so tudi izpusti komunalnih čistilnih naprav.

Kakovost vode določajo fizikalne, kemijske in biološke značilnosti. Metode za ocenjevanje kakovosti vodnega okolja na podlagi prisotnosti ali odsotnosti organizmov so se uveljavile šele v zadnjih desetletjih. Danes kakovost voda najpogosteje vrednotimo na osnovi makroinvertebratov, rib, perifitona in makrofitov. Združba perifitona odraža ekološke razmere, posamezne vrste pa specifične ekološke razmere in s tem povezano stopnjo obremenjenosti.

Namen diplomske naloge je bil spremljanje longitudinalnih sprememb različnih abiotskih in biotskih dejavnikov v reki Savinji s ciljem oceniti vpliv s hranili bogate očiščene odpadne vode iz Centralne čistilne naprave Celje na perifitonsko združbo reke Savinje. Z različnimi metodami smo analizirali abiotske dejavnike in perifitonske združbe na različnih vzorčnih mestih ter ocenili kakovost reke Savinje.

Predvidevali smo, da s hranili bogata voda iz čistilne naprave Celje v odvodniku povzroči povečanje biomase in spremembe v vrstnem sestavu perifitonske združbe ter poslabša kakovost reke Savinje.

2 PREGLED OBJAV

2.1 SAMOČIŠČENJE

Kroženje snovi in pretok energije sta neločljivo povezana procesa. Mehanizem, ki v naravnem vodnem telesu povezuje vse dejavnike in okoliščine, bistveno sodeluje pri ravnotežnostnem optimumu in v katerem potekajo energetske in snovne spremembe, je samočiščenje (Rejic, 1988).

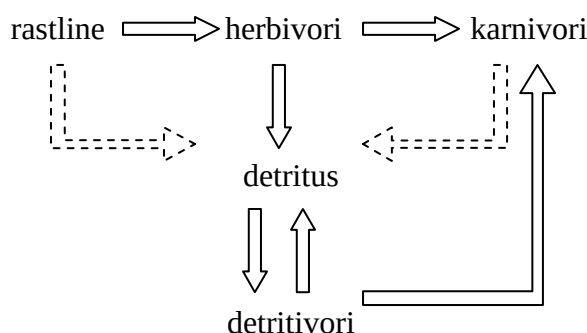
Samočiščenje je v bistvu kroženje snovi, katerega nosilci so organizmi. Rezultat samočiščenja je prilagoditev združbe na vnos snovi. Sestavljeno je iz nebiološkega in biološkega dela ter je lahko popolno ali nepopolno (Toman, 2007).

2.1.1 Nebiološko samočiščenje

Nebiološko samočiščenje vključuje številne fizikalne in kemijske procese, ki lahko potekajo v vodnih telesih. Takšni so npr. usedanje delcev, nevtralizacija na območjih z močnim karbonatnim ravnovesjem, večja prezračevost zaradi turbulentnosti vodnega toka, odnašanje delcev.

2.1.2 Biološko samočiščenje

Je najpomembnejši nosilec kroženja snovi in pretoka energije v vodnem okolju. Izvajalci biološkega samočiščenja so vse populacije v celotni življenjski združbi, ki jih po dejavnosti razvrščamo v tri skupine: proizvajalci (producenti), potrošniki (konzumenti) in razgrajevalci (dekompozitorji). Proizvajalci (rastline) z uporabo sončne energije proizvajajo iz pretežno anorganskih snovi nove razgradljive snovi, ki jih vgrajujejo v biomaso. Potrošniki (herbivori, karnivori, omnivori) se hranijo z vodnimi prebivalci, njihovimi ostanki in iztrebki. Del pojedene biomase pretvorijo v lastno biomaso, ostalo izločijo ali iztrebijo. Razgrajevalci se hranijo z ostanki, izločki in iztrebki. Uporabne vmesne proizvode razgradnje vgradijo v lastno biomaso, ostalo se v nadaljni razgradnji razgradi do anorganskih spojin. Te pa spet uporabljajo proizvajalci, da jih s pomočjo sončeve energije povežejo v novo biomaso. Če so v vodnem okolju prisotne vse tri funkcionalne skupine organizmov, poteka popolno biološko samočiščenje (slika 1), sicer je samočiščenje nepopolno (Rejic, 1988).



Slika 1: Preprost model odnosov med funkcionalnimi skupinami organizmov v vodnem ekosistemu.

2.1.2.1 Potek biološkega samočiščenja v vodotoku

Po pritoku razgradljive odpadne vode v še čisti vodotok ni v določeni razdalji opaziti nobenih sprememb v združbah. Razlaga za to je neprilagojenost prisotne združbe na spremenjene razmere, na močno povečano ponudbo hrane. Ko se življenjska združba številčno in vrstno preuredi, kakor zahtevajo nove razmere, se prične proces samočiščenja, očitne fizikalne, kemijske in biološke spremembe se pojavijo v vodi in usedlinah. Kalnost, ki se poveča že zaradi prisotne odpadne vode in jo dodatno povečujejo številni razgrajevalci, onemogoča rast proizvajalcev. Živahna razgradnja porablja veliko raztopljenega kisika, fizikalno prezračevanje pa ob odsotnosti biogenega prezračevanja ne more vzdrževati nasičenosti s kisikom. Nitrifikacija in denitrifikacija nista izraziti, mineralizacija je skromna. V usedlinah in v vodni plasti nad njimi se lahko pojavi anaerobno okolje in produkti anaerobne razgradnje (vodikov sulfid in metan). Za to stopnjo samočiščenja so značilne številne populacije nitastih in suspendiranih bakterij.

Razgradnja vzdolž struge napreduje predvsem na račun lažje razgradljivih snovi, na voljo so že proizvodi remineralizacije. Količina razgradljivih snovi se zmanjšuje, zmanjšuje se število razgrajevalcev, voda se zbistri, vonj po odpadni vodi slabi. Izboljšane svetlobne razmere omogočajo obstoj proizvajalcev. Ob fizikalnem se pojavi biogeno prezračevanje, kar izboljšuje kisikove razmere, vendar je nihanje koncentracije med dnevom in nočjo veliko. Vsebnost nitratnih, fosfatnih in amonijevih ionov se poveča. V življenjski združbi so dobro zastopane nitaste in suspendirane bakterije, primarne producente predstavljajo predvsem številne modro-zelene cepljivke in nekatere kremenaste alge. Med potrošniki so pogosti bičkarji, migetalkarji, maloščetinci, ličinke dvokrilcev, precej je polžev in školjk.

V naslednji fazi biološkega samočiščenja so od razgradljivih snovi iz odpadne vode ostale samo še težje razgradljive, lažje razgradljive in del težje razgradljivih prispeva odmiranje vodnih organizmov. Voda ni več kalna in nima vonja, svetlobne in kisikove razmere so ugodne, mineralizacija doseže visoko stopnjo. Življenjska združba je pestra in številna, število bakterij je nizko, kolonijskih ni, alge so pogoste, značilne so zelene nitaste. Pogoste so tudi višje podvodne rastline. Pestri so tudi potrošniki, pogoste so ličinke žuželk, vrstno pestra in številna je populacija rib.

V zadnjem delu biološkega samočiščenja je remineralizacija praktično zaključena, ostale so le težko razgradljive snovi, prisotnost lažje razgradljivih snovi je izključno posledica odmiranja. Voda je nasičena s kisikom, nitrifikacija nemoteno poteka, denitrifikacije ni. Življenjska združba je nekoliko manj pestra in številna. Med proizvajalci so na prvem mestu kremenaste alge, med potrošniki pa ličinke žuželk in salmonide vrste rib, število bakterij je še nižje. Razmerje med proizvajalci, porabniki in razgrajevalci je takšno kot pred onesnaženjem (Rejic, 1988).

2.2 ČISTILNE NAPRAVE

Postopki čiščenja odpadnih voda postajajo v želji po ohranjanju naravnega okolja vse bolj nujni. Danes čistilne naprave predstavljajo najpomembnejše ukrepe za izboljševanje kakovosti vodnega okolja. Namen njihove uporabe je zmanjšanje motenj v okolju, kamor se stekajo efluenti, z zagotavljanjem procesov razgradnje snovi in odstranjevanja suspendiranih snovi, patogenov in toksičnih snovi. Čiščenje odpadnih voda poteka na osnovi fizikalnih, kemijskih in biotskih procesov. Različne procese lahko uporabljamo posamič ali skupaj odvisno od vrste in količine odpadnih voda ter njihove obremenitve. Najboljša ekološka rešitev za čiščenje biotsko razgradljivih ali delno razgradljivih odpadnih voda so nedvomno biološke čistilne naprave, saj je biološko čiščenje najbolj podobno kroženju snovi in pretoku energije v vodnem okolju. Tradicionalno biološko čiščenje delimo v tri stopnje: primarno, sekundarno in terciarno.

2.2.1 Primarna stopnja čiščenja

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

2.2.2 Sekundarna stopnja čiščenja

Druga stopnja čiščenja vključuje predvsem biokemijske procese razgradnje. Cilj postopkov je zmanjšati količino vseh organskih snovi v odpadni vodi. Glede na to, ali mikroorganizmi razgrajujejo organske snovi v prisotnosti ali odsotnosti kisika, razlikujemo aerobno in anaerobno biološko čiščenje.

2.2.2.1 Aerobno biološko čiščenje

V aerobnih bioloških postopkih organizmi biokemijsko razgradijo organske snovi v nizkomolekularne organske snovi in v končni fazi oksidirajo do anorganskih. To so procesi, ki podobno potekajo tudi pri naravnem biološkem samočiščenju, le da na sekundarni stopnji v bioloških čistilnih napravah ni primarnih producentov. Čiščenje zato ni popolno. Očiščena voda je razbremenjena le organskih snovi, vsebuje pa nutriende. Izpust z nutrienti bogate vode v odvodnik lahko v stoječih vodah povzroči evtrofikacijske procese in s tem sekundarno onesnaženje. Nosilci aerobnega čiščenja so organizmi oziroma aktivna biomasa. Razlikujemo dva tipa biomase in glede na to dva tipa bioloških čistilnih naprav: naprave z razpršeno biomaso in naprave s priraslo biomaso.

2.2.2.1.1 Čistilne naprave z razpršeno biomaso

V čistilnih napravah z razpršeno biomaso, imenovano aktivno blato, je dogajanje podobno kot v prosti vodi, vendar je v njih močno povečana koncentracija organizmov na prostorsko enoto. Čistilna naprava sestoji iz prezračevalnika, kjer poteka proces biokemijske razgradnje organskih snovi s pomočjo mikroorganizmov združbe aktivnega blata in sekundarnega usedalnika, kjer se ločita očiščena voda in aktivno blato.

Osnovni del združbe aktivnega blata je kosem, ki ga oblikujejo bakterijske populacije in poseljujejo organizmi spremljajoče združbe. Med kosmi je intersticijska tekočina z dispergiranimi bakterijami, prostoplavajočimi bičkarji, migetalkarji in drugimi mnogoceličarji. Življenjsko združbo suspenzije aktivnega blata lahko ekološko razdelimo na razgrajevalce in porabnike. Razgrajevalci so organizmi, ki biokemijsko oksidirajo prisotne organske snovi. To skupino sestavljajo bakterije in glive. Porabniki so organizmi spremljajoče združbe, ki se posredno vključujejo v proces čiščenja. Njihova primarna vloga je kontrola populacij dispergiranih bakterij, s katerimi se prehranjujejo. Prispevajo do 30% zmanjšanja obremenitve čistilne naprave in so indikatorji stanja v čistilnih napravah. Najznačilnejše skupine porabnikov so: bičkarji (Cillata), korenonožci (Rhizopoda), migetalkarji (Ciliata), kotačniki (Rotatoria), maloščetinci (Oligochaeta), glista (Nematoda).

2.2.2.1.2 Čistilne naprave s priraslo biomaso

V teh čistilnih napravah je biološko samočiščenje podobno procesom v obrasti na rečnem dnu. V čistilnih napravah s priraslo biomaso so organizmi v obliki biofilma pritrjeni na polnilo. Primeri takšnih čistilnih naprav so precejalniki, biofiltri in biodiski. Na polnilo se pritrjujejo mikroorganizmi, ki jih skupaj z organskimi snovmi prinaša odpadna voda. Organizmi razgrajujejo organske snovi, debelina biofilma se zaradi njihovega razmnoževanja večja. Deli novonastale obrasti se trgajo od podlage in odteka v sekundarni usedalnik, kjer se ločijo od očiščene vode. Glavni del obrasti so nitaste bakterije in glive, ki se med seboj povezujejo v skupke, podobne kosmom aktivnega blata. V primerjavi z aktivnim blatom prevladujejo pritrjene vrste spremljajočih organizmov, katerih pomembna vloga je rahljanje biofilma.

2.2.2.2 Anaerobno biološko čiščenje

Anaerobni postopki, imenovani anaerobna digestija ali anaerobno gnitje, potekajo v odsotnosti kisika in temeljijo na metanogenezi. Produkti biokemijske razgradnje so nizkomolekularne organske snovi in v končni fazi plini, imenovani bioplín. Glavne prednosti pred aerobnimi čistilnimi napravami so: majhna produkcija biomase, skromne potrebe mikrobov po hranilih, uporabnost bioplina, visoka zmogljivost procesov. Slabosti te tehnologije so: občutljivost procesov na nekatere toksikante, potreba po nadaljnji obdelavi odpadnih vod pred dokončnim izpustom, daljši čas za optimalno delovanje čistilne naprave.

Anaerobni metanogeni postopki so se uveljavili kot sekundarni postopki stabilizacije blata aerobnih čistilnih stopenj in kot primarni postopki čiščenja nekaterih industrijskih odplak (Urbanič in Toman, 2003).

2.2.3 Terciarna stopnja čiščenja

Po zmanjšanju organskih snovi v sekundarnem čiščenju mora slediti še terciarno čiščenje. Potrebno je takrat, kadar želimo zmanjšati količino določenih snovi v efluentu pred izpustom v naravno okolje. Pogosti razlogi za uvedbo terciarne stopnje so previsoke vrednosti BPK, amonija, nitratov, fosfatov, in suspendiranih snovi. Za zmanjšanje teh vrednosti se uporabljajo različni biološki filtri, modificirani procesi čiščenja z aktivnim blatom za odstranjevanje nitratov in fosfatov ter ionski izmenjevalci za anorganske ione. Pogosto so v terciarni del čiščenja vključene rastlinske čistilne naprave, ki pa so danes v večini primerov samostojni čistilni sistemi (Urbanič in Toman, 2003).

2.3 CENTRALNA ČISTILNA NAPRAVA CELJE

Odpadne vode so Savinjo in druge vodotoke tako onesnažile, da so bili poleg živali in rastlin ogroženi tudi ljudje (Centralna čistilna ..., 2004). Z namenom izboljšanja kvalitete okolja se je Mestna občina Celje odločila za gradnjo čistilne naprave za odpadne vode Celja in okoliških naselij (Centralna čistilna ..., 2002). Z mesecem februarjem leta 2004 se je pričelo dvesto-dnevno poskusno obratovanje, v katerem je naprava dosegla zahtevane parametre čiščenja (Centralna čistilna ..., 2004).

2.3.1 Lokacija Centralne čistilne naprave

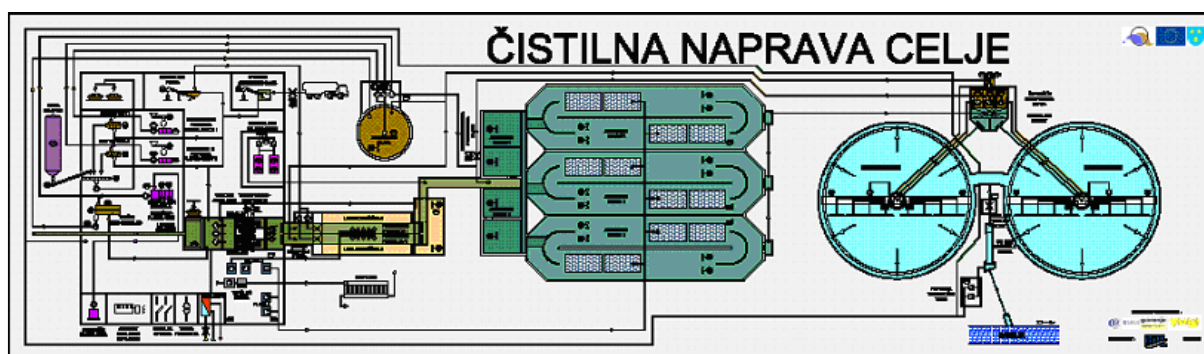
Čistilna naprava se nahaja severovzhodno od naselja Tremerje in je od naselja oddaljena 450 m zračne črte. Območje obsega 26.000 m² in leži tik pred stičiščem železniške proge Zidani most – Celje in lokalne ceste Celje – Laško na levi strani Savinje pod vznožjem Vipote (Centralna čistilna ..., 2002).

2.3.2 Tehnologija čiščenja

V obstoječem stanju se večina celjskih odpadnih vod zbira v dveh glavnih kolektorjih GZ1 in GZ2. GZ1 in GZ2 se v združitvenem objektu na sotočju Savinje in Voglajne združita v glavni zbiralnik GZ0, ki poteka po levem bregu Savinje do lokacije čistilne naprave (Centralna čistilna ..., 2002).

Čiščenje odpadne vode obsega odstranjevanje mehanskih delcev, organskih, dušikovih in fosforjevih spojin. Odpadna voda priteče v čistilno napravo v lovilec gramoza. Nato voda teče preko betonskega preliva v vhodno črpališče s tremi potopnimi črpalkami, ki odpadno vodo dvignejo na koto grabelj. Voda teče gravitacijsko do iztoka v reko Savinjo. V postaji grabelj so nameščene dvojne elektromotorne verižne grablje ter ročne paličaste grablje. Odpadki z grabelj se strojno odstranjujejo na polžni transporter-kompaktor, kjer se odpadki dehidrirajo in padejo v kolesni zabojnik. Iztisnjena voda se vrača v čiščenje. Pred dotokom v ozračeni peskolov gre voda preko merilne postaje, kjer se merijo pH vrednosti, temperatura in elektroprevodnost. Odpadna voda nato teče v ozračeni peskolov, kjer se pesek loči od vode in se odlaga v kontejnerje ter maščobnik, v katerem se posname plavajoča maščoba (Centralna čistilna ..., 2002). Biološko čiščenje odpadne vode poteka s suspenzijo biološkega blata. Do obremenitve cca 75.000 PE naprava obratuje kot naprava z

aerobno stabilizacijo blata (podaljšana aeracija). Ko se bo obremenitev naprave povečala nad omenjeno vrednost (predvidoma naj bi bila končna obremenitev naprave do 85.000 PE), je predvidena dostabilizacija blata z doziranjem apna k že zgoščenemu blatu. Dušikove spojine se odstranjujejo z intermitenčno nitri/denitrifikacijo, fosforjeve spojine pa s kombiniranim biološko - kemijskim izločanjem fosforja. V ta namen sta zgrajena anaerobna bazena. Potreben kisik za delovanje mikroorganizmov v suspenziji biološkega blata se v prezračevalne/aerobne bazene dovaja preko puhal s stisnjenim zrakom. Podvodna mešala, vgrajena v anaerobnem bazenu, anoksičnem in oksičnem delu prezračevalnega bazena, mešajo vsebino bazenov in preprečujejo usedanje aktivnega blata na dnu bazenov. Linija blata se začne v naknadnih usedalnikih, kjer se blato loči od očiščene vode. Po strojnem zgoščevanju v centrifugi se transportira na odlagališče komunalnih odpadkov (Centralna čistilna ..., 2002).



Slika 2: Shema Čistilne naprave Celje (Vir: http://www.vo-ka-celje.si/podjetje/dejavnost/cistilna_Celje.htm).

2.3.3 Vpliv na okolje

Pozitivni učinki čistilne naprave so zaznavni v izboljšani kakovosti reke Savinje in Save, negativni vplivi so omejeni na območje čistilne naprave ali na njeno neposredno okolico. Vonjave iz čistilne naprave so omejene na območje znotraj ograje. Hrup, ki ga povzroča čistilna naprava v obratovanju, je manjši kot je hrup, ki ga povzroča železnica. Obratovanje Čistilne naprave Celje je zmanjšalo obremenjevanje okolja z odpadnimi vodami, pri tem pa ni bistveno prizadelo drugih sestavin okolja.

2.4 GEOGRAFSKE ZNAČILNOSTI REKE SAVINJE

Savinja je levi pritok Save, dolg 92,5 km. Njeno porečje meri 1858 km². Izvira v Kamniško-Savinjskih Alpah in se izliva v Savo pri Zidanem mostu. V gorskem svetu teče Savinja s pritoki po tesnih in globokih dolinah, med Ljubnim ob Savinji in Mozirjem se njena dolina razširi. Tu sprejme Rečico z leve in Dreto z desne strani, v Mozirski kotlinici pa Mozirnico, Trnavo in Ljubijo. Vzhodno od Letuša prehaja v Celjsko kotlino, v kateri dobiva več močnih pritokov: z leve Pako in blizu Celja Ložnico s Trnavo in Pirešico ter Voglajno s Hudinjo, z desne pa Bolsko. V Celju zapušča v ostrem kolenu Celjsko kotlino ter se v tesni in globoki dolini prebija prečno skozi Posavsko hribovje, pri Laškem, kjer teče po mehkejših terciarnih kamninah, je dolina spet širša (Voglar, 1996).

Večji del porečja Savinje je iz apnenca in dolomita, iz katerih priteka voda na dan kot močni kraški izviri. Površje nižjih leg ob Savinji sestavljajo mlajše usedline. Še posebej izstopajo prod, konglomerat, glinovec, meljevec, peščenjak in lapor. V Mozirski kotlini in Celjski kotlini je Savinja v prodnih nanosih izoblikovala rečne terase (Perko in Oražen Adamič, 1998).

Savinja je vodnata reka, ki odmak območja z obilnimi padavinami. V Kamniško-Savinjskih Alpah in Karavankah pade povprečno letno 1550-1620 mm padavin, drugod med 1100 in 1300 mm. Skoraj v vsem toku je hudourniška reka s povprečnim strmcm 5,7 ‰ (Voglar, 1996). Reka ima dežno-snežni režim. Najvišje vode ima novembra in maja, najnižji vodostaj pa poleti in pozimi (Perko in Oražen Adamič, 1998).

Savinja je ob izviru alpska reka, malo mineralizirana in čista, že pod prvimi naselji se njena kakovost poslabša. Komunalne in industrijske odpadne vode, kmetijstvo, ter onesnaženi pritoki so vzroki, da so v reki v preteklosti pogosto izmerili visoke vsebnosti dušikovih spojin, detergentov, bakterij fekalnega izvora, mineralnih olj, fenolnih spojin, pesticidov in težkih kovin (Voglar, 1996).

Kemijsko stanje na vzorčnih mestih Luče, Letuš, Braslovče, Grušovje, Medlog, Tremerje in Rimske Toplice je bilo med leti 2002 in 2006 dobro. Le na vzorčnem mestu Veliko Širje so v letu 2003 ocenili slabo kemijsko stanje zaradi prevelike vsebnosti organsko vezanih halogenov (AOX). Po saprobiološki oceni vodotoka se Savinja v zadnjih letih v zgornjem toku uvršča v 1.do 2. in v spodnjem toku v 2. kakovostni razred (Dobnikar Tehovnik in sod., 2008).

2.5 PERIFITON

2.5.1 Definicija

S pojmom perifiton označujemo združbo avtotrofnih in heterotrofnih, predvsem mikroskopskih organizmov v vodah, ki so stalno ali občasno pritrjeni na substrat v vodnih telesih. Perifiton je prisoten v vodotokih in v litoralu stojećih voda. Združbo predstavljajo primarni producenti (predvsem zelene alge, diatomeje, modro-zelene cepljivke), glive, protozoi (pretežno migetalkarji, bičkarji in korenonožci) ter mnogoceličarji (kotačniki, gliste, in trebuchodlačniki) (Urbanič in Toman, 2003).

Wetzel (2001) je definiral združbo perifitona kot združbo alg, bakterij, gliv, anorganskega in organskega detritusa, ki je pritrjena na organski ali anorganski substrat (živ ali mrtev). Perifiton je združba enoceličnih, kolonijskih ali nitastih organizmov, ki rastejo pritrjeni na substrat v vodo tokih ali v litoralnih conah jezer (Graham in Wilcox, 2000). Mnoge raziskave zajemajo le posamezne komponente združbe. Če so raziskave omejene le na avtotrofni del združbe, zajema pojem perifiton samo alge (Whitton, 1975).

2.5.2 Sistematska delitev alg

Alge so zelo heterogena skupina organizmov, katere predstavniki so se najverjetneje večkrat neodvisno razvili iz neavtotrofnih prednikov, a jih zaradi morfološke, fiziološke in ekološke podobnosti obravnavamo skupaj. Zato tej skupini organizmov ne prisojamo nobenega formalnega taksonomskega ranga (npr. podkraljestvo ali naddeblo). So tipične steljčnice, katerih razmnoževalni organi so v zasnovi enocelični in brez ovoja sterilnih celic. Njihova celična stena je v osnovi celulozna, vezane so pretežno na vodna okolja (Jogan, 2001).

Za klasifikacijo alg so najpomembnejše biokemijske značilnosti: struktura fotosintetskih pigmentov, hranil, celične stene, poleg tega pa še način razmnoževanja, tip gibljivih oblik, tip preroda (Jogan, 2001).

2.5.2.1 Euglenophyta - evglenofiti

Evglenofite obravnavajo tako botaniki kot zoologi, saj mednje uvrščamo avtotrofne in heterotrofne predstavnike, poleg tega so številni avtotrofni predstavniki pravzaprav miksotrofi. So monadni, večinoma prostoplavajoči organizmi. V kloroplastih imajo prisotne pigmente klorofil *a* in *b*, beta karoten in nekatere ksantofile. Pri nekaterih vrstah so v kloroplastih tudi pirenoidi, ki so skladišča rezervnih snovi (paramilon). Celične stene ni, pri številnih je prisotna proteinska pelikula. Premikajo se s pomočjo dveh različno ali enako dolgih bičkov. Razmnožujejo se vegetativno z vzdolžno delitvijo in spolno z izogamijo. Razširjene so v toplih in z organskimi snovmi bogatih celinskih, predvsem stojećih vodah ter v vodotokih, ki so povezani s stojećimi vodami. Nekatere vrste npr. *Euglena sanguinea* lahko povzročijo cvetenje jezer.

2.5.2.2 Dinophyta (Pyrrophyta) - ognjene alge

Ognjene alge so biciliatni, heterokontni bičkarji, večinoma so enocelični organizmi redkeje v kokalni ali trihalni organizaciji. Imajo več fotosintetskih barvil (klorofil *a* in *c*, karotene, peridin, diadinoksantin). Številne vrste imajo celulozno celično steno in pelikulo iz celuloznih ploščic pod plazmalemo, pri drugih celična stena manjka. Razmnožujejo se prdvsem vegetativno z delitvijo celic, tudi nespolno z zoosporami ali aplanosporami, zelo redko pa spolno. So haplonti. Polovica predstavnikov je heterotrofnih, nekateri od njih so sekundarno avtotrofni, pogosta je miksotrofija. Večino vrst najdemo v morskem planktonu, le desetina vrst živi v celinskih vodah. Nekateri predstavniki (npr. *Gymnodium breve*, *Pyrodinium phoneus*, *Gonyaulax monilata*) lahko povzročajo cvetenje voda in ob masovni namnožitvi izločajo močne strupe.

2.5.2.3 Chlorophyta – zelene alge

Zelene alge so precej velika (približno 15000 vrst) in pestra skupina, ki kaže po biokemičnih značilnostih in ultrastrukturi sorodnost z višjimi rastlinami. Med zelenimi algami najdemo predstavnike vseh organizacijskih nivojev razen pravega parenhimatskega. V kloroplastih prevladujeta pigmenta klorofil *a* in *b*, prisotno so še klorofil *c*, karoteni in ksantofili. Celična stena nastaja zunaj plazmaleme in je iz celuloze, pektinov in glikoproteinov. Razmnožujejo se z različnimi tipi spolnega, nespolnega in vegetativnega razmnoževanja ter preroda. Večinoma so haplonti, nekaj je tudi haplodiplontov. Čeprav so večinoma avtotrofi so med njimi tudi zančilne miksotrofne vrste. Večina skupin in vrst živi v celinskih vodah, več vrst je morskih, nekaj pa tudi kopenskih in epifitskih. Pogosto se povezujejo z drugimi organizmi, tako avtotrofnimi kot heterotrofnimi (simbionti, paraziti, epifiti). Tradicionalno zelene alge delimo v tri razrede: Chlorophyceae, Zygnemophyceae in Charophyceae. Sodobne delitve, ki temeljijo na novih evolucijsko pomembnih znakih delijo zelene alge v številne nove razrede. Splošno znani rodovi so: *Chlamidomonas*, *Volvox*, *Chlorella*, *Pediastrum*, *Ankistrodesmus*, *Scenedesmus*, *Ulothrix*, *Ulva*, *Stigeoclonium*, *Draparnaldia*, *Oedogonium*, *Cladophora*, *Zygnema*, *Spirogira*, *Closterium*, idr.

2.5.2.4 Xanthophyta – rumene alge

Rumene alge so morfološko raznolika skupina kokalnih, sifonalnih, sifonokladalnih, rizopodialnih, trihalnih in kolonijskih alg. V njihovih kloroplastih najdemo večinoma klorofil *a*, redkeje tudi klorofil *c* in *e* in ksantofile. Dvodelna, celulozna in pektinska celična stena je lahko okremenela. Spolno razmnoževanje je redko (npr. pri rodu *Vauscheria*), večinoma se razmnožujejo nespolno. Neugodne razmere preživijo kot spore. Večina vrst je avtotrofnih, nekateri rizopodialni predstavniki so miksotrofi. Največ vrst je v celinskih vodah, nekaj vrst živi na vlažnih tleh ali epifitsko, redke so morske. V tekočih vodah je prisotnih le nekaj vrst iz rodov *Vauscheria* spp. in *Tribonema* spp. V ti skupini spadajo predstavniki, ki se lahko lokalno močno namnožijo in v celoti prerastejo substrat.

2.5.2.5 Chrysophyta – zlatorjave alge

So skupina alg s predvsem monadnimi, kokalnimi, kapsalnimi in rizopodialnimi predstavniki, redki so tudi trihalni. Kloroplasti vsebujejo barvila klorofil *a* in *c* ter fukoksantin. Celična stena je iz celuloze in pektinov, pod plazmalemo so lahko prisotne kremenaste luske. So haplonti, ki se razmnožujejo pretežno nespolno z zoo- in aplanosporami. Precej vrst je miksotrofov, nekatere so sposobne tudi fagotrofije. Gibljivi predstavniki so biciliatni, heterokontni, krajši biček je pogosto reduciran. Živijo v celinskih in brakičnih vodah ter v morju. Značilne so za hladne, čiste tekoče vode zmernih klimatov (npr. *Hydrurus foetidus*), le nekatere so epifitske ali bentične, mnoge so planktoni.

2.5.2.6 Bacillariophyta (Diatomeae) – kremenaste alge

Diatomeje so ena najpomembnejših skupin alg v celinskih vodah. Večina vrst je kokalno organiziranih, nekatere tvorijo rahle nitaste ali galertaste kolonije. V kloroplastih so prisotna barvila klorofil *a* in *c*, alfa in beta karoten in različni ksantofili. Celična stena je v osnovi pektinska, pod plazmalemo se zasnjuje kremenasta lupinica imenovana tudi frustula ali teka. Ta sestoji iz dveh delov (epiteka, hipoteka), ki se med seboj ujemata kot škatla za čevlje. Celotna kremenasta hišica je bogato in vrstno specifično strukturirana. Glede na obliko in simetrijo teke razdelimo kremenaste alge na dve skupini: Centrales (radialno simetrične) in Pennales (bilateralno simetrične). Veliko diatomej ima tudi podolgovato režo, odprtino v kremenasti lupinici, ki jo imenujemo rafa. Tiste, ki jo imajo, lahko lezejo po podlagi. Vegetativno se razmnožujejo z delitvijo. Ob delitvi celic vsaka na novo nastala celica dobi en del teke in manjkajoči del nadomesti kot hipoteko. Tako se velikost posameznih celic postopoma manjša in ob kritični velikosti, značilni za določeno vrsto, pride do spolnega razmnoževanja. Kremenaste alge najdemo v vseh vrstah voda, v vlažni zemlji, nekaj je tudi simbiotskih vrst foraminifer. V celinskih vodah se množično pojavljajo spomladi in jeseni. Njihov pomen v vodnih ekosistemih je izjemen, saj proizvedejo 20 – 25 % celotne organske mase na Zemlji. Precej vrst je fakultativnih heterotrofov. Značilni rodovi centričnih kremenastih alg so *Meridion*, *Cyclotella*, *Stephanodiscus*. Med penalnimi ločujemo tri redove, glede na prisotnost ali odsotnost rafe; Araphales (*Fragilaria*, *Synedra*, *Asterionella*, *Tabellaria*, *Diatoma*, *Melosira*); Monoraphales (*Cocconeis* in *Achnanthes*) ter Diraphales (*Pinnularia*, *Navicula*, *Gyrosigma*, *Cymbella*, *Gomphonema*).

2.5.2.7 Rhodophyta – rdeče alge

So vsaj 600 milijonov let stara skupina alg. Večina vrst je trihalnih, nekaj kokalnih. V kloroplastih so prisotna barvila klorofil *a* in *d*, alfa in beta karoten, ksantofili ter fikobilina (fikocian in fikoeritrin). Fikobilina sta sicer drugače zgrajena kot pri modrozelenih cepljivkah, a vse kaže, da so plastidi rdečih alg nastali iz simbiotsko povezanih modrozelenih cepljivk. Celična stena je večplastna, znotraj celulozna in zunaj pektinska. Pogosto je inkrustrirana s CaCO_3 ali MgCO_3 . Razmnožujejo se z zapletenim prerodom, nespolno z različnimi tipi aplanospor in spolno z oogamijo. Večina vrst živi v toplih morjih. Značilna rodova celinskih voda sta *Batrachospermum* in *Lemanea*, vezana na čisto vodo, bogato s kisikom. Rdeče alge delimo na dva razreda: Bangiophyceae in Florideophyceae (Jogan, 2001, Toman, 1996a).

2.5.3 *Cyanobacteria* (Cianophyta) – modro-zelene cepljivke

Modro-zelene cepljivke so aerobne fotoavtotrofne bakterije, ki jih zaradi navidezne podobnosti (velikost, morfologija, klorofil) z algami pogosto nepravilno imenujemo kar modro-zelene alge. So najstarejša skupina fotoavtotrofnih organizmov na Zemlji s prokariotsko organizacijo, brez gibljivih oblik in vegetativnim načinom razmnoževanja. Ločimo kokalne, kapsalne in trihalne organizacijske oblike. Vsebujejo barvila klorofil *a*, beta karoten, ksantofile in fikobiline. Predvsem pri nekaterih nitastih vrstah se pojavljajo posebne celice imenovane heterociste. V teh celicah, v katerih so razmere anaerobne, je značilen proces fiksacije atmosferskega dušika. Modro-zelene cepljivke najdemo v najrazličnejših življenjskih okoljih, največ v celinskih vodah in tleh. Številne vrste živijo v simbiozi z drugimi organizmi. Modro-zelene cepljivke se lahko v organsko onesnaženih stoječih vodah močno namnožijo in povzročijo cvetenje jezer. Nekatere vrste (npr. *Aphanizomenon flos-aquae*, *Anabaena flos-aquae*, *Microcystis aeruginosa*) pa lahko v določenih razmerah izločajo tudi mikrocistine, ki so toksični za vodne in kopenske živali. Cyanophyceae so edini razred modro-zelenih cepljivk, delimo ga v več redov (npr. Chroococcales, Oscillatoriales, Hormogonales) (Jogan, 2001).

2.5.4 Delitev perifitona glede na podlago

Perifitonske alge najpogosteje delimo na: epilitske, epifitske, epipelične alge. Poleg omenjenih glavnih skupin so še nekatere (npr. epizamne, epizoične, endolitske, epimetalne), ki zaradi količinske nepomembnosti njihove podlage v vodotokih nimajo pomembnejše vloge.

2.5.4.1 Epilitske alge

Epilitske alge rastejo na trdnih usedlinah kot so skale, kamni, prodniki (Stevenson, 1996). Združbe epilitskih alg se razvijejo v tistih delih vodotokov, kjer je tok vode dovolj hiter, da preprečuje usedanje finih delcev. Alge se na podlagi obdržijo s pomočjo specifičnih mehanizmov za pritrjanje: posamezne celice alge *Ulothrix* imajo izrastke, vrste iz rodu *Cladophora* imajo rizoidalne izrastke na bazalni celici, kremenaste alge izločajo različne želatinozne snovi, ki omogočajo pritrjanje. Pri skupini Rhodophyta se talus tesno prilega na kamnite usedline. Pri manj trdnih usedlinah lahko nekatere vrste delno (npr. rod *Gongrosira*) ali popolnoma (npr. rod *Shizothrix*) endolitsko prodrejo v kamne (Hynes, 1979).

2.5.4.2 Epifitske alge

Pojavljajo se na živem in že odmrlem rastlinskem materialu. Najpogosteje naseljujejo liste in stebela potopljenih makrofitov, ki lahko tvorijo lokalno mikrookolje, kjer so zmanjšane hitrosti vodnega toka in manjše turbulence vode. Makrofiti lahko v tekočih vodah nudijo podlago za večje enocelične alge (npr. rod *Closterium*), za manj čvrste nitaste in kolonijske oblike (npr. rod *Alaucoseria*, rod *Oncobyrsa*), nepritrjene alge (npr. rod *Cryptomonas*) in prosto plavajoče živali, kot so vrste iz rodu *Daphnia* (Reynolds, 1995). Prisotnost epifitskih alg je odvisna od letnega časa, rasti makrofitov in pogostosti visokih vod

(Reynolds, 1992). Pritrjanje alg na rastline prinaša ugodnosti tako algi kot rastlini. Za algo je izboljšán dostop do svetlobe in hranil, rastlina pa je boljše zaščitená pred rastlinojedimi vodnimi nevretenčarji (Hutchinson, 1975).

2.5.4.3 Epipelične alge

To so alge, ki živijo na mehkih usedlinah v litoralu jezer in v območjih počasnega toka rek, kjer se odlagajo majhni prodniki, pesek in mulj. Prilagojene so na drobne, premikajoče usedline in so sposobne migracije v zaporednih ciklih, da zaradi prekritosti z usedlinami nadomestijo zmanjšanje svetlobe (Wetzel, 1983). Migracijska sposobnost alg ni pomembna samo za vzdrževanje določene svetlobe, ampak tudi za zmanjšanje vplivov toksičnih metabolitov in produktov, ki so prisotni v usedlinah (Reynolds, 1995). Med epipeličnimi algami prevladujejo kremenaste alge, sledijo jim cianobakterije, pogoste so tudi vrste iz skupin Euglenophyta in Dynophyta.

2.5.5 Abiotski dejavniki, ki vplivajo na strukturo in funkcijo perifitona

Razvoj in zgradba perifitonske združbe sta odvisna od številnih abiotskih dejavnikov, ki se med seboj povezujejo v zaviranju ali pospeševanju rasti združbe. To so: temperatura vode, svetlobne razmere, hitrost vodnega toka, značilnosti substrata, pH, trdota vode, slanost, količina raztopljenega kisika in ogljikovega dioksida, hranilne in druge raztopljene snovi, različne vrste motenj (npr. polutanti, povečani pretoki) (Hynes, 1976).

2.5.5.1 Temperatura vode

Temperatura vode je fizikalni dejavnik, ki se v naših klimatih sezonsko in diurnalno spreminja. Izrazitejša nihanja temperature so značilna za tekoče vode (Toman, 2007). Na temperaturo vode najbolj vpliva količina neposredno absorbiranega sončevega sevanja, manj pomembni viri so še oddajanje toplote iz usedlin in zraka, površinski odtoki in pritoki ter talna voda (Urbanič in Toman, 2003).

Osnova fizioloških procesov kot so fotosinteza, dihanje, prebava itd. so biokemijske reakcije. Stopnja, hitrost in smer biokemijskih reakcij so temperaturno odvisne. Stopnja rasti, produkcije, razmnoževanja in dolžina življenjskega cikla pri poikilotermih so zato odvisni od tudi od temperature (Giller in Malmqvist, 1998).

Vpliv temperature na perifiton je običajno izražen le pri ekstremnih vrednostih ekološkega dejavnika, v območju običajnih letnih nihanj temperature je vpliv temperature težko ločiti od vpliva svetlobe (Smolar, 1997).

Nekatere vrste alg uspevajo samo v toplejših vodah, druge samo pri nižjih temperaturah vode. Alga *Hildenbrandia* iz skupine Rhodophyta in številne vrste iz družine Chlorophyceae se običajno pojavljajo v poletnem času, medtem ko se pojavljata algi *Batrachospermum sp.* in *Hydrurus foetidus* v zimskem času. Algi *Oedogonium sp.* in *Cladophora glomerata* uspevata do temperature 25°C (Hynes, 1979).

Raziskave kremenastih alg so pokazale, da je večina vrst evritermni in zato podobne združbe srečujemo poleti in pozimi, vendar so nekatere vrste bolj pogoste v toplejši (npr. rod *Cocconeis*, rod *Nitzschia*), druge pa hladnejši vodi (npr. rod *Achnanthes*, rod *Navicula*) (Vinson in Rushforth, 1989).

2.5.5.2 Svetlobne razmere

Svetlobne razmere vodnih teles določajo obrežna vegetacija, topografija krajine, letni čas, vreme, količina razpršenih delcev v vodi in produkcija. V stoječih vodah in večjih rekah svetloba določa globino do katere perifiton uspeva. V manjših vodotokih svetloba običajno ni omejujoč okoljski dejavnik, nižja produktivnost in manjša pestrost sta značilni za osenčene odseke vodotoka (Townsend, 1981).

Raziskave so pokazale, da nekatere vrste alg različno uspevajo pri različnih intenzitetah svetlobe. Vrste kremenastih alg, ki bolje uspevajo na sončnih delih so: *Cyclotella meneghiniana*, *Fragilaria capucina* in *Navicula cryptocephala*. Za osenčene predele vodotokov sta zelo značilni vrsti kremenastih alg *Cocconeis placentula* in *Achnanthes lanceolata* (Robinson in Rushforth, 1987).

Rast nekaterih vrst alg (npr. rod *Batrachospermum*) iz skupine rdečih alg omejuje svetlobna intenziteta, na različno temperaturo ali kemizem vode pa se ne odzovejo. V poznem poletju te vrste velikokrat uspevajo v osenčenih predelih ali rjavo obarvanih vodah. Večina zelenih alg za svojo rast potrebuje zelo veliko svetlobe. Te vrste se množično pojavljajo spomladi in zgodaj poleti, ko obrežna vegetacija še ni povsem razvita (Hynes, 1979).

Posebno v čistih vodah mnogi avtorji povezujejo spomladanski razvoj kremenastih alg s povečanjem intenzitete svetlobe, vendar je težko ločiti vpliv svetlobe in temperature (Whitton, 1975).

2.5.5.3 Hitrost vodnega toka

Hitrost vodnega toka v vodotoku je odvisna od: pretoka vode, naklona, širine in globine struge in strukturiranosti usedlin. Hitrosti toka so višje na brzici kot v tolmu in višje v matici struge kot ob bregu. Za vodotoke z večjo pestrostjo globin in širin struge ter večjo pestrostjo substrata je značilna večja pestrost hitrosti (Toman, 2007).

Hitrost vodnega toka je eden najpomembnejših dejavnikov, ki vplivajo na razvoj perifitonske združbe (Traaen in Lindstrøm, 1983). Vodni tok vpliva na združbo alg neposredno (fotosinteza, dihanje, rast, razmnoževanje, odplavljanje, imigracija, morfološka oblika osebkov,...) in posredno (vpliv na velikost in stabilnost substrata, razporeditev herbivorov svetlobne razmere,...) (Stevenson in sod., 1996). Vpliv je najbolj opazen v hudourniških vodotokih, kjer lahko ob visokih hitrostih toka pride do popolnega uničenja perifitona. Tok vode odtrga pritrjene alge od podlage, mehansko premikanje substrata pa privede do poškodb alg (Wetzel, 1983).

Metabolizem pri perifitonu stojećih voda je počasnejši kot pri perifitonu tekoćih voda. Z naraščanjem turbulence in hitrosti vodnega toka narašća metabolizem alg, povečata se

fotosinteza in dihanje. To se zgodi zaradi koncentracijskega gradienta okrog celic, ki povečuje privzem hranilnih snovi in plinov ter odstranjuje metabolne produkte (Grbović, 1994).

2.5.5.4 Substrat

Substrat vključuje vse kar je na dnu, organske (drobne organske delce, podrti drevesa, rastline, nitaste alge, živali) in anorganske delce (mulj, glina, pesek, prodniki, kamni, skale) vključno z različnimi odpadki in ostanki, na katerih organizmi lahko bivajo. Substrat večine vodotokov sestavljajo anorganski delci velikostnega reda od glin in mivke do kamenja in skal (Minshall, 1984).

Substrat delimo v dve osnovni skupini: anorganski in organski. Nadalje lahko osnovni skupini klasificiramo na različne načine, običajno uporabljamo razdelitev, ki se uporablja v Evropski uniji (Urbanič in Toman, 2003).

Velikost in heterogenost substrata sta odvisna predvsem od hitrosti vodnega toka, ta po toku navzdol upada, zato po toku navzdol upada tudi velikost substrata (Toman, 2007) Pri različnih hitrostih vodnega toka je tako prisoten različno velik substrat. Pri hitrosti 3 m/s, se z vodnim tokom gibljejo tudi veliki kamni, pri 2 m/s majhni kamni, pri 1,5 – 1,0 m/s veliki prodniki, pri 0,75 – 0,5 m/s majhni do srednje veliki prodniki, pri 0,25 m/s pesek, hitrost 0,1 m/s je dovolj visoka za premikanje mulja in gline (Giller in Malmquist, 1998).

Velikost, stabilnost in površinska struktura podlage vplivajo na kolonizacijo perifitona. Veliki in stabilni kamni, ki so dobro usidrani v podlago, so pomemben in ugoden substrat za vzpostavitev in ohranjanje perifitonske združbe. Njihova združba je v primerjavi z manjšimi pestrejša. Manjše vodni tok kotali in poškoduje obrast, kar je še posebej opazno ob povišanih hitrostih toka (Nose, 2001). Na grobih in hrapavih površinah je kolonizacija hitrejša, ker alge niso tako izpostavljene odnašanju in vodnemu toku (Miller s sod., 1987).

2.5.5.5 pH

V neonesnaženih vodah je pH pretežno odvisen od ravnotežja med CO_2 , HCO_3^- in CO_3^{2-} in tudi od drugih naravnih spojin, kot so huminske in fulvo kisline. Na naravno karbonatno ravnotežje lahko vplivajo industrijski efluenti in atmosfersko obremenjevanje s kislimi snovmi. Dnevno nihanje pH je lahko rezultat fotosintezne aktivnosti in respiracije primarnih producentov. V naših vodah prevladuje bazičen pH med 6 in 8,5 (Urbanič in Toman, 2003).

pH zelo vpliva na vrstno pojavljanje alg. Glede na pH, pri katerem se določene združbe pojavljajo, ločimo: acidobiontske (optimum pri $\text{pH} < 5,5$), acidofilne ($\text{pH} < 7$), cirkumnevtralne (pH približno 7), alkalofilne ($\text{pH} > 7$), alkalobiontske (izključno pri $\text{pH} > 7$) in indiferentne, ki so brez jasnega optimuma (van Dam in sod., 1994).

Veliko vrst, npr. vrste iz rodov *Lemnea*, *Batrachospermum* in *Stigeoclonium* se pojavlja neodvisno od pH vodotokov. Nekatere npr. iz rodov *Achnanthes* in *Cocconeis* ter nekaj vrst alg iz rodu *Phormidium* in vrsta *Cladophora glomerata* najdemo samo v bazičnih

vodah (Hynes, 1979). Med pH 6,25 in 6,5 so dominantne kremenaste alge, pri pH 6 pa prevladujejo zelene alge. Z zakisanim vodo se število vrst alg zmanjšuje, manj je cianobakterij, med dominantnimi vrstami pri pH 4 do 5 pa ni več vrst iz skupine kremenastih alg. V kislem okolju uspevajo in prevladujejo zelene alge (rodova *Spirogira* in *Zygnema*), pri pH 4 pa prevladuje rod *Mougeotia* (Smolar, 1997).

2.5.5.6 Kisik

V vodi raztopljen kisik je nujen za vse aerobne organizme. Koncentracija raztopljenega kisika je odvisna od fizikalnih, kemijskih in biotskih procesov v vodi. Spreminja se v odvisnosti od temperature in atmosferskega tlaka, slanosti, turbulence, fotosintezne aktivnosti primarnih producentov in respiratorne aktivnosti življenjske združbe. Čeprav imajo ključno vlogo pri raztapljanju kisika v vodi abiotični dejavniki, na njegovo končno koncentracijo bistveno vplivata fotosinteza in respiracija organizmov. S fotosintezo se koncentracija raztopljenega kisika v vodi povečuje, z respiracijo pa znižuje. V neobremenjenih sistemih so spremembe v koncentraciji kisika sezonske in tudi dnevne. Na mestih izpustov odpadnih voda, bogatih z organskimi snovmi, so zaradi povečane respiratorne aktivnosti koncentracije kisika nižje, razlike so tudi v spreminjanju koncentracij čez dan (Urbanič in Toman, 2003).

Temperatura in zračni tlak sta bistvena dejavnika, ki določata nasičenost vode s kisikom. 100 % nasičenost pomeni najvišjo možno nasičenost ob danem zračnem tlaku in temperaturi. Če je primarna produkcija večja od respiracije, lahko čez dan nasičenost presega 100 %. Takrat govorimo o biogenem prezračevanju (Toman, 2007).

Nekatere vrste alg, ki se značilno pojavljajo v neobremenjenih vodah, so vezane na višjo nasičenost vode s kisikom. To so npr. vrste *Achnanthes minutissima*, *Denticula tenuis*, *Diploneis oblongella*, *Gomphonema angustum*, itd.. Vrste, ki jih najdemo v organsko obremenjenih vodah prenesajo tudi nižje koncentracije in manjšo nasičenost s kisikom. Takšni sta npr. vrsti *Nitzschia palea* in *Gomphonema parvulum* (Stevenson in sod., 1996).

2.5.5.7 Hranilne in druge raztopljene snovi

V vodi raztopljene snovi so organske ali anorganske. Po izvoru so lahko avtohtone ali alohtone (Toman, 2007). Vse raztopljene snovi (sulfati, nitrati, fosfati, kloridi in silikati) določajo slanost vode. Na slanost vplivajo kamninska sestava tal, topnost teh kamnin, podnebje, temperatura, padavine, izhlapevanje, vetrovi, oddaljenost od morja ter živali in rastline (Nose, 2001, Toman 2007).

Količina hranil v vodotoku je povezana s produktivnostjo in biomaso alg ter z rastjo specifičnih vrst alg (Caperon, 1968, Sakamoto, 1966). Poleg dušika in fosforja, ki sta najpogostejša omejitvena dejavnika, so pomembni še ogljik, elementi v sledovih, organski fosfor in vitamin B₁₂ (Hoffmann, 1990, Pringle, 1987).

2.5.5.7.1 Žveplo, dušik in fosfor

Glavni viri žvepla za vodna okolja so terestični ekosistemi. V dobro prezračenih površinskih vodah je žveplo ponavadi v obliki sulfatov, v anaerobnih razmerah se reducira v vodikov sulfid (Toman, 2007). Sulfati so za rast alg nujno potrebni, vodikov sulfid pa je zanje strupen. Nekatere vrste diatomej, npr. *Hantzschia amphioxys*, *Nitzschia palea*, *Cyclotella meneghiniana*, *Neidum biscalcatum* in *Surirella ovata*, lahko prenesejo visoke koncentracije vodikovega sulfida (Schroeder, 1939).

Dušik je esencijski element biosfere. Med številnimi oblikami dušika, ki se pojavljajo v vodnih okoljih so za rast fotoavtotrofnih organizmov najpomembnejši nitratni ioni, saj jih le-ti organizmi asimilirajo in vključujejo v svoje celične proteine. Glavni viri nitratov za površinske vode so spiranje površin, odmrli deli rastlin in živali ter vulkanske kamnine. Koncentracije nitratov v neobremenjenih površinskih vodah običajno ne presegajo 1 mg/l. Prisotnost višjih koncentracij nitratov v vodnem okolju nakazuje prisotnost komunalnih in industrijskih odpadnih voda (Toman 2007, Urbanič in Toman 2003).

Glavni naravni viri fosforja za vodna okolja so preperle kamnine in razgrajene organske snovi. Fosfor je najpogostejše limitirajoč dejavnik rasti primarnih producentov, od njega je odvisna primarna produkcija v vodnih telesih. V vodah je prisoten v trdnih organskih spojinah ali pa raztopljen v obliki anorganskih polifosfatov in ortofosfatov. Pretvorbe med temi oblikami v vodnih okoljih potekajo kontinuirano v odvisnosti od razgradnje in sinteze organskih spojin ter oksidacije anorganskih spojin. Primarni producenti asimilirajo fosfor v obliki zelo reaktivnih ortofosfatnih ionov, zato je ta oblika v vodi redko prisotna v višjih koncentracijah. Kot merilo trofije vodnih teles se zato uporablja količina skupnega fosforja (Toman 2007, Urbanič in Toman 2003).

Nekatere vrste alg uspevajo pri višjih, druge pa pri nižjih koncentracijah fosforja in nitratov. Glede na koncentracijo hranil v vodi pri katerih vrste najbolj uspevajo ločimo oligotrofne vrste, ki preferirajo nižjo koncentracijo hranilnih snovi, mezotrofne in politrofne vrste alg, ki preferirajo višje koncentracije hranil v vodnem okolju. Oligotrofne vrste so nekatere vrste modro-zelenih cepljivk iz rodu *Phormidium* in vrsta *Chamaesiphon subglobulosus*. Iz skupine zelenih alg so oligotrofne npr. vrste *Klebsormidium rivulare*, *Microspora palustris*, *Ulothrix zonata*, ter iz drugih skupin alg npr. vrste *Hydrurus foetidus*, *Gomphonema olivaceum*. Mezo ali politrofne vrste so modro-zelene alge: *Oscillatoria* spp., *Lyngbia* spp.; zelene alge: *Spyrogira* spp. in *Mougeotia* spp.; kremenaste alge: *Stephanodiscus hantzschii*, *Navicula cryptocephala*, *Fragillaria ulna* (Lindstrøm in sod. 2004). Politrofne vrste so npr. *Amphora pediculus*, *Navicula veneta*, *N. phylepta*, *N. atomus* in *Gomphonema parvulum* (Kitner in Pauličkova, 2003).

2.5.5.7.2 Silicij

Silicij je pomemben element za kremenaste alge, saj je esencijalen za izgradnjo celične stene (10 – 72 % silicija v steni) ter za nekatere presnovne procese. Izkoriščajo silicijevo kislino in silikat (Round, 1992). Za ostale alge je ta za kisikom drugi najpogostejši element v zemeljski skorji skoraj nepomemben. V tekočih vodah so koncentracije silicija bolj ali manj konstantne, zato je le redko omejujoč dejavnik (Nose, 2001).

Različne koncentracije silicija so potrebne za rast različnih vrst kremenastih alg, zato se vrstni sestav združbe spreminja glede na količino razpoložljivega silicija. Če se koncentracija silicija v vodi močno zniža, kremenaste alge niso več učinkoviti kompetitorji, zato jih nadomestijo alge, ki ne potrebujejo silicija (Wetzel, 2001).

2.5.5.7.3 Organske snovi

Organske snovi, ki jih nademo v vodnih okoljih so terestičnega ali vodnega izvora. Glavni viri so bakterije, rastline, živali in odpadne vode. Raztopljene organske snovi se vključujejo v metabolizem bakterij, naraztopljene pa se usedajo na dno kot biodetrit (Toman, 2007).

Alge so prvenstveno avtotrofni organizmi, med njimi pa najdemo tudi mnoge vrste, ki so lahko mikso- ali heterotrofne. Tiste alge, ki sicer imajo fotosintetska barvila, a kljub temu v določenih razmerah absorbirajo in izkoristijo energetske bogate organske snovi, imenujemo fakultativni kemoavtotrofi. Vrste, ki nimajo pigmentov, so obligatni kemoavtotrofi. Organotrofija je prisotna pri rodovih *Scenedesmus*, *Chlorella* in *Euglena*. Evklenofiti so večinoma miksotrofi, zato jih najpogosteje dobimo v vodah, bogatih z organskimi, razpadajočimi snovmi. Heterotrofija je razširjena pri obarvanih flagelatih, pri katerih poznamo tudi fagotrofijo, podobno kot pri protozojih. Nekatere vrste so tudi saprofitne. Vrste, ki so značilne za onesnažene vode, izkoriščajo tudi organsko vezan dušik (Toman, 1996a).

Večina modro-zelenih cepljivk spada med obligatne avtotrofe, številne vrste pa uspevajo tudi v okoljih z nizkimi intenzitetami svetlobe, kjer živijo heterotrofno. Takšne vrste so npr. *Nostoc muscorum*, *Agmenellum quadruplicatum* in *Lyngbya lagerheimii*. Stopnja heterotrofne rasti teh vrst je v primerjavi z avtotrofno stopnjo rasti izjemno nizka (Van Baalen in sod., 1971).

Kremenaste alge lahko rastejo kot avtotrofi ali kot heterotrofi. Nekatere vrste rastejo hitreje na heterotrofen način. Nekatere morske kremenaste alge npr. *Nitzschia alba* je brezbarvnih obligatnih heterotrofov. Čeprav imajo kloroplaste, ne vsebujejo fotosintetskih pigmentov, kar kaže na to, da je njihova heterotrofnost evolucijsko pridobljena (Graham in Wilcox, 2000).

2.5.5.8 Motnje

Motnje, kot je spreminjanje vodostaja, so v naravnih sistemih vedno prisotne. Združbe se na motnje odzovejo s spremembo biomase, strukture, ob večjih ali pogostejših motnjah, pa tudi s spremembo vrstne pestrosti. Če so motnje pogoste a majhne, se stabilnost združbe ohranja, če pa so večje ali prepogoste se prvotna združba spremeni (Toman, 2007).

Perifitonske alge so najpogosteje izpostavljene odplavljanju, ki ga povzročata povečan pretok in hitrost vode ter vrtinčenje vode. Škoda, ki jo močan tok povzroči, je odvisna od podlage. Odplavljanju so bolj izpostavljene združbe na manjših kamnih, kot tiste na bolj stabilnem dnu ali epifitske združbe (Menegaliya, 2001).

Organsko onesnaženje in prisotnost strupenih snovi povzročata velike strukturne in funkcionalne spremembe v perifitonskih združbah. Manjše organsko onesnaženje povzroči porast perifitonske biomase, večje pa zniža biomaso perifitona in zniža se vrednost avtotrofne indeksa (Smolar, 1997).

Anorganski polutanti, kot so tudi težke kovine, lahko povzročijo spremembe v delovanju encimov. To lahko zavre rast ene vrste in pospeši rast druge vrste. Združba, v kateri prevladujejo diatomeje, se ob povečanje koncentracije cinka spremeni v združbo, v kateri prevladujejo nitaste zelene alge (Graham in Wilcox, 2000).

2.5.6 Biotski dejavniki, ki vplivajo na strukturo in funkcijo perifitona

Biotski dejavniki, ki vplivajo na razvoj in strukturo alg so: kompeticija, plenilstvo, parazitizem in organski izločki (Werner, 1977, cit. po Menegalijski, 2001).

2.5.6.1 Kompeticija

Inter- in intraspecifična kompeticija med osebki imata pomembno funkcijo pri določanju, katere vrste bodo naselile določen substrat. Perifitonska združba je najprej dvodimenzionalna, osebki so plosko pritrjeni na podlago. Ko ni več prostora za takšno poselitev, se določeni osebki dvignejo nad podlago in so nanjo pritrjeni samo z želatinoznimi peclji. Nastane trodimenzionalna struktura združbe (Graham in Wilcox, 2000).

Brown in Austin (1973) sta opazila, da vrsti *Achnanthes minutissima* in *Cocconeis placentula* nista nikoli dominantna istočasno. Tista vrsta, ki se prej uveljavi v določenem bivališču, se bo delila s takšno hitrostjo, da bo preprečila uveljavitev druge vrste. Opazila sta, da vrsta *Cocconeis placentula* prevladuje avgusta in septembra, vrsta *Achnanthes minutissima* pa konec septembra in oktobra.

2.5.6.2 Plenilstvo

Študije potrjujejo zelo pomemben vpliv paše makroinvertebratov na zmanjšanje biomase in strukturne spremembe v perifitonski združbi. Številni nevretenčarji iz skupin polžev, rakov, ličink žuželk in ribe se hranijo z organizmi perifitona (Hillebrand in Kahlert, 2001).

Ob majhni biomasi epifitskih alg, zmerna stopnja objedanja stimulira rast in produktivnost pritrjenih alg in bakterij. Zmerna paša izboljša dostop do hranilnih snovi in svetlobne razmere. S presnovo se poveča količina hranil v vodi, ki je običajno konstantna, zaradi kroženja snovi znotraj združbe (Wetzel, 2001).

Polž *Physa heterostrophus* se prehranjuje s kremenastimi algami. Ne ustrezata mu vrsti *Achnanthes lanceolata* in *Cocconeis placentula*. Ob prisotnosti polža *Physa heterostrophus* sta zato ti dve vrsti zelo konkurenčni in lahko razvijeta velike populacije. To pa povzroči znižanje števila vrst v združbi kremenastih alg. Zaradi plenilca se pojavijo razlike v številčnosti vrst, ki jih sicer ne bi bilo (Patrick, 1970, cit. po Krivograd, 1997).

2.5.6.3 Parazitizem

Različne študije potrjujejo velik pomen parazitizma gliv na nekatere vrste kremenastih alg in dinoflagelatov celinskih vodnih okolij. Parazitske glive lahko povzročijo masovno odmiranje alg, odsotnost določenih vrst alg ali vplivajo na čas in zaporedje pojavljanja vrst v vodnem okolju (Myung Gil Park in sod., 2004).

2.5.7 Uporaba perifitona pri ocenjevanju kakovosti voda

Vrednotenje kakovosti voda predstavlja celoten proces vrednotenja fizikalnih, kemijskih in biotskih značilnosti vode glede na človekove vplive ter predvideno rabo. Namen vrednotenja kakovosti voda je definirati njihovo stanje in zagotoviti osnovo za ugotavljanje trendov v spreminjanju kakovosti. Pri vrednotenju kakovosti voda fizikalne in kemijske analize pokažejo trenutno stanje voda, medtem ko z biološkimi metodami ugotavljamo posledično stanje, ki je rezultat vseh abiotskih in biotskih dejavnikov na prisotne življenjske združbe (Urbanič in Toman, 2003).

Združba perifitona odraža ekološke razmere, posamezne vrste pa specifične ekološke razmere in s tem povezano stopnjo obremenjenosti. Za posamezne stopnje obremenjenosti so poznane številne indikatorske vrste (Urbanič in Toman, 2003).

Alge so za ocenjevanje kakovosti voda primerne zaradi številnih lastnosti:

- prisotne so vzdolž celotnega vodotoka, so v čistih in v močno onesnaženih vodotokih in tudi v morju (Prygel, 1991).
- perifitonske alge so popolnoma odvisne od okolja, v katerem živijo, saj se zaradi priraslosti na podlago, ne morejo izogniti potencialnim onesnaževalcem in spremembam. Lahko tolerirajo okolje v katerem živijo ali pa propadejo (Stevenson in sod., 1996).
- združbe alg so vrstno zelo pestre, saj lahko na nekaj cm² najdemo prek sto različnih vrst. Vsaka ima svojo strpnostno krivuljo (Lowe, 1974), zato taka združba predstavlja informacijsko bogat sistem za monitoring (Stevenson in sod., 1996).
- imajo kratek življenjski cikel in sposobnost hitre reprodukcije, zato je odgovor na spremembe v vodnem okolju zelo hiter in predvidljiv (Stevenson in sod., 1996).
- vzorčenje in določanje je relativno enostavno, saj taksonomija najpogosteje temelji na morfoloških znakih celice (Stevenson in sod., 1996).

Med skupinami alg so v ekoloških raziskavah najpogosteje uporabljene diatomeje. Zaradi silikatne celične stene se kremenaste alge v nasprotju z zelenimi redkeje poškodujejo med vzorčenjem pri odstranjevanju iz trdih površin. So povsod navzoče, naseljujejo zelo različne življenjske prostore, posamezne vrste imajo določene meje pojavljanja glede na abiotske dejavnike. Določanje sloni na morfoloških značilnostih celične stene, zato jih lahko fiksiramo in vzorce do pregledovanja shranimo (Cox, 1991).

3 MATERIAL IN METODE

3.1 IZBIRA VZORČNIH MEST IN ČAS VZORČENJA

Namen te raziskave je bil spremljati longitudinalne spremembe v združbi perifitona reke Savinje. Predpostavili smo, da je dotok s hranili bogate prečiščene odpadne vode iz Centralne čistilne naprave Celje eden od vzrokov sprememb. Območje raziskave je zato zajemalo približno 7 km dolg odsek reke Savinje, sredi katerega se v Savinjo izteka odvodni kanal čistilne naprave. Na tem odseku smo izbrali 3 vzorčna mesta. Prvo vzorčno mesto, z imenom Polule, se nahaja približno 3,5 km pred iztokom čistilne naprave pri naselju Polule in je bilo za nemene raziskave referenčno mesto. Vzorčno mesto je 200 m nizvodno od vtoka reke Voglajne in približno 600 m za Celjem, dvema potencialnima onesnaževalcema reke, ki bi lahko vplivala tudi na perifitonsko združbo. Med prvim vzorčnim mestom in iztokom čistilne naprave ni nobenega večjega naselja ali pritoka, ki bi lahko imel podoben vpliv na reko. Drugo vzorčno mesto, z imenom Tremerje, se nahaja kakšnih 1,1 km nizvodno od iztoka čistilne naprave. Takšna razdalja, ob morfološki razgibanosti tega odseka reka zadostuje, da se voda iz čistilne naprave premeša z vodo reke Savinje, hkrati pa na tem odseku ni naselij ali drugih pritokov, ki bi lahko imeli vpliv na kvaliteto vode reke. Tretje vzorčno mesto, z imenom Laško, se nahaja približno 3,3 km nizvodno od iztoka čistilne naprave 1 km pred Laškim. Na tej razdalji od drugega vzorčnega mesta smo že predvidevali spremembe v perifitonski združbi, kot posledico procesa samočiščenja. Med drugi in tretjim vzorčnim mestom prav tako ni večjih pritokov ali naselij.

Vzorčenje je potekalo v obdobju devetih mesecev med julijem 2007 in aprilom 2008. Izvedli smo tri vzorčenja, poletno 18. 7. 2007, jesensko-zimsko 14. 11. 2007 in pomladno 27. 4. 2008. Pri času vzorčenja in številu vzorčenj so nas omejevale neugodne hidrološke razmere z visokimi vodostaji, ki imajo na perifitonsko združbo, zaradi odnašanja in mehanskih poškodb, negativen učinek (Wetzel, 1983). Vzorčenja smo izvedli vsaj dva tedna po zadnji visoki vodi. Izrazita visoka voda v Savinji je bila 18. 9. 2007, pogoste visoke vode so bile tudi v marcu in aprilu 2008 (Vir: http://www.arso.gov.si/vode/podatki/stanje_voda.html).

3.2 MERITVE HIDROMORFOLOŠKIH PARAMETROV

3.2.1 Hitrost vodnega toka in pretok

Hitrost vodnega toka smo merili površinsko s pomočjo plovcev, saj hidrometrično krilo ni bilo na voljo. Na vsakem vzorčnem mestu smo na 4 točkah, izbranih v enakomernih razmakih po vsej širini struge, večkrat spustili kosček stiroporja in izmerili čas, ki ga je potreboval za razdaljo 10 m. Iz povprečja površinskih hitrosti na posameznih točkah meritve izračunanih po enačbi 1, smo dobili povprečno površinsko hitrost vodnega toka za posamezno vzorčno mesto. Dobljene vrednosti smo preračunali na 6/10 globine po enačbi 2, kar je povprečna hitrost vodnega toka. Za preračun smo vzeli koeficient $K_p = 0,70$ in globino 1m (preglednica 1). Ker je v Laškem vodomerna postaja in ker med vzorčnimi

mesti in vodomerno postajo v Laškem ni večjih pritokov, smo podatke o pretoku Savinje na dan vzorčenja pridobili na internetnih straneh ARSO
(Vir: http://www.arso.gov.si/vode/podatki/stanje_voda.html).

$$V_{por} \text{ (m / s)} = \frac{l}{t}, \quad \dots(1)$$

kjer je:

V_{por} ...hitrost vodnega toka na površini (m/s),

l ...dolžina potovanja plovca (m),

t ...trajanje potovanja plovca (s).

$$V_{pov} \text{ (m / s)} = V_{por} \times K_p, \quad \dots(2)$$

kjer je:

V_{pov} ...povprečna hitrost (m/s),

V_{por} ...hitrost na površini (m/s),

K_p ...koeficient soodvisnosti površinske hitrosti in globine vode (preglednica 1).

Preglednica 1: Velikost koeficienta K_p v odvisnosti od globine vode (Vir: Urbanič in Toman, 2003).

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

3.2.2 Substrat

Za vzorčenje anorganskih usedlin in odmrlega organskega substrata so v uporabi različni vzorčevalniki, odvisno od globine vodnega telesa. Mi smo pri popisu substrata uporabili metodo subjektivnega vrednotenja deležev posameznega substrata na osnovi opazovanja. To sta nam omogočala relativno plitev vodotok in vidno dno. Substrat smo popisali po metodi prilagojeni po AQEM 2002, ki je v uporabi v Evropski uniji (preglednici 2 in 3).

Preglednica 2: Razvrstitev anorganskega substrata po velikosti delcev (prilagojeno po AQEM 2002).

Kategorija	Opis	Premjer delcev (cm)
Megalital	Skale, živa skala	>40
Makrolital	Veliki kamni	20 – 40
Mezolital	Majhni kamni	6 – 20
Mikrolital	Veliki prodniki	2 – 6
Akal	Majhni in srednji prodniki	0,2 – 2
Psamal	Pesek in blato	0,006 – 0,2
Agrilal	Mulj, glina	<0,0006

Preglednica 3: Razvrstitev organskih substratov (prilagojeno po AQEM 2002).

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

3.3 FIZIKALNE MERITVE IN KEMIJSKE ANALIZE

3.3.1 Temperatura

Temperaturo vode smo na vzorčnih mestih izmerili s termistorjem vgrajenim v oksimeter (WTW Multi 340i/Cell Ox 325), sondo smo potopili v vodo in počakali na ustaljeno vrednost na ekranu. Temperaturo smo izmerili na 0,1 °C natančno.

3.3.2 Koncentracija in nasičenost s kisikom

Koncentracijo (mg/L) in nasičenost vode s kisikom (%) smo izmerili z oksimetrom (WTW Multi 340i/Cell Ox 325) na terenu. Naprava na podlagi izmerjenega parcialnega tlaka kisika v vodi in trenutne temperature vode izračuna koncentracijo in nasičenost vode s kisikom.

3.3.3 Elektroprevodnost

Elektroprevodnost (µS/cm) smo izmerili na terenu s konduktometrom (WTW Multi 340i/TetraConR 325). Elektrodo konduktometra smo potopili v vodo, ki smo jo prej zajeli v inertno posodo in počakali, da se je vrednost na ekranu ustalila ter odčitali vrednost na celo število natančno.

3.3.4 pH

pH smo merili na terenu s pH-metrom (WTW Multi 340i/SenTix 41-3). Elektrodo smo potopili v zajeto vodo in počakali, da se je vrednost na ekranu ustalila. Vrednost smo odčitali na eno decimalno natančno.

3.3.5 Koncentracija nitratov

Na terenu odvzete vzorce vode smo do analize shranili pri 0 °C. Naslednji dan smo v laboratoriju koncentracijo nitratov (mg/L) določili z metodo z natrijevim salicilatom. Nitratni ioni tvorijo v mediju brezvodne žveplene kisline z natrijevim salicilatom rumeno obarvano nitrosalicilno kislino, ki smo jo določili spektrofotometrično. Koncentracijo nitratov v vzorcu smo izračunali tako, da smo povprečno vrednost ekstinkcije množili s koeficientom 9,63 (Urbanič in Toman, 2003).

3.3.6 Koncentracija fosfatov

Koncentracijo ortofosfatnih ionov (mg/L) smo v laboratoriju določali z metodo s kositrovim (II) kloridom, po različici, ki omogoča merjenje koncentracije ortofosfatni ionov med 0,1 in 1,5 mg/L. Amonmolibdat tvori v kislem mediju fosformolibdat, ki smo ga reducirali s kositrovim (II) kloridom v intenzivno modro obarvan kompleks. Ekstinkcijo vzorcev smo izmerili pri valovni dolžini 690 nm, koncentracijo ortofosfatov pa izračunali, tako da smo povprečno vrednost ekstinkcije množili s koeficientom 1,38 (Urbanič in Toman, 2003).

3.3.7 Skupne suspendirane snovi

Skupne suspendirane snovi (mg/L) smo določili v laboratoriju v vzorcih vode odvzetih na terenu z inertnimi steklenicami in shranjenih pri 0 °C. 1 liter vzorca smo prefiltrirali skozi posušen in stehtan stekleni filter. Filter smo po filtraciji ponovno sušili 2 uri pri 105 °C, in ohlajenega stekali. Razliko v masi filtra pred in po filtraciji so predstavljale skupne suspendirane snovi ujete na filtru.

3.4 BIOLOŠKE ANALIZE

3.4.1 Vzorčenja perifitona

Perifiton smo vzorčili po metodi pobiranja in strganja kamnov s ščetko in britvijo. Da bi bili s kasnejšimi analizami pridobljeni podatki o perifitonu med vzočnimi mesti in vzorčenji čim bolj primerljivi smo poskusili metodo vzorčenja čim bolj standardizirati. Na vzorčnem mestu smo izbrali odsek dolžine 10 m. Na tem odseku smo naključno po vsej širini struge nabrali 5 kamnov velikosti 6 – 20 cm (mezolital). Na vsak nabran kamen smo z žebeljem in merilom zarisali 3 polja velikosti 5 cm², tako da so si bila čim bližje. Iz vsakega zarisanega polja smo nato s pomočjo ščetke in britve perifiton ostrgali v ločeno banjico (slika 3). Na vsakem vzorčnem mestu smo tako imeli tri banjice, v katerih je bil postrgan perifiton iz istih petih kamnov iz enake skupne površine kamnov (25 cm²).

Perifiton smo s pomočjo rečne vode iz banjic prelili v 3 ločene vzorčevalne posode. En vzorec na vsakem vzorčnem mestu smo fiksirali s 37 % formalinom, ki smo ga z vzorcem v razmerju ena proti devet razredčili do 4 %. Fiksiran vzorec je bil namenjen analizi vrstne sestave perifitona, nefiksirana pa določitvi biomase in klorofila *a*. Vzorce smo na terenu ustrezno označili (mesto in čas vzorčenja, namen vzorca) in spravili. Takšna metoda vzorčenja nam je kasneje omogočila tako kvalitativne, kot kvantitativne analize perifitona.



Slika 3: Primer kamna s postrganim perifitonom z zarisanih polj.

3.4.2 Priprava vzorcev perifitonskih alg za pregledovanje

V laboratoriju smo fiksirane vzorce namenjene pregledovanju dopolnili do vrha z vodo in prelili v merilne valje, da smo jih zgostili na enak volumen. Vzorcem smo dodali nekaj kapljic lugola, da so se organizmi hitreje usedali na dno valja. Po 24 urah smo iz valjev odpipetirali vrhnji del tekočine do volumna 100 ml in vzorce prelili nazaj v plastične steklenice. Po temeljitem premešanju smo vsakemu vzorcu odvzeli 10 ml, ki smo jih shranili v epruvetah z namenom analize kremenastih alg. Preostali del vzorca je bil namenjen analizi vseh alg in modro-zelenih cepljivk.

3.4.2.1 Priprava in pregledovanje vzorcev kremenastih alg

Vrste kremenasti alg med seboj ločujemo na podlagi morfoloških značilnosti njihovih celičnih sten (Jogan, 2001). Zato smo jih morali pred določevanjem primerno obdelati. Vzorec 10 ml smo zlili v centrifugirko in ga odcentrifugirali. Nato smo odlili supernatant in usedlini dodali 2 ml koncentrirane dušikove kisline. Z gorilnikom smo centrifugirke previdno segrevali, dokler niso začele iz vzorcev izhajati bele pare. Vzorce smo še trikrat sprali z vodo z vmesnim centrifugiranjem, da smo odstranili še preostale nečistoče. Po končanem postopku ostanejo v vzorcu le prazne silicijeve lupinice kremenastih alg z dobro vidno obliko, zgradbo in še posebej pomembno ornamentacijo lupinice (Vrhovšek, 1985).

Zaradi lažjega določevanja in štetja kremenastih alg smo pripravili trajne preparate. Diatomeje smo določevali s pomočjo svetlobnega mikroskopa (Nikon Eclipse E400) in šteli s pomočjo svetlobnega mikroskopa (Olympus CX 41 RF) s kamero (V-TVO 5XC-3) pri 1000 x povečavi in uporabi imerznega olja. Pri vsakem vzorcu smo prešteli 4 podvzorke, vsakega iz drugega trajnega preparata. V vsakem podvzorcju smo prešteli 500 diatomejskih lupinic. Iz dobljenih podatkov smo lahko izračunali relativno pogostost posameznih vrst.

3.4.2.2 Priprava in pregledovanje vzorcev vseh alg in modro-zelenih cepljivk

Vse vrste alg in modro-zelene cepljivke smo določevali s pomočjo svetlobnega mikroskopa (Motic B SERIES) pri 400 x povečavi. Določili smo vse vrste alg, tudi tiste vrste kremenastih alg, ki jih je bilo možno neobdelane nedvoumno določiti in modro-zelene cepljivke. Nato smo na podlagi prepoznavnosti, indikatorskem pomenu in pogostosti izbrali taksone, ki smo jih nato prešteli. Iz dobro homogeniziranega vzorca smo s kapalko vzeli podvzorec volumna 0,125 ml, ga kanili na objektno stekelce in pokrili s krovnim stekelcem. Nato smo prešteli število celic izbranih taksonov alg v 50 vidnih poljih. Iz vsakega vzorca smo prešteli 5 podvzorcev. Iz dobljenih podatkov smo lahko izračunali absolutne abundance prešteti taksonov po posameznih vzorčnih mestih.

Izbranim algam in modro-zelenim cepljivkam smo pri 400 x povečavi določili relativno pogostost s pomočjo petstopenjske lestvice (preglednica 4). Da smo podatke vseh alg lahko združili, smo naknadno s pomočjo relativne pogostosti naredili še oceno pogostosti preostalih kremenastih alg.

Preglednica 4: Lestvica za oceno pogostosti združbe obrasti (Štendler, 2008).

Ocena pogostosti	Opis pogostosti	Takson prisoten v % vidnih polj
1	posamič	>1-15
2	redko	>15-45
3	srednje	>45-60
4	pogosto	>60-80
5	množično	>80-100

3.4.3 Merjenje suhe mase vzorcev perifitona in deleža anorganskih snovi

Vzorke namenjene merjenju biomase smo prefiltrirali skozi steklene filtre. Te smo pred filtracijo 24 ur sušili pri 105 °C in jih po hlajenju v eksikatorju stehali. Po filtraciji smo filtre s prefiltriranim perifitonom ponovno 24 ur sušili pri 105 °C ter jih ohlajene stehali. Razlika med maso filtrov pred filtracijo in po filtraciji predstavlja suho maso vzorca (mg), ki jo sestavljajo biomasa perifitona in nečistoče v njem.

Steklene filtre s perifitonom smo nato prenesli v keramične lončke, ki smo jih predhodno posušili do konstantne mase, stehali in s svinčnikom označili. Lončke s filtri smo 5 ur

žarili v peči pri temperaturi 500 °C. Po žarenju smo ohlajene keramične lončke ponovno stekali (slika 4). Razliko med maso praznih lončkov pred žarjenjem in lončkov po žarjenju predstavljajo anorganska biomasa perifitona in anorganske nečistoče v njem (mg).

Iz podatkov o suhi masi vzorcev perifitona in anorganski masi vzorcev perifitona smo izračunali deleže organskih in anorganskih snovi v vzorcih perifitona.



Slika 4: Keramični lončki z anorganskim ostankom perifitona in nečistoč v njem po žarjenju. Prvi trije lončki predstavljajo tri vzorčna mesta, zadnji je kontrolni, brez perifitona.

3.4.4 Merjenje klorofila *a*

Koncentracijo klorofila *a* (mg/cm²) smo določali po ekstrakcijski metodi, pri kateri merimo vsebnost klorofila v primarnih producentih po ekstrakciji z različnimi topili, npr. acetonom ali metanolom. Vzorce namenjene merjenju klorofila *a* smo prenučirali skozi steklene filtre. Filter papirje smo nato prenesli v označene epruvete. V eno epruveto, namenjeno umerjanju spektrofotometra, smo dali prazen filter papir. Epruvete smo napolnili z 10 ml metanola in jih nato segrevali v vodni kopeli do bližine vrelišča metanola. Ohlajenim vzorcem smo izmerili absorpcijo pri 665 nm in pri 750 nm ter izračunali koncentracijo klorofila *a* po enačbi 3 (Urbanič in Toman, 2003).

$$Kl\ a\ (mg/cm^2) = \frac{(13,9 \times (A_{665} - A_{750}) \times V_m)}{(P_p \times I)}, \quad \dots(3)$$

kjer je:

Kl *a*...količina klorofila *a* (mg/ cm²),
A₆₆₅...absorpcija pri 665 nm,
A₇₅₀...absorpcija pri 750 nm,
V_m...volumen metanola (ml),
P_p...površina postrganega perifitona (cm²),
I...širina kivete v spektrofotometru (cm).

3.5 STATISTIČNE ANALIZE

3.5.1 Relativna abundanca

Metoda štetja kremenastih alg nam je omogočala določitev deleža posameznega taksona kremenastih alg v vzorcu in primerjavo deležev med taksoni. Izračunali smo povprečno število celic v i ponovitvah (enačba 4), relativno abundanco (enačba 5) taksonov in jo izrazili v odstotkih (enačba 6).

$$\tilde{y} = \frac{y_i}{n}, \quad \dots(4)$$

$$p_i = \frac{\tilde{y}_i}{N}, \quad \dots(5)$$

$$A_i = p_i \times 100, \quad \dots(6)$$

kjer je:

$\tilde{y}$...povprečno število osebkov v i ponovitvah,
 y_i ...število osebkov v podvzorcu i,
 n ...število podvzorcev (4),
 p_i ...relativna abundanca taksona i,
 N ...skupno število osebkov v podvzorcu (500) ali vzorcu,
 A_i ...relativna abundanca taksona i (%).

3.5.2 Absolutna abundanca

Metoda vzorčenja in štetja izbranih taksonov alg in modro-zelenih cepljivk nam je omogočala preračun prešteti vrednosti na absolutne abundance teh taksonov na cm² površine kamnov (enačba 7). Na podlagi znanih parametrov (površine objektnega stekelca, volumna celotnega vzorca, polmera vidnega polja pri 400 x povečavi mikroskopa, števila pregledanih vidnih polj, števila pregledanih podvzorcev, volumna podvzorca in skupne površine s katere je bil perifiton postrgan), smo izračunali koeficient, s katerim smo množili povprečno število prešteti celic taksona v i ponovitvah (enačba 4) in standardno napako povprečja (enačba 8).

$$N \pm SE = k \times \tilde{y} \pm SE, \quad k = 88,14 = \frac{P_{os} \times V_{vz}}{\pi r^2 \times \check{S}t_{pp} \times \check{S}t_{pv} \times V_{pv} \times P_p}, \quad \dots(7)$$

kjer je:

N...absolutno število celic taksona na kvadratnem centimetru površine (št. celic/cm²),

SE...standardna napaka,

k...koeficient (cm⁻²),

$\tilde{y}$...povprečno število prešteti celic taksona v i ponovitvah (št.celic),

P_{os}...površina objektnega stekelca (100mm²),

V_{vz}...volumen celotnega vzorca (100 ml),

r...polmer vidnega polja pri 400 x povečavi (0,215 mm),

$\check{S}t_{pp}$...število pregledanih vidnih polj vsakega podvzorca (50),

$\check{S}t_{pv}$...število pregledanih podvzorcev (5),

V_{pv}...volumen podvzorca (0,125 ml),

P_p...skupna površina postrganega perifitona (25 cm²).

$$SE = \frac{S}{\sqrt{n}}, \quad S = \sqrt{\frac{\sum (y_i - \tilde{y})^2}{(n-1)}}, \quad \dots(8)$$

kjer je:

SE...standardna napaka,

S...standardna deviacija,

n...število podvzorcev (5),

y_i...število osebkov v podvzorcu i (št. celic),

$\tilde{y}$...povprečno število prešteti celic taksona v i ponovitvah (št.celic).

3.5.3 Saprobní indeks

Začetki saprobnega sistema temeljijo na spoznanjih o povezavah med prisotnostjo določenih vodnih organizmov in onesnaženostjo voda. Pojem »saprobnost« predstavljata tiste metabolne procese, ki so obratni kot procesi primarne produkcije in ki v kombinaciji z biogeno in fizikalno vnesenim kisikom določajo saprobno stopnjo vodnega telesa.

Saprobní sistem (SI) obsega štiri osnovne stopnje obremenjenosti s tremi vmesnimi stopnjami (preglednica 5). Vrednost saprobnega indeksa za izbrano vzorčno mesto smo izračunali po enačbi 7. Vsaka vrsta ima določeno saprobno vrednost (s_i), ki je ocena ekološkega pojavljanja neke vrste in indikatorsko vrednost (G_i) v območju od 1 – 5. Vrste z zelo ozkim ekološkim pojavljanjem imajo višjo indikatorsko vrednost in obratno, kar pomeni, da imajo stenovalentne vrste večjo težo. H_i je je abundanca taksona i. Saprobní indeks je edini veljavni indeks za ocenjevanje kakovosti voda v Sloveniji. (Urbanič in Toman, 2003).

Indikatorske in saprobne vrednosti za posamezno vrsto smo povzeli po: Prilagoditev saprobnega indeksa zahtevam Vodne direktive (Direktiva 2000/60/ES) za vrednotenje ekološkega stanja rek v Sloveniji na podlagi fitobentosa (Kosi in sod., 2006). Pri izračunu saprobnega indeksa za kremenaste alge smo za abundanco uporabili izračunane relativne deleže taksonov, pri izračunu saprobnega indeksa za vse alge in modro-zelene cepljivke pa oceno pogostosti po petstopenjski lestvici.

$$SI = \frac{\sum_{i=1}^n (h_i \times G_i \times s_i)}{\sum_{i=1}^n (h_i \times G_i)}, \quad \dots(7)$$

kjer je:

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

Preglednica 5: Vrednosti saprobnega indeksa in pripadajoči kakovostni razredi (Vir: Urbanič in Toman, 2003).

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

3.5.4 Trofični indeks po Rottu (1999)

Trofični indeks po Rottu (1999) (TI) temelji na združbi kremenastih alg in je namenjen ocenjevanju trofičnega stanja rek. Vrednosti indeksa najbolj korelirajo s količino skupnega fosforja v reki (Rott in sod., 1999).

Indikatorske in trofične vrednosti za posamezno vrsto ter enačbo 8 za izračun trofičnega indeksa po Rottu (1999) smo povzeli po: Instruction Protocol for the ecological Assessment of Running Waters for Implementation of the EC Water Framework Directive: Macrophytes and Phytobentos (Schaumburg in sod., 2006).

Vrednosti trofičnega indeksa po Rottu (1999), ki določajo stopnjo trofije (preglednica 6), smo povzeli po avstrijskem trofičnem indeksu (Indikationslisten für Uufwuchsalgen in österreichischen Fließgewässern, Teil 2: Trophienindikation so vie geochemische Präferenz, taxonomische und toxicologische Anmerkungen) (Rott in sod., 1999).

$$TI = \frac{\sum_{i=1}^n TW_i \times G_i \times H_i}{\sum_{i=1}^n G_i \times H_i}, \quad \dots(8)$$

kjer je:

TI...trofični indeks po Rottu (1999),
TW_i...trofična vrednost za vrsto i,
G_i...indikatorska vrednost za vrsto i,
H_i...relativni delež vrste i v vzorcu.

Preglednica 6: Določitev stopnje trofije vodnega telesa na podlagi izračunanega trofičnega indeksa po Rottu (1999) (Vir:Rott in sod., 1999).

Vrednost TI	Stopnja trofije	Skupni letni fosfor (mg/l)	Ekstremne vrednosti skupnega letnega fosforja (mg/l)
≤ 1,0	Ultraoligotrofno	< 0,005	< 0,010
1,1 – 1,3	Oligotrofno	< 0,010	< 0,020
1,4 – 1,5	Oligo-mezotrofno	0,010 – 0,020	< 0,050
1,6 – 1,8	Mezotrofno	< 0,030	< 0,100
1,9 – 2,2	Mezo-evtrofno	0,030 – 0,050	< 0,150
2,3 – 2,6	Evtrofno	0,030 – 0,100	< 0,250
2,7 – 3,1	Ev-politrofno	> 0,100	> 0,250
3,2 – 3,4	Politrofno	0,250 – 0,650	> 0,650
> 3,5	Poli-hipertrofno	> 0,650	> 0,650

3.5.5 Shannon-Wienerjev diverzitetni indeks

Shannon-Wienerjev diverzitetni indeks (H') je danes najbolj razširjena mera za diverzitetu. Ni odvisen od površine, s katere so bili vzorci pobrani, je brezdimenzijski in v njem je upoštevana relativna abundanca vsakega taksona (enačba 9). Odvisen pa je od sezone vzorčenja in določanja taksonomskega nivoja organizmov. Osnovna domneva, da diverzitetu upada z naraščanjem obremenjenosti, ne drži vedno. V neobremenjenih povirnih delih vodotokov je diverzitetu pogosto nizka zaradi pomanjkanja hrane. Poleg obremenjujočih dejavnikov na diverzitetu organizmov vpliva tudi diverzitetu mikrohabitatov (Urbanič in Toman, 2003).

$$H' = -\sum p_i \times \log_2 p_i, \quad \dots(9)$$

kjer je:

H' ...diverziteta,

p_i ...delež i-tega taksona.

3.5.6 Bray-Curtisov koeficient podobnosti

Bray-Curtisov koeficient podobnosti (S_{BC}) kaže podobnost med združbama na podlagi vrstnega sestava in pogostosti pojavljanja posameznih vrst v teh združbah. Po enačbi 10 smo izračunali indeks za združbo kremenastih alg. Podobnosti smo prikazali v obliki dendrograma narejenega z uporabo programa CLUSTER2.

$$S_{BC} = \frac{2w}{(A+B)} \quad \text{ali} \quad S_{BC} = 1 - \frac{\sum |y_{ij} - y_{ik}|}{\sum (y_{ij} + y_{ik})}, \quad \dots(10)$$

kjer je:

S_{BC} ...Bray-Curtisov indeks podobnosti,

w ...število skupnih osebkov v obeh vzorcih,

A ...število osebkov v 1. vzorcu,

B ...število osebkov v 2. vzorcu,

y_{ij} ...število osebkov vrste i v vzorcu j ,

y_{ik} ...število osebkov vrste i v vzorcu k .

4 REZULTATI

4.1 OPIS VZORČNIH MEST

4.1.1 Vzorčno mesto Polule

Vzorčno mesto se nahaja pri naselju Polule, približno 200 m za vtokom reke Voglajne v Savinjo. Vzorčno mesto je od izliva oddaljeno 23,3 km, Gauss – Krügerjeve koordinati sta: Y=520812 in X=119588. Reka Savinja je v tem odseku regulirana. Širina struge je bila 18.7.2007 in 14.11.2007 27 m, 27.4.2008 pa 30 m. Globina struge in hitrost vodnega toka sta naraščali od levega brega proti desnemu. Na dnu struge je prevladoval anorganski substrat, večinoma nestabilen mikrolital. Ob levem bregu je bilo zaradi počasnega toka prisotno usedanje drobnih delcev. Ob poletnem vzorčenju so bili v strugi prisotni posamezne rastline vrste *Myriophyllum spicatum*, na gladini vode pa so plavale posamezne nekonsistentne pene. Ob levem bregu je bilo prodišče, ki se je nadaljevalo v strm s skalami obložen breg. Poraščen je bil z japonskim dresnikom (*Fallopia japonica*). Približno 20 m od levega brega poteka cesta, za njo so travniki, ki po 100 m prehajajo v gozdnato pobočje. Desni breg je prav tako obložen s skalami, poraščajo ga vrbe (*Salix* sp.). Zasenčenost vodotoka je minimalna. Ob bregu poteka cesta, za katero se začanja gozdnato pobočje.



Slika 5: Vzorčno mesto Polule 18. 7. 2007 (Vir: avtorsko delo).



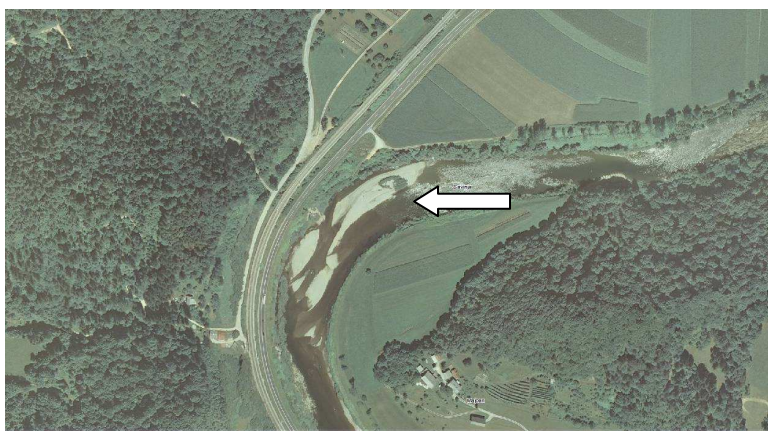
Slika 6: Ortofoto posnetek z označenim vzorčnim mestom Polule (Vir: http://gis.arso.gov.si/atlasokolja/profile.aspx?id=Atlas_Okolja_AXL@Arso).

4.1.2 Vzorčno mesto Tremerje

Vzorčno mesto se nahaja pri naselju Tremerje, približno 1,1 km za iztokom Centralne čistilne naprave Celje in 18 km pred izlivom v Savo. Gauss - Krügerjevi koordinati sta: Y=518203 in X=116698. Reka Savinja je v tem odseku regulirana tako, da je znotraj regulacijskih linij omogočena rečna dinamika. Širina glavne struge je bila zato širša kot v Polulah in je variirala: 18.7. 2007 je merila 35 m, 14.11.2007 38 m in 27.4.2008 34 m. Po poplavi 18. 9. 2007 se je glavni tok reke od levega reguliranega brega odmaknil proti desnemu, na levem robu pa je nastalo novo prodišče. Največja globino struge in najvišja hitrostjo toka, sta bili 18. 7. 2007 ob levem bregu, ob naslednjih vzorčenjih pa na sredi struge. Dno struge je predstavljal pester anorganski substrat s prevladujočim mikrolitalom. Ob poletnem vzorčenju so bile v vodi prisotne večje zaplate makrofita vrste *Myriophyllum spicatum*. Prodišča je poraščala pionirska vegetacija. Levi breg struge je obložen s skalami ter obraščen z japonskim dresnikom (*Fallopia japonica*) in mladimi vrbami (*Salix* sp.). V zaledju brega so travniki. Desni breg struge je bila erodirana stena obrasla z vrbami in japonskim dresnikom. Približno 20 m od brega potekata cesta in železnica, za katero se vzpenja gozdnato pobočje. Struga je bila minimalno osenčena.



Slika 7: Vzorčno mesto Tremerje 27. 4. 2008 (Vir: avtorsko delo).



Slika 8: Ortofoto posnetek z označenim vzorčnim mestom Tremerje (Vir: http://gis.arso.gov.si/atlasokolja/profile.aspx?id=Atlas_Okolja_AXL@Arso).

4.1.3 Vzorčno mesto Laško

Vzorčno mesto se nahaja pred Laškim, približno 2 km pred mostom čez Savinjo v Jagočah. Od izliva je oddaljeno 16,0 km, Gauss-Krügerjevi koordinati sta: Y=518822 in X=114891. Struga je na tem odseku zravnanjena in utrjena s skalami. Širina struge je bila 18.7. in 14.11.2007 38 m, 27.4.2008 smo izmerili 41 m. Globina struge in hitrost toka je bila enakomerna po večini struge, ob levem bregu je bila močnejša poglobitev, kjer je tekla večina vode. Večino dna struge, je predstavljal stabilen makrolital. Ob poletnem vzorčenju so bile ob desnem bregu zaradi počasnega toka prisotne drobne usedline in organski delci (listje, vejice). Levi breg je utrjen s skalami in ga je poraščala samo trava. Nadaljuje se v pobočje s pašniki in travniki. Desni breg je poraščalo gosto obrežno rastje vrb (*Salix* sp.) in japonskega dresnika (*Fallopia japonica*), ki je senčilo nekaj metrov struge. Približno 20 m od desnega brega potekata cesta in železnica, katerima sledijo travniki na pobočju.



Slika 9: Vzorčno mesto Laško 18. 7. 2007 (Vir: avtorsko delo).



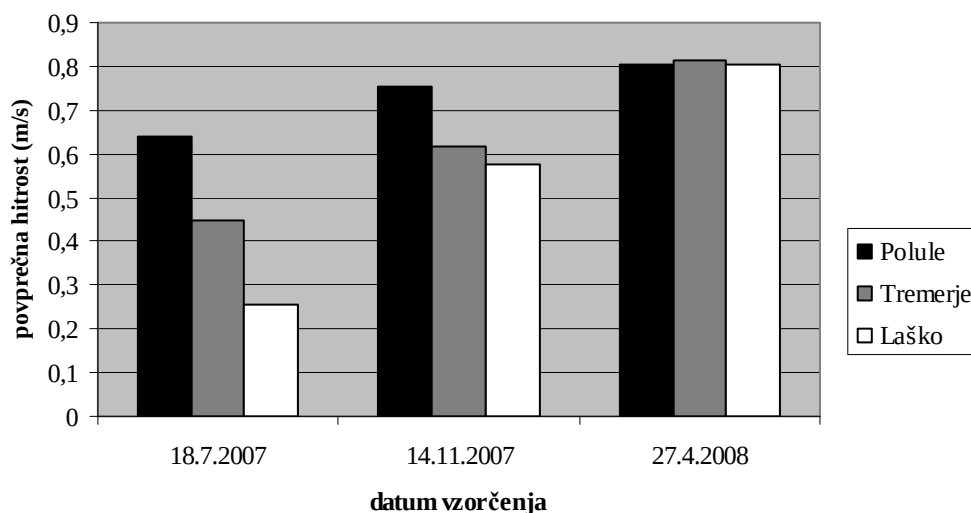
Slika 10: Ortofoto posnetek z označenim vzorčnim mestom Laško (Vir: http://gis.arso.gov.si/atlasokolja/profile.aspx?id=Atlas_Okolja_AXL@Arso).

4.2 REZULTATI HIDROMORFOLOŠKIH PARAMETROV

4.2.1 Hitrost vodnega toka in pretok

Na sliki 11 so prikazane izračunane povprečne hitrosti vodnega toka na različnih vzorčnih mestih ob različnih datumih vzorčenja. Najnižjo vrednost smo izračunali na vzorčnem mestu Laško 18. 7. 2007 (0,26 m/s) in najvišjo na vzorčnem mestu Tremerje 27. 4. 2008 (0,81 m/s). Najnižje so bile vrednosti na vzorčnem mestu Laško, kjer je bila širina struge največja. Najvišje vrednosti smo praviloma izračunali na vzorčnem mestu Polule, kjer je bila struga najožja. Razlike v hitrosti toka med vzorčnimi mesti so bile največje 18. 7. 2007, ko je bil vodostaj najnižji. 27. 4. 2008 je bil vodostaj najvišji, zato so bile razlike v hitrostih toka med vzorčnimi mesti minimalne.

Podatke o pretoku Savinje izmerjene na dan vzorčenja ob 8 uri na merilni postaji Laško smo pridobili iz uradnih medmrežnih strani ARSO. Pretok Savinje 18. 7. 2007 je bil $9,7\text{ m}^3/\text{s}$, 14. 11. 2007 so izmerili $20,0\text{ m}^3/\text{s}$ in 27. 4. 2008 $34,6\text{ m}^3/\text{s}$ (Vir: http://www.arso.gov.si/vode/podatki/stanje_voda.html).



Slika 11: Povprečna hitrost vodnega toka na različnih vzorčnih mestih ob različnih datumih vzorčenja.

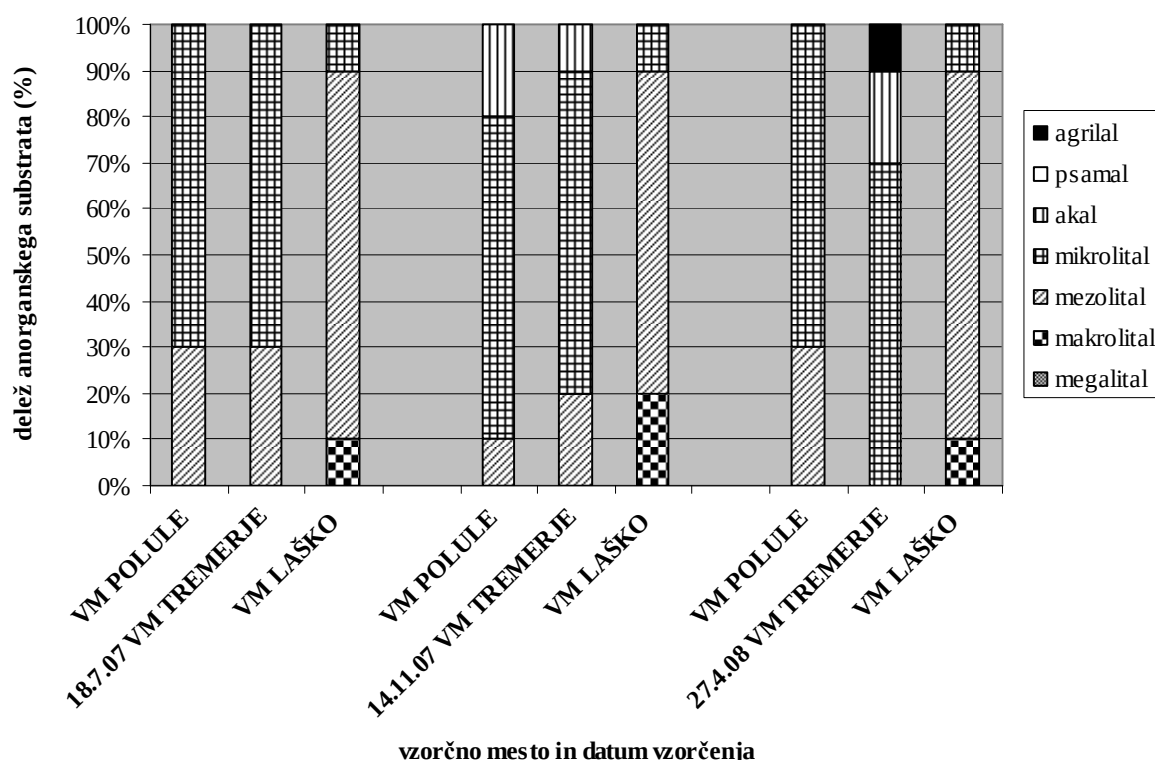
4.2.2 Substrat

Na sliki 12 je prikazana zgradba anorganskega substrata na različnih vzorčnih mestih ob različnem datumu vzorčenja. Savinja je prodonosna reka, zato se zgradba anorganskega substrata z vsako visoko vodo spreminja. Posledica visokih voda septembra 2007 in pomladi 2008 so spremembe v deležih posameznih kategorij anorganskega substrata na istih vzorčnih mestih ob različnih vzorčenjih.

Na vzorčnem mestu Polule je prevladoval mikrolital, katerega delež je ob vseh vzorčenjih znašal 70 %. V deležu večjem od 5 % sta bila prisotna še mezolital in akal, njun delež se je med vzorčenji spreminjal. Manj kot 5 % je zavzemal megalital.

Na vzorčnem mestu Tremerje je prevladoval mikrolital (70 %). V deležu večjem od 5 % so bili prisotni še mezolital, akal in agrilal. Manj kot 5 % je zavzemal megalital. Razmerja med deleži anorganskega substrata so se v Tremerju med datumi vzorčenja najbolj spreminjala.

Na vzorčnem mestu Laško je prevladoval mezolital (70 – 80 %). V deležu večjem od 5 % sta bila prisotna še makrolital in mikrolital. Akal in megalital sta zavzemala manj kot 5 %. Substrat je bil na vzorčnem mestu Laško najbolj stabilen in stalen.



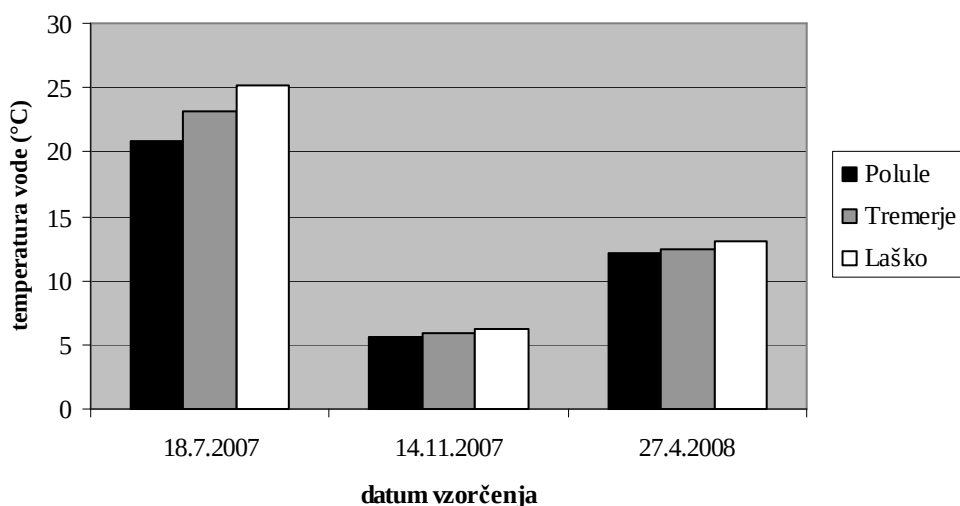
Slika 12: Zgradba anorganskega substrata na različnih vzorčnih mestih ob različnih datumih vzorčenja.

Organski substrat se je v deležu večjem od 5 % pojavil le na vzorčnem mestu Tremerje 18. 7. 2007, kjer je makrofit vrste *Myriophyllum spicatum* pokrival 20 % dna vodotoka. V deležu manjšem od 5 % so se izjemoma pojavljali še večji organski delci, ksilal in živi deli kopenskih rastlin.

4.3 REZULTATI FIZIKALNIH MERITEV IN KEMIJSKIH ANALIZ

4.3.1 Temperatura

Na sliki 13, ki prikazuje temperaturo vode na različnih vzorčnih mestih ob različnem datumu vzorčenja, opazimo dnevno in sezonsko spreminjanje temperature vode. Temperatura vode ob vseh vzorčenjih narašča po toku navzdol, kar je povezano s časom meritve, saj smo temperaturo v Polulah merili dopoldne, v Tremerju opoldne in v Laškem v popoldanskih urah. Najnižje temperature smo izmerili 14. 11. 2007 z najnižjo vrednostjo 5,6 °C v Polulah, najvišje pa smo izmerili 18. 7. 2007 z najvišjo vrednostjo 25,2 °C v Laškem. Razlike v temperaturi vode med vzorčnimi mesti ob vzorčenju so bile največje 18. 7. 2007, ko so bili vodostaj, hitrost toka in pretok najnižji, sončno sevanje pa najintenzivnejše.

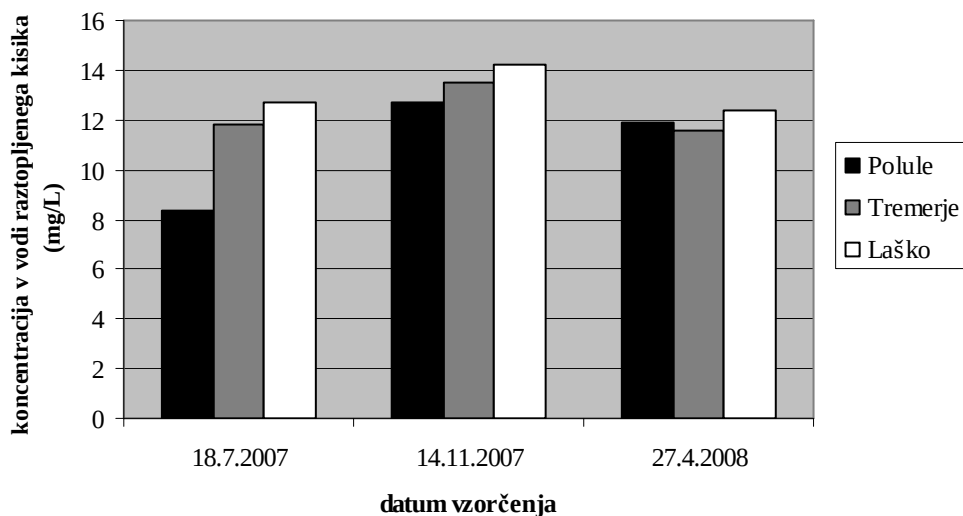


Slika 13: Temperatura vode na različnih vzorčnih mestih ob različnih datumih vzorčenja.

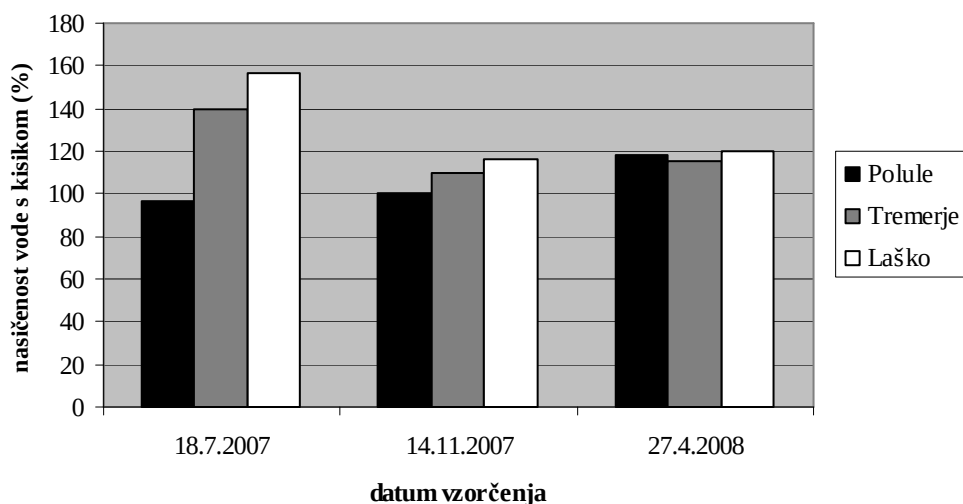
4.3.2 Koncentracija in nasičenost s kisikom

Na sliki 14 predstavljene koncentracije v vodi raztopljenega kisika so zavzemale vrednosti med 8 mg/L in 15 mg/L, kar so običajne vrednosti za celinske vode. Najnižjo vrednost smo izmerili v Polulah 18. 7. 2007 (8,4 mg/L), najvišjo pa v Laškem 14. 11. 2007 (14,2 mg/L). Koncentracija 18. 7. 2007 in 14. 11. 2007 narašča po toku navzdol, kar je povezano s časom meritve in biogenim prezračevanjem, saj smo v Polulah merili dopoldan, v Tremerju opoldne, v Laškem pa v popoldanskih urah. 27. 4. 2008 je imelo biogeno prezračevanje zaradi relativno visokega pretoka na vsebnost kisika manjši vpliv.

Nasičenost vode s kisikom (slika 15) je bila praviloma več kot 100 %. Najnižjo vrednost (97 %) smo izmerili v Polulah 18. 7. 2007 v dopoldanskem času, najvišjo (157 %) pa v Laškem 18. 7. 2007 v popoldanskem času. Največje razlike med vzorčnimi mesti so bile 18. 7. 2007 saj je bil učinek biogenega prezračevanja, ki je tekom dneva povečevalo nasičenost, ob nizkem vodostaju in intenzivnem sončnem sevanju največji.



Slika 14: Koncentracija v vodi raztopljenega kisika na različnih vzorčnih mestih ob različnih datumih vzorčenja.

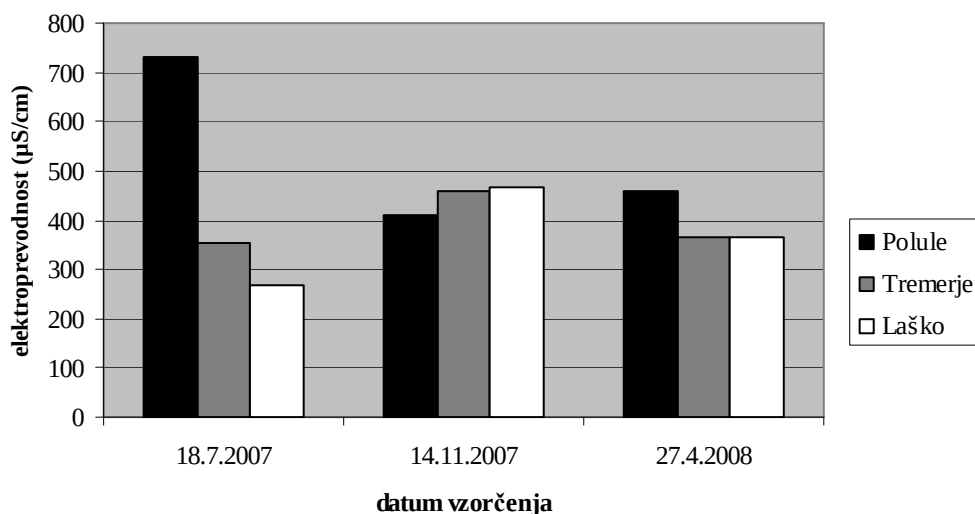


Slika 15: Nasičenost vode s kisikom na različnih vzorčnih mestih ob različnih datumih vzorčenja.

4.3.3 Elektroprevodnost

Izmerjene vrednosti elektroprevodnosti so bile med 266 $\mu\text{S}/\text{cm}$ v Laškem 18. 7. 2007 in izstopajočo vrednostjo 730 $\mu\text{S}/\text{cm}$ izmerjeno v Polulah 18. 7. 2007. Visoka izmerjena vrednost je najverjetneje posledica pritoka z odpadno vodo onesnažene Voglajne ali kakšnega drugega vira odpadne vode, ki je imela ob nizkem pretoku Savinje velik vpliv na elektroprevodnost. V Polulah smo najvišjo vrednost elektroprevodnosti med vzorčnimi mesti zmerili tudi 27. 4. 2008. V povprečju smo najvišje vrednosti izmerili jeseni 14. 11. 2007, takrat je bila vrednost v Polulah nižja od ostalih. Slednje je lahko posledica regulacijskih del, ki so jih tega dne izvajali v strugi pod mostom v Polulah. Sicer so višje

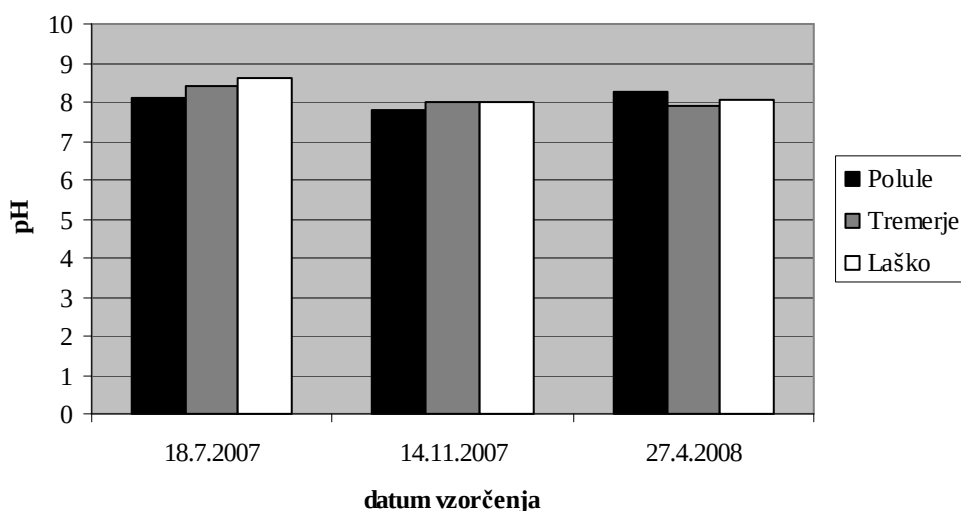
vrednosti jeseni običajne zaradi manjše aktivnosti privzema ionov s strani primarnih producentov ter večje razgradnje avtohtonih in alohtonih organskih snovi.



Slika 16: Elektroprevodnost na različnih vzorčnih mestih ob različnih datumih vzorčenja.

4.3.4 pH

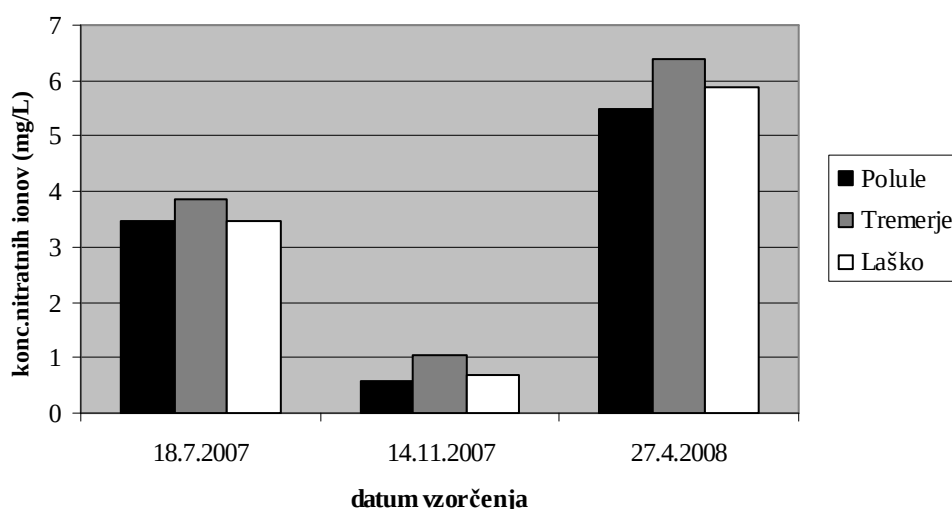
Na sliki 17 prikazan pH je bil med 7,8 v Polulah 14. 11. 2007 in 8,6 v Laškem 18. 7. 2007. Rahlo bazična reakcija vode je značilna za vodotoke na karbonatni podlagi. Največje razlike med vzorčnimi mesti so bile 18. 7. 2007, pri ostalih dveh vzorčenjih so bile manjše. Iz slike je razvidno dnevno nihanje vrednosti pH. Ob prvem vzorčenju in manj izrazito ob drugem vzorčenju se je pH po toku navzdol dvigoval. Primarni producenti so tekom dneva zaradi porabe CO₂ zviševali pH. Zato je bil pH zjutraj v Polulah nižji kot opoldne v Tremerjah ali popoldne v Laškem. Ob spomladanskem vzorčenju 27. 4. 2008 takšnega trenda ni bilo zaradi visokega vodostaja reka.



Slika 17: pH vrednosti na različnih vzorčnih mestih ob različnih datumih vzorčenja.

4.3.5 Koncentracija nitratov

Na sliki 18 so prikazane koncentracije nitratnih ionov na različnih vzorčnih mestih ob različnem datumu vzorčenja. Najnižjo vrednost smo določili v Polulah 14. 11. 2007 (0,58 mg/L) in najvišjo v Tremerju 27. 4. 2008 (6,38 mg/L). Najnižje vrednosti smo določili ob jesenskem vzorčenju 14. 11. 2007 in najvišje ob spomladanskem 27. 4. 2008. Najvišje vrednosti ob spomladanskem vzorčenju so verjetno posledica spiranja hranil iz kmetijskih površin zaradi obilnejših padavin. Pri vseh vzorčenjih smo najvišje vrednosti med vzorčnimi mesti določili v Tremerjah, kar povezujemo z dotokom s hranili bogate odpadne vode iz čistilne naprave Celje pred tem vzorčnim mestom.



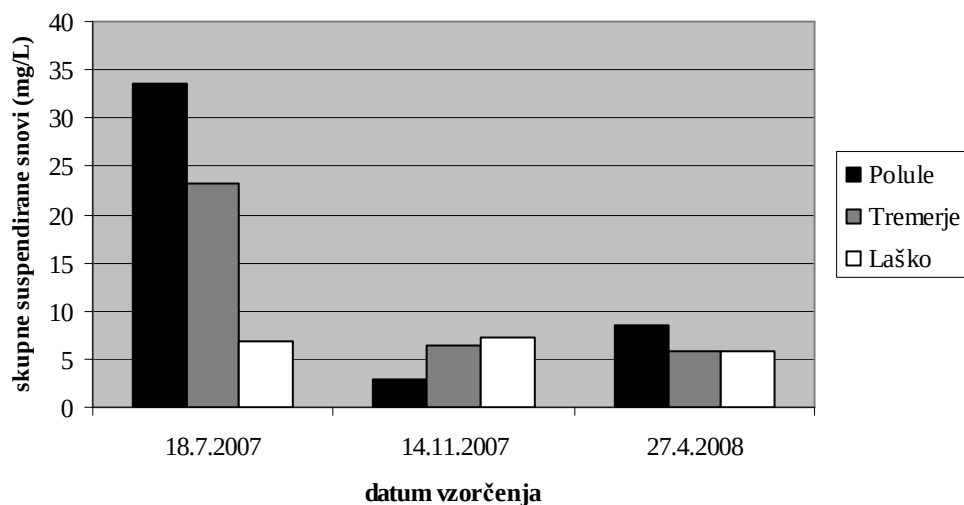
Slika 18: Koncentracija nitratnih ionov na različnih vzorčnih mestih ob različnih datumih vzorčenja.

4.3.6 Koncentracija fosfatov

Koncentracije ortofosfatnih ionov so bile na vseh vzorčnih mestih ob različnih datumih vzorčenja pod mejo detekcije uporabljene metode, ki je 0,1 mg/L.

4.3.7 Skupne suspendirane snovi

Koncentracija skupnih suspendiranih snovi (slika 19) je bila med 3,0 in 33,6 mg/L. Večina vrednosti je bila približno 5 mg/L. Izrazito izstopata visoki vrednosti v Polulah in Tremerjah 28. 7. 2007. Ti sta lahko posledica izpusta organskih odpadnih snovi v reko pred prvim vzorčnim mestom, ki so se zaradi nizkega pretoka reke manj razredčile kot običajno.



Slika 19: Koncentracija skupnih suspendiranih snovi na različnih vzorčnih mestih ob različnih datumih vzorčenja.

4.4 REZULTATI BIOLOŠKIH ANALIZ

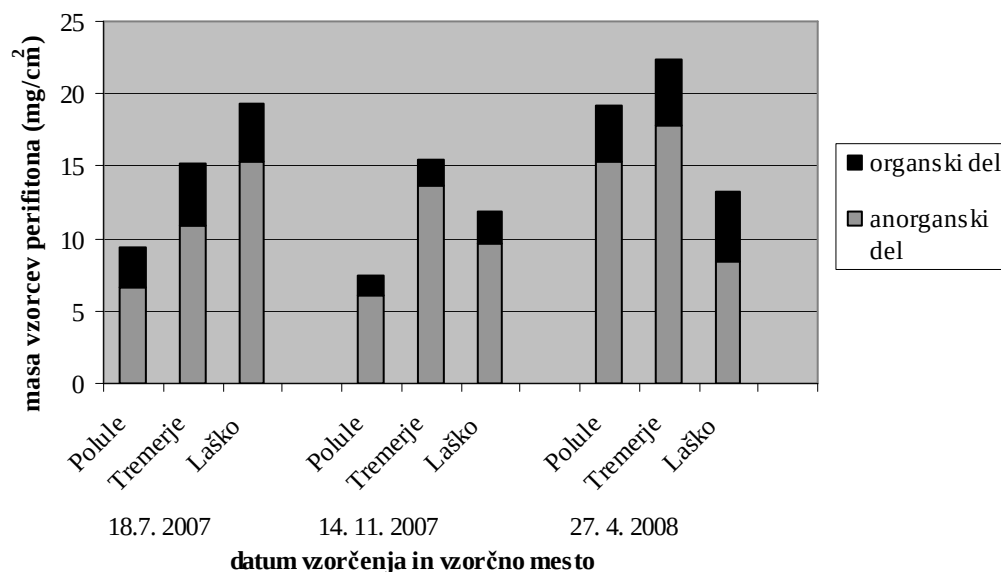
Rezultati bioloških analiz so za posamezna vzorčna mesta podani v prilogah. Delež vrst kremenastih alg je podan v prilogi E. Ocena pogostosti posameznih vrst je v prilogi F. V prilogi G so podani rezultati štetja izbranih vrst alg in modro-zelenih cepljivk.

4.4.1 Masa vzorcev perifitona

Mase vzorcev perifitona (mg/cm^2) so za vsa vzorčenja in vsa vzorčna mesta prikazane na sliki 20 in v prilogi C.

V povprečju smo najvišje mase vzorcev perifitona izračunali ob pomladnem vzorčenju 27. 4. 2008 ($18,2 \text{ mg}/\text{cm}^2$) in najnižje ob jesenskem 14. 11. 2007 ($11,6 \text{ mg}/\text{cm}^2$). Ob poletnem vzorčenju smo najvišjo maso izmerili vzorcu na vzorčnem mestu Laško, ob ostalih vzorčenjih je bila najvišja masa vzorcev na vzorčnem mestu Tremerje.

Anorganski del mase vzorcev perifitona je v povprečju predstavljal 77,6 % celotne biomase. Najvišji delež (83,8 %) so anorganske snovi zavzele ob jesenskem vzorčenju 14. 11. 2007, ob ostalih vzorčenjih je bil delež anorganskih snovi približno 74 %.

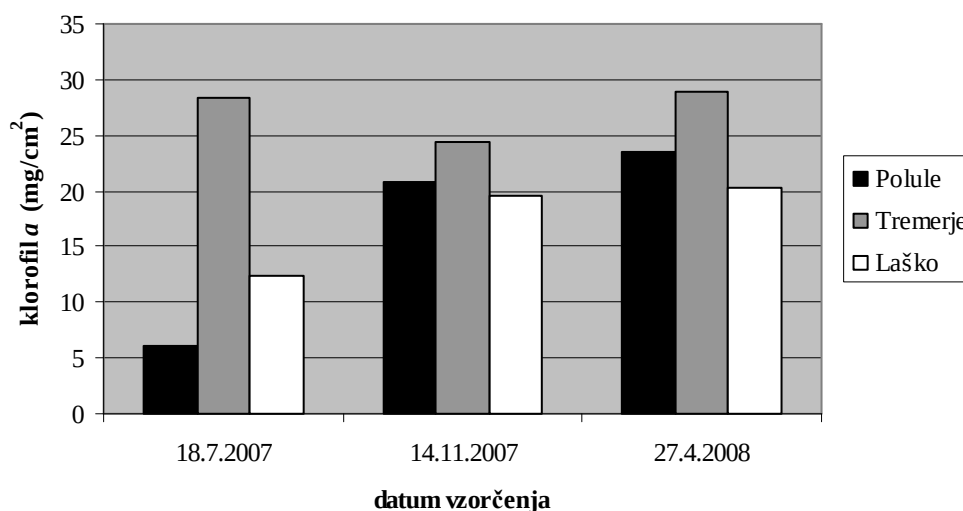


Slika 20: Masa vzorcev perifitona (mg/cm²) s predstavljenima organskim in anorganskim deležema na različnih vzorčnih mestih ob različnih datumih vzorčenja.

4.4.2 Klorofil *a*

Količine klorofila *a* (mg/cm²) so za vsa vzorčenja in vsa vzorčna mesta prikazane na sliki 21 in v prilogi D.

Izmerjene količine klorofila *a* so bile med 6,1 mg/cm² in 28,9 mg/cm². V povprečju smo najvišjo količino klorofila *a* izmerili ob pomladnem vzorčenju 27. 4. 2008 (24,2 mg/cm²) in najnižjo ob poletnem 18. 7. 2007 (15,6 mg/cm²). Ob vseh vzorčenjih, posebej izrazito ob poletnem, smo najvišje vrednosti izmerili na vzorčnem mestu Tremerje.



Slika 21: Količina klorofila *a* (mg/cm²) na različnih vzorčnih mestih ob različnih datumih vzorčenja.

4.4.3 Analiza perifitonske združbe

4.4.3.1 Sezonsko spreminjanje števila vrst glavnih skupin alg in modro-zelenih cepljivk

Na vseh vzorčnih mestih in ob vseh vzorčenjih so najvišje število vrst perifitonske združbe dosegale kremenaste alge. Ob poletnem vzorčenju 18. 7. 2007 (preglednica 8) jim sledijo zelene alge in modro-zelene cepljivke. Ob vzorčenju 14. 11. 2007 (preglednica 9) so bile zelene alge in modro-zelene cepljivke zastopane s podobnim številom vrst, 1 vrsta je bila iz skupine zlatorjavih alg in na vzorčnem mestu Laško še 1 vrsta iz skupine rdečih alg. Tudi ob pomladnem vzorčenju 27. 4. 2008 (preglednica 10) je bilo število vrst zelenih alg in modro-zelene cepljivk podobno, na vzorčnih mestih Polule in Tremerje je bila prisotna še 1 vrsta zlatorjavih alg.

Preglednica 7: Število vrst iz posamezne skupine alg in modro-zelenih cepljivk na posameznem vzorčnem mestu dne 18. 7. 2007.

Datum: 18.7.2008	Polule	Tremerje	Laško
CYANOPHYTA	5	4	4
CHRYSTOPHYTA	0	0	0
BACILLARIOPHYTA	35	33	36
CHLOROPHYTA	5	10	11
RHODOPHYTA	0	0	0

Preglednica 8: Število vrst iz posamezne skupine alg in modro-zelenih cepljivk na posameznem vzorčnem mestu dne 14. 11. 2007.

Datum: 14.11.2007	Polule	Tremerje	Laško
CYANOPHYTA	3	3	4
CHRYSTOPHYTA	1	1	1
BACILLARIOPHYTA	36	32	30
CHLOROPHYTA	3	5	4
RHODOPHYTA	0	0	1

Preglednica 9: Število vrst iz posamezne skupine alg in modro-zelenih cepljivk na posameznem vzorčnem mestu dne 27. 4. 2008.

Datum: 27.4.2008	Polule	Tremerje	Laško
CYANOPHYTA	4	4	4
CHRYSTOPHYTA	1	1	0
BACILLARIOPHYTA	38	37	37
CHLOROPHYTA	5	4	4
RHODOPHYTA	0	0	0

4.4.3.2 Rezultati štetja kremenastih alg

a) Vzorčno mesto Polule

V obdobju 9 mesecev smo v 3 vzorčenjih na vzorčnem mestu Polule določili 45 vrst kremenastih alg. Največ vrst (37) smo določili 14. 11. 2007, 18. 7. 2007 in 27. 4. 2008 jih je bilo 35. Od vseh najdenih vrst se je v vseh vzorcih pojavljalo 26 vrst.

Vrste katerih delež je vsaj enkrat presegel 5 % so bile: *Diatoma vulgare*, *Achnanthes lanceolata*, *A. minutissima*, *Navicula capitatoradiata*, *N. cryptotenella*, *N. lanceolata*, *Cymbella affinis*, *C. minuta*, *Gomphonema olivaceum*, *G. parvulum*, *Nitzschia dissipata*, *N. fonticola*.

Vrste, ki so se pojavljale z najvišjim deležem ob poletnem vzorčenju so: *Navicula cryptotenella* (13,4 %), *N. capitatoradiata* (13,1 %), *Nitzschia fonticola* (8,6 %), *Gomphonema parvulum* (7,4 %) in *Diatoma vulgare* (6,3 %). Ob vzorčenju 14. 11. 2007 so najvišje deleže dosegale vrste: *Gomphonema parvulum* (24,2 %), *Navicula lanceolata* (11,1 %), *Nitzschia fonticola* (10,6 %) in *Navicula cryptotenella* (7,8 %). Spomladi je najvišji delež dosegala vrsta *Achnanthes minutissima* (33,4 %), ki so ji sledile vrste *Gomphonema parvulum* (17,8 %), *Nitzschia fonticola* (10,2 %) in *Navicula cryptotenella* (9,7 %).

b) Vzorčno mesto Tremerje

V treh vzorčenjih smo na vzorčnem mestu Tremerje določili 44 vrst kremenastih alg. Največ vrst (35) smo določili 27. 4. 2008. 18. 7. 2007 smo določili 33 vrst, najmanj vrst (32) smo določili 14. 11. 2007. Od vseh najdenih vrst se je v vseh vzorcih pojavljalo 25 vrst.

Vrste, ki so vsaj enkrat presegle delež 5 % so bile: *Fragilaria capucina*, *Achnanthes lanceolata*, *A. minutissima*, *Cocconeis placentula*, *Navicula capitatoradiata*, *N. cryptotenella*, *Amphora pediculus*, *Cymbella affinis*, *Nitzschia fonticola*, *N. dissipata*, *Gomphonema parvulum* in *G. olivaceum*.

Ob poletnem vzorčenju so se z najvišjim deležem pojavljale vrste: *Navicula cryptotenella* (22,8 %), *Nitzschia fonticola* (15,7 %), *Navicula capitatoradiata* (8,6 %) in *Gomphonema parvulum* (7,8 %). 14. 11. 2007 so najvišje deleže dosegale: *Navicula cryptotenella* (19,7 %), *Gomphonema parvulum* (19,3 %), in *Achnanthes lanceolata*, *Nitzschia dissipata* ter *N. fonticola*, ki so zavzele 10 % delež. Ob spomladanskem vzorčenju je dominirala vrsta *Achnanthes minutissima* (57,1 %), sledili sta vrsti *Amphora pediculus* (7,5 %) in *Nitzschia fonticola* (4,3 %).

c) Vzorčno mesto Laško

V treh vzorčenjih v obdobju 9 mesecev smo na vzorčnem mestu Laško določili 45 vrst kremenastih alg. Največ vrst (36) smo določili ob poletnem in pomladnem vzorčenju. Ob vzorčenju 14.11. 2007 je bilo 30 vrst.

Vrste katerih delež je vsaj enkrat presegel 5 % so bile: *Achnanthes lanceolata*, *A. minutissima*, *Cocconeis placentula*, *Navicula capitatoradiata*, *N. cryptotenella*, *Amphora pediculus*, *Cymbella affinis*, *Gomphonema olivaceum*, *G. parvulum*, *Nitzscia dissipata* in *N. fonticola*.

Ob vzorčenju 18. 7. 2007 so se z najvišjimi deleži pojavljale vrste: *Navicula cryptotenella* (17,8 %), *Achnanthes minutissima* (9,7 %), *Gomphonema parvulum* (8,8 %), *Cocconeis placentula* (8,7 %) in *Nitzschia fonticola* (7,9 %). Ob vzorčenju 14. 11. 2007 so najvišje deleže dosegale vrste: *Gomphonema parvulum* (16,8 %), *Navicula cryptotenella* (15,6 %), *Nitzschia dissipata* (9,5 %), *Achnanthes lanceolata* (9,4 %) in *A. minutissima* (9,3 %). Ob pomladnem vzorčenju je najvišji delež dosegala vrsta *Achnanthes minutissima* (43,4 %), sledili sta ji vrsti *Gomphonema parvulum* (12,4 %) in *Amphora pediculus* (7,6 %).

4.4.3.3 Pogostost vseh alg in modro-zelenih cepljivk

Skupno smo v treh vzorčenjih na treh vzorčnih mestih določili 79 vrst alg in modro-zelenih cepljivk. Od tega je 5 vrst pripadalo skupini Cyanophyta, 1 vrsta skupini Chrysophyta, 53 vrst skupini Bacillariophyta, 19 vrst skupini Chlorophyta in 1 vrsta skupini Rhodophyta. Največje skupno število vrst (59) na treh vzorčnih mestih smo določili ob prvem vzorčenju 18. 7. 2007, ob vzorčenju 14. 11. 2007 smo določili najmanj vrst (55). Ob pomladanskem vzorčenju smo določili 57 prisotnih vrst.

a) Vzorčno mesto Polule

Skupno smo na vzorčnem mestu Polule določili 61 različnih vrst alg in modro-zelenih cepljivk. Največ vrst (48) ob pomladnem vzorčenju in najmanj vrst (43) ob vzorčenju 14. 11. 2007. Ob poletnem vzorčenju smo določili 45 vrst.

Ob poletnem vzorčenju je bila množična vrsta (ocenjena s 5) modro-zelena cepljivka *Homoeothrix varians*, sledili sta ji pogosti (ocenjeni s 4) kremenasti algi *Navicula capitatoradiata* in *Nitzschia fonticola*. Ob vzorčenju 14. 11. 2007 smo s 5 ocenili pogostost kremenastih alg *Navicula cryptotenella* in *Gomphonema parvulum*, sledita ji pogosta *Nitzschia fonticola* in srednje pogosta (ocenjena s 3) modro-zelena cepljivka *Homoeothrix varians*.

Ob vzorčenju 27. 4. 2008 so se množično pojavljale vrste *Homoeothrix varians*, *Pleurocapsa minor*, *Achnanthes minutissima*, *Navicula cryptotenella* in *Gomphonema parvulum*.

b) Vzorčno mesto Tremerje

Skupno smo na vzorčnem mestu Tremerje določili 61 vrst alg in modro-zelenih cepljivk. Največ vrst (47) smo določili ob poletnem vzorčenju, najmanj (41) ob jesenskem 14. 11. 2007. Ob pomladnem vzorčenju smo določili 46 različnih vrst.

Ob poletnem vzorčenju so se množično pojavljale vrste: *Homoeothrix varians*, *Pleurocapsa minor*, *Navicula cryptotenella* in *Nitzschia fonticola*. Jeseni so se množično pojavljale modro-zelena cepljivka *Homoeothrix varians* ter kremenasti algi *Navicula cryptotenella* in *Gomphonem parvulum*. Ob pomladanskem vzorčenju smo z množično ocenili pogostost modro-zelene cepljivke *Pleurocapsa minor* in kremenaste alge *Achnanthes minutissima*, ki jima sledijo pogoste *Homoeothrix varians*, *Navicula cryptotelella* in *Gomphonema parvulum*.

c) Vzorčno mesto Laško

Skupno smo na vzorčnem mestu Laško določili 65 vrst alg in modro-zelenih cepljivk. Najvišje število vrst (51) smo določili ob poletnem vzorčenju, ob jesenskem vzorčenju je bilo 40 vrst, ob pomladnem pa 45.

Ob poletnem vzorčenju smo množično pogostost ocenili vrstam: *Homoeothrix varians*, *Phormidium* sp., *Navicula capitatoradiata* in *N. cryptotenella*. Pogosti sta bili še vrsti *Pleurocapsa minor* (4) in *Achnanthes minutissima* (4). Ob jesenskem vzorčenju so se množično pojavljale vrste *Homoeothrix varians*, *Pleurocapsa minor* in *Navicula cryptotenella*. Spomladi smo množično ocenili pogostost vrst: *Homoeothrix varians*, *Pleurocapsa minor*, *Achnanthes minutissima*, *Navicula cryptotenella* in *Gomphonema parvulum*. Pogosti sta bili vrsti: *Phormidium* sp. in *Amphora pediculus*.

4.4.3.4 Rezultati štetja izbranih taksonov alg in modro-zelenih cepljivk

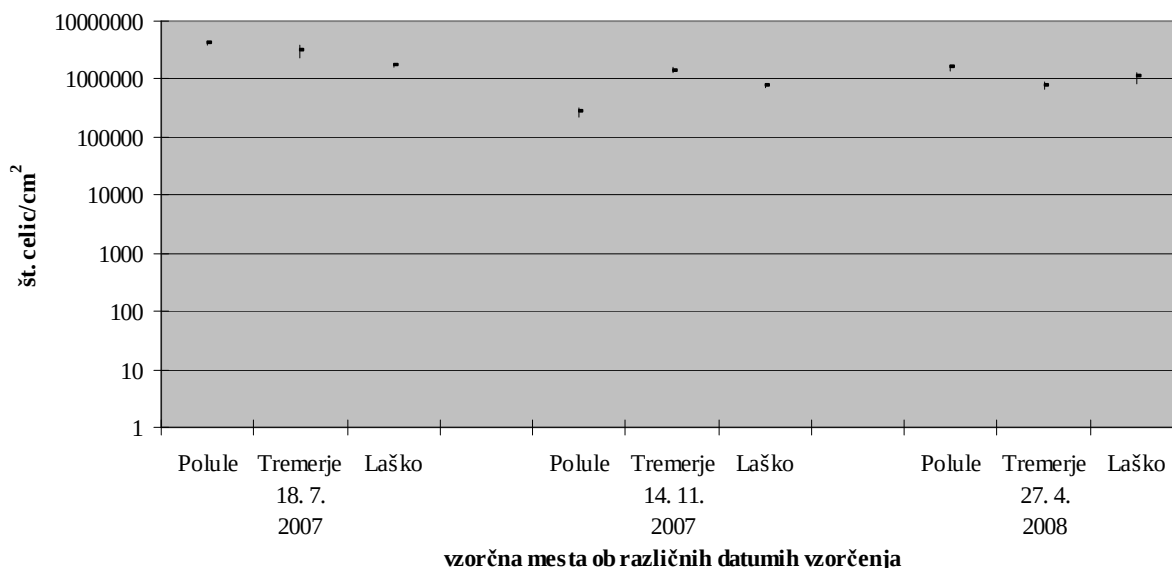
Najvišje gostote celic so med izbranimi taksoni dosegale modro-zelene cepljivke *Homoeothrix varians* (slika 22), *Pleurocapsa minor* (slika 23) in *Phormidium* sp. (slika 24). Vrsta *Homoeothrix varians* je najvišje gostote dosegala ob poletnem vzorčenju, *Pleurocapsa minor* ob pomladnem. Vrsta *Phormidium* sp. se je v višjih gostotah pojavljala v poletnih in pomladnih vzorcih, najvišje gostote je dosegala na vzorčnem mestu Laško. Poleg omenjenih smo prešteli in gostoto izračunali še zlatorjavi algi *Hydrurus foetidus* (priloga G).

Med izbranimi taksoni kremenastih alg so najvišje gostote celic dosegale vrste *Achnanthes minutissima* (slika 25), *Navicula capitatoradiata* (slika 26) in *N. cryptotenella* (slika 27). Vrsta *Achnanthes minutissima* je najvišje gostote dosegala v pomladnih vzorcih, *Navicula capitatoradiata* v poletnih vzorcih. *Navicula cryptitenella* je bila pogostejša v poletnih in pomladnih vzorcih. Poleg omenjenih smo prešteli in gostoto izračunali še taksonom: *Melosira varians*, *Cyclotella* sp., *Surirella brevisoni*, *Fragilaria ulna*, *Cocconeis placentula*, *Rhoicosphenia curvata*, *Navicula lanceolata*, *Navicula tripunctata*, *Navicula*

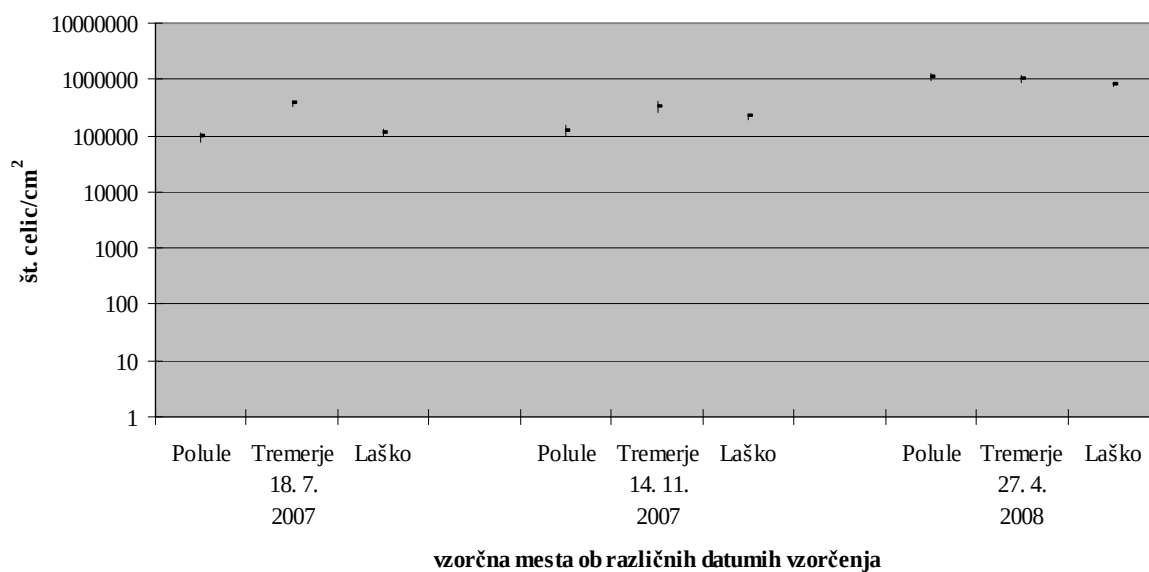
viridula, *Amphora* sp., *Cymbella* sp., *Nitzschia acicularis*, *Nitzschia palea* in *Diatoma vulgare* (priloga G).

Med izbranimi taksoni zelenih alg sta najvišji gostoti dosegali vrsti *Cladophora glomerata* (slika 28) in *Stigeoclonium tenue* (slika 29). Vrsta *Cladophora glomerata* je najvišjo gostoto dosegla 14. 11. 2007 na vzorčnem mestu Tremerje, pogosta je bila tudi v pomladnih vzorcih. Vrsta *Stigeoclonium tenue* se je pojavljala v jesenskih in pomladnih vzorcih, medtem ko je v poletnih vzorcih ni bilo. Med zelenimi algami smo gostoto izračunali še za vrsti: *Pediastrum boryanum* in *Ulothrix zonata*.

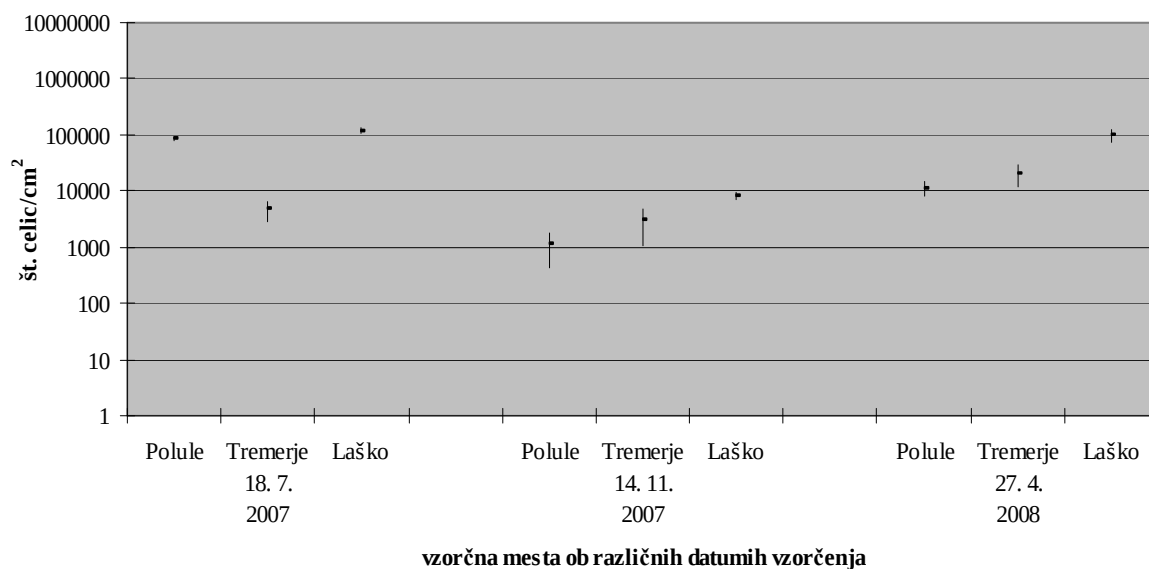
Prešteli in izračunali gostoto smo tudi vrsti *Bangia artropurpurea* iz skupine rdečih alg, ki se je pojavila ob vzorčenju 14. 11. 2007 na vzorčnem mestu Laško (priloga G).



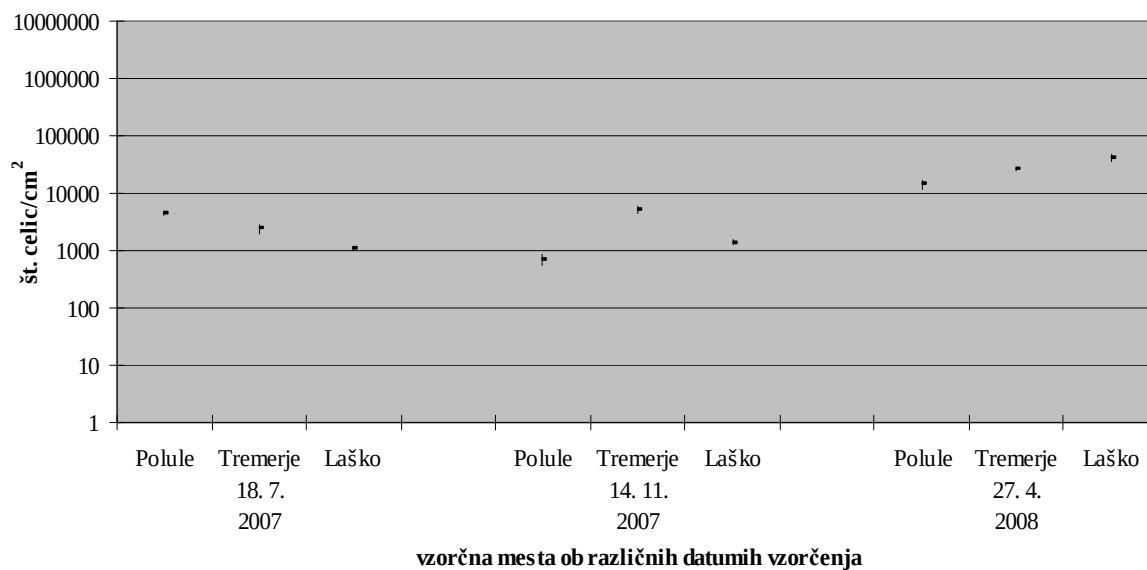
Slika 22: Spreminjanje gostote celic (št. celic/cm² ± SE) vrste *Homoeothrix varians* prikazane na logaritemski skali na različnih vzorčnih mestih ob različnih datumih vzorčenja.



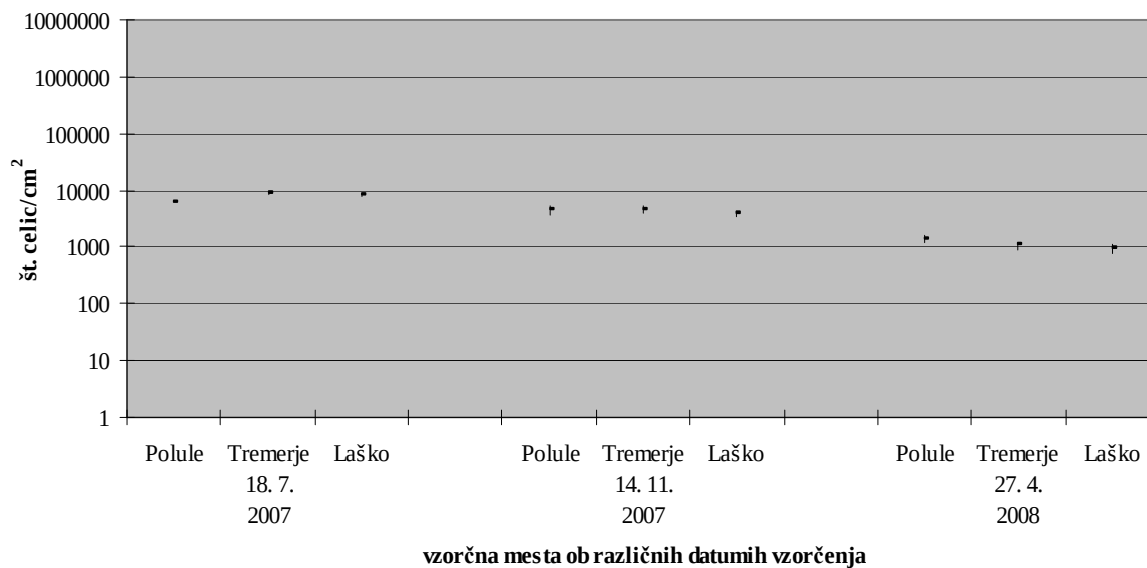
Slika 23: Spreminjanje gostote celic (št. celic/cm² ± SE) vrste *Pleurocapsa minor* prikazane na logaritemski skali na različnih vzorčnih mestih ob različnih datumih vzorčenja.



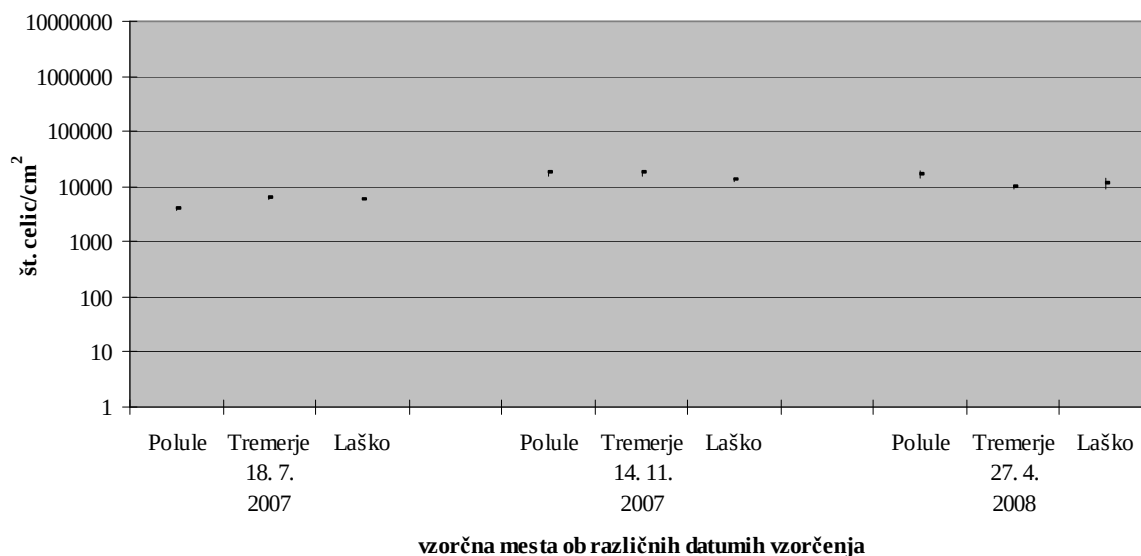
Slika 24: Spreminjanje gostote celic (št. celic/cm² ± SE) vrste *Phormidium* sp. prikazane na logaritemski skali na različnih vzorčnih mestih ob različnih datumih vzorčenja.



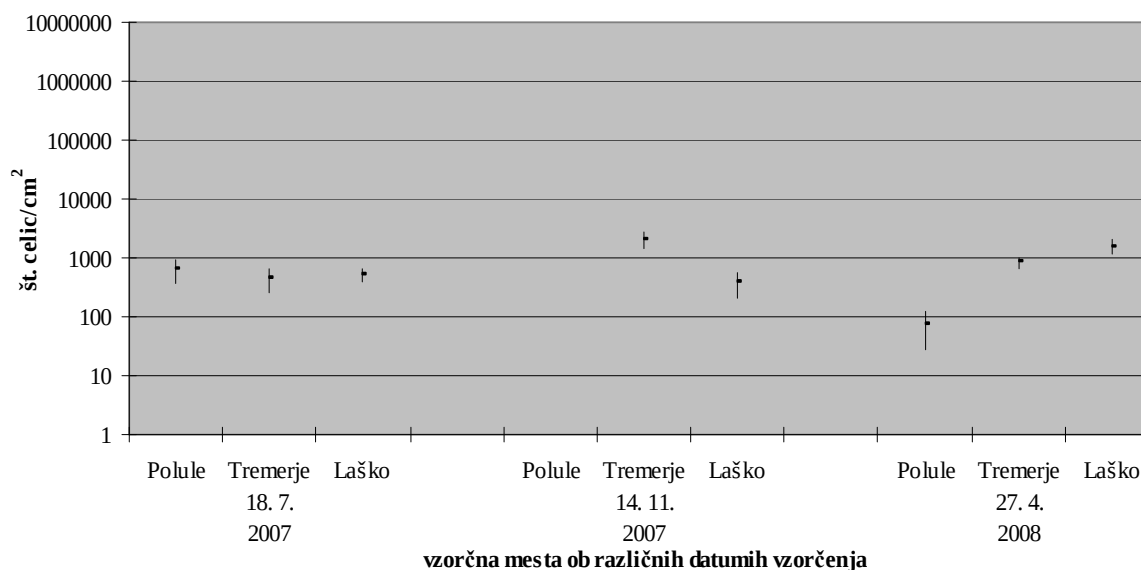
Slika 25: Spreminjanje gostote celic (št. celic/cm² ± SE) vrste *Achnanthes minutissima* prikazane na logaritemski skali na različnih vzorčnih mestih ob različnih datumih vzorčenja.



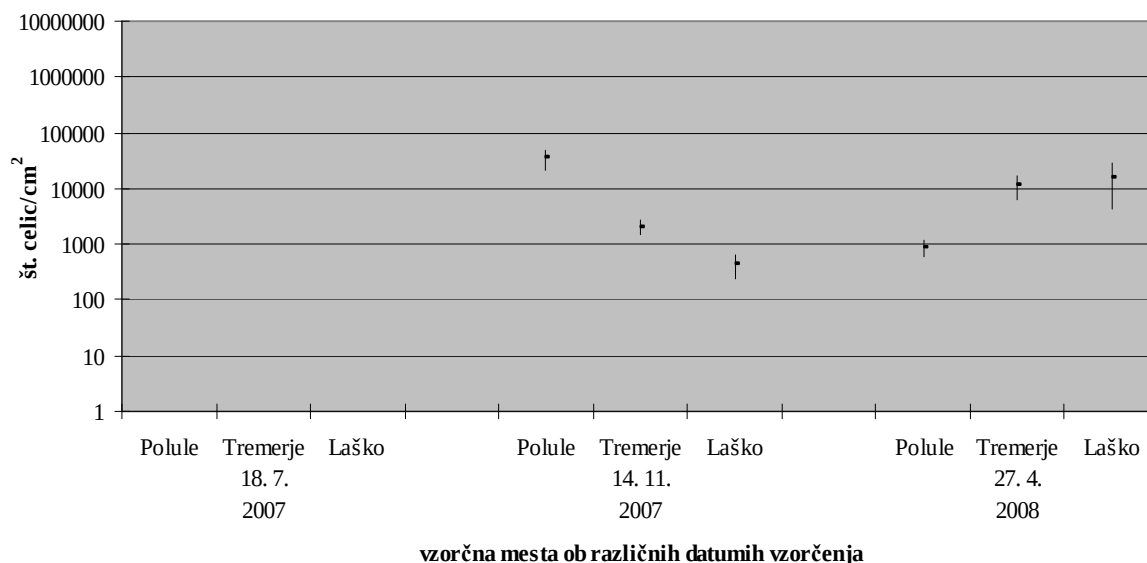
Slika 26: Spreminjanje gostote celic (št. celic/cm² ± SE) vrste *Navicula capitatoradiata* prikazane na logaritemski skali na različnih vzorčnih mestih ob različnih datumih vzorčenja.



Slika 27: Spreminjanje gostote celic (št. celic/cm² ± SE) vrste *Navicula cryptotenella* prikazane na logaritmski skali na različnih vzorčnih mestih ob različnih datumih vzorčenja.



Slika 28: Spreminjanje gostote celic (št. celic/cm² ± SE) vrste *Cladophora glomerata* prikazane na logaritmski skali na različnih vzorčnih mestih ob različnih datumih vzorčenja.



Slika 29: Spreminjanje gostote celic (št. celic/cm² ± SE) vrste *Stigeoclonium tenue* prikazane na logaritemski skali na različnih vzorčnih mestih ob različnih datumih vzorčenja.

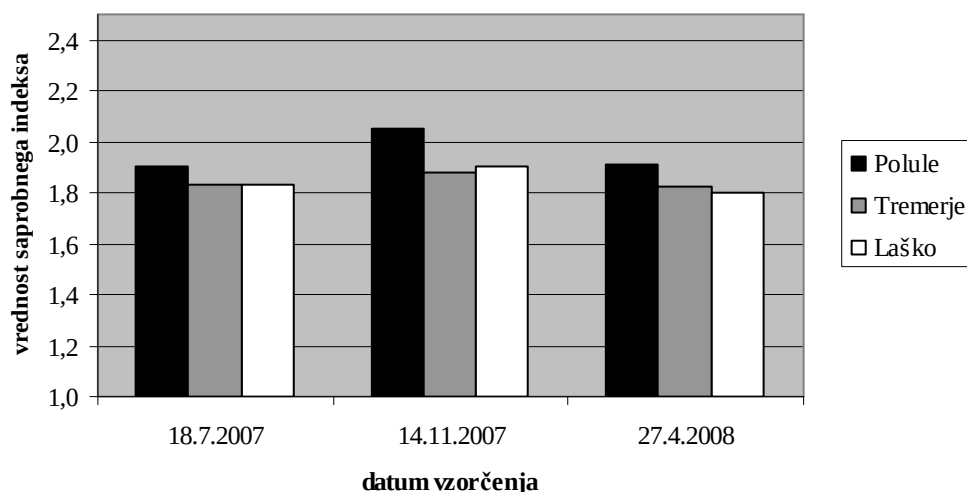
4.5 REZULTATI STATISTIČNIH ANALIZ

4.5.1 Saprobni indeks

Vrednosti saprobnega indeksa na različnih vzorčnih mestih ob različnem datumu vzorčenja izračunane na podlagi kremenastih alge so podane v prilogi H1 in prikazane na sliki 30 ter izračunane na podlagi vseh alg in modro-zelenih cepljivk v prilogi H1 in na sliki 31. Ocene kakovosti vode na podlagi vrednosti saprobnega indeksa so podane v prilogi H2.

Kremenaste alge:

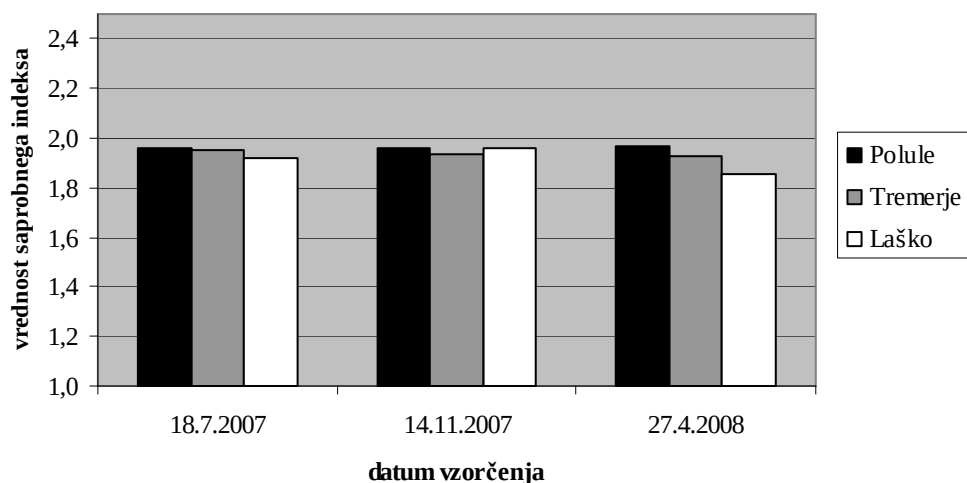
Na podlagi relativne pogostosti kremenastih alg smo izračunali vrednost saprobnega indeksa. Povprečna vrednost indeksa za vsa vzorčenja in vsa vzorčna mesta znaša 1,88. Ta vrednost uvršča Savinjo v tem odseku v 2. kakovostni razred. Saprobna stopnja v 2. razredu je β – mezosaprobna, kar pomeni, da je vodotok zmerno organsko obremenjen. V 2. kakovostni razred smo uvrstili vsa vzorčna mesta ob vseh vzorčenjih razen vzorca Laško 27. 4. 2008, ki smo ga uvrstili v 1. – 2. kakovostni razred, kar pomeni oligo do β – mezosaprobno stopnjo in majhno obremenjenost vodotoka. Najvišje vrednosti indeksa smo ob vseh vzorčenjih izračunali na vzorčnem mestu Polule, najnižje, razen ob jesenskem vzorčenju, v Laškem.



Slika 30: Vrednosti saprobnega indeksa, izračunanega na podlagi prisotnih kremenastih alg, na različnih vzorčnih mestih ob različnih datumih vzorčenja.

Vse alge in modro-zelene cepljivke:

Povprečna vrednost saprobnega indeksa (1,94) in vrednosti vseh posameznih vzorčnih mest uvrščajo Savinjo v tem odseku v 2. kakovostni razred z β – mezosaprobnostopnjo obremenitve. Razlike v vrednosti saprobnega indeksa med posameznimi vzorčnimi mesti so bile ob poletnem vzorčenju 18. 7. 2007 in jesenskem 14. 11. 2007 majhne. Bolj opazne so bile ob pomladnem vzorčenju 27. 4. 2008, ko smo najvišjo vrednost izračunali na vzorčnem mestu Polule in najnižjo na vzorčnem mestu Laško.

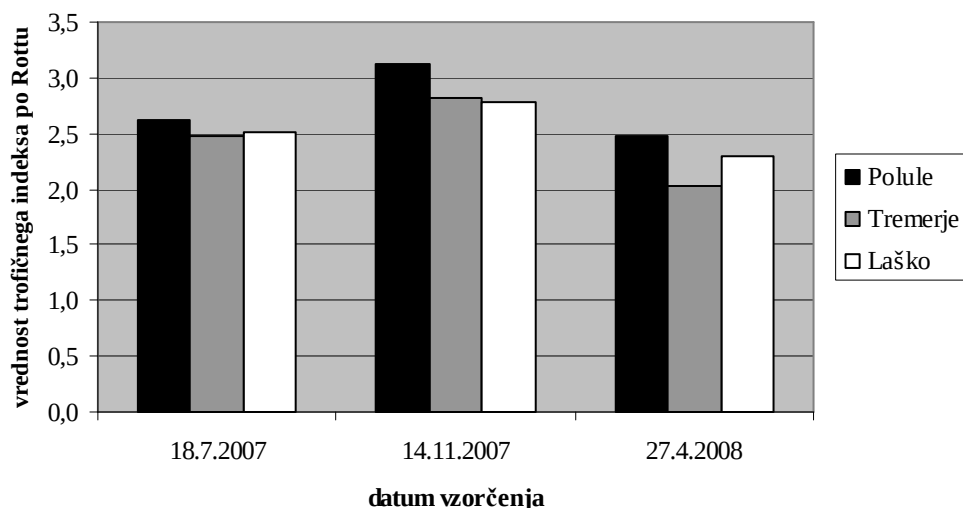


Slika 31: Vrednosti saprobnega indeksa, izračunanega na podlagi prisotnih vseh alg in modro-zelenih cepljivk, na različnih vzorčnih mestih ob različnih datumih vzorčenja.

4.5.2 Trofični indeks po Rottu (1999)

Vrednosti trofičnega indeksa po Rottu (1999) na različnih vzorčnih mestih ob različnih datumih vzorčenja so prikazane na sliki 32 in v prilogi I.

V povprečju je vrednost trofičnega indeksa po Rottu (1999) za vsa vzorčenja in vsa vzorčna mesta znašala 2,57, kar pomeni evtrofno stopnjo trofije (preglednica 6). Najvišje vrednosti indeksa smo izračunali ob jesenskem vzorčenju 14. 11. 2007, z najvišjo vrednostjo (3,12) v Polulah. Najnižje vrednosti smo izračunali ob pomladnem vzorčenju 27. 4. 2008, z najnižjo vrednostjo (2,03) v Tremerjah. Na vzorčnem mestu Polule je vrednost indeksa v povprečju znašala 2,73, kar to vzorčno mesto uvršča v ev – politrofno stopnjo trofije. V Tremerjah je povprečna vrednost indeksa znašala 2,45 in v Laškem 2,53, kar ti vzorčni mesti uvršča v evtrofno stopnjo trofije.

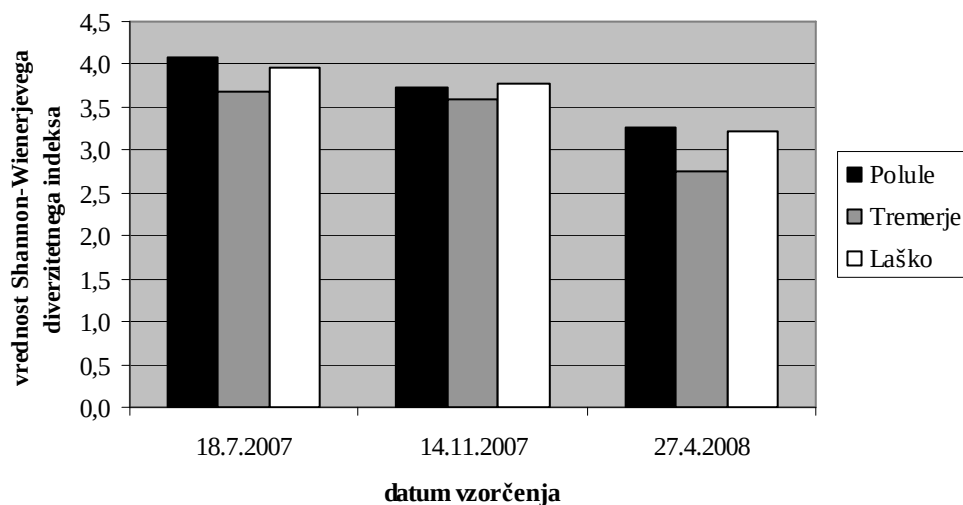


Slika 32: Vrednosti trofičnega indeksa po Rottu (1999) na različnih vzorčnih mestih ob različnem datumu vzorčenja.

4.5.3 Shannon-Wienerjev diverzitetni indeks

Vrednosti Shannon-Wienerjevega diverzitetnega indeksa na različnih vzorčnih mestih ob različnih datumih vzorčenja so prikazane na sliki 33 in v prilogi J.

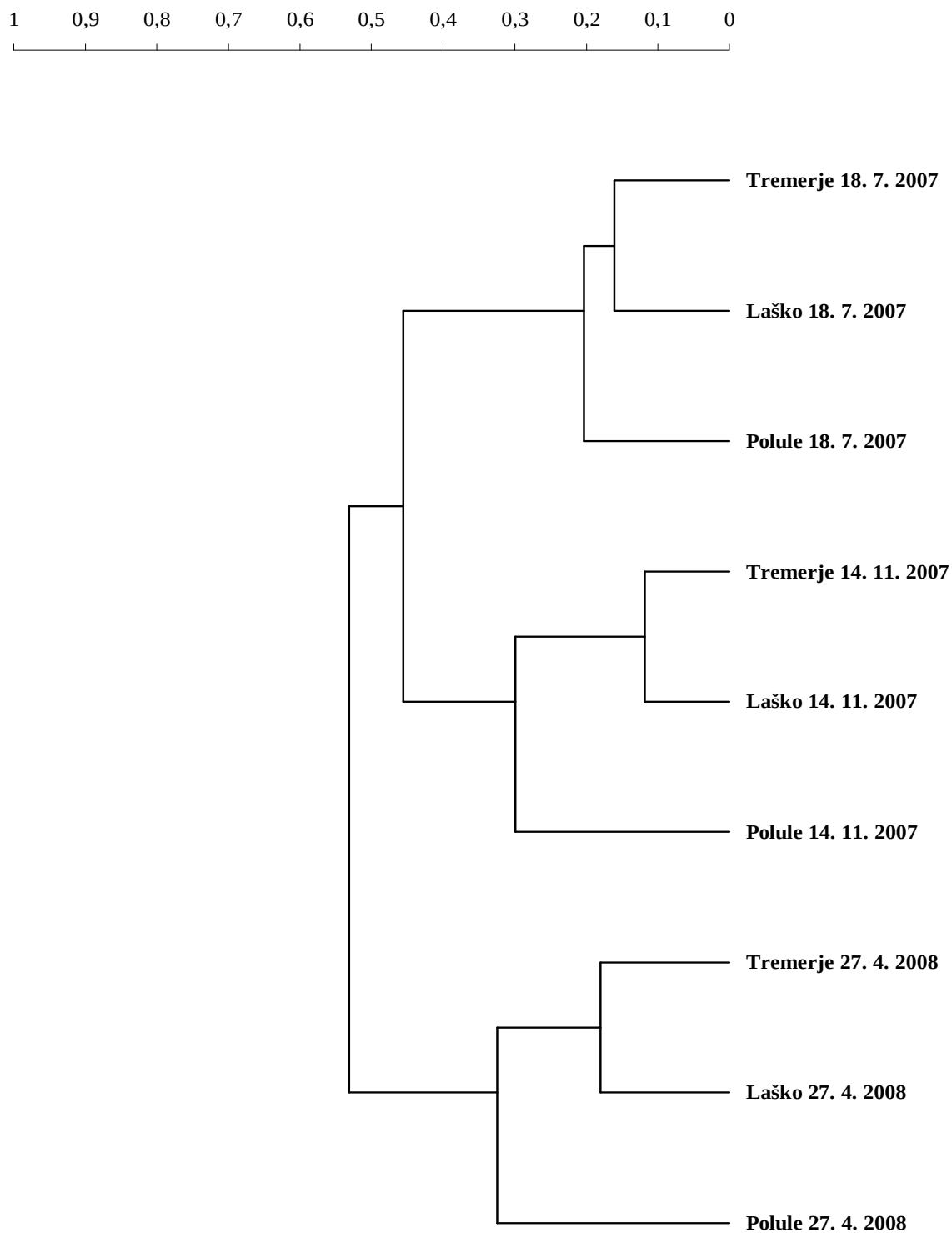
Shannon-Wienerjev diverzitetni indeks smo izračunali na podlagi relativne pogostosti vrst kremenastih alg. Srednja vrednost indeksa na vseh vzorčnih mestih ob vseh datumih vzorčenja je bila 3,56. Najvišjo vrednost indeksa smo v povprečju vseh vzorčenj izračunali na vzorčnem mestu Polule (3,69), najnižjo v Tremerjah (3,34). V Laškem je povprečna vrednost indeksa znašala 3,65. Primerjava med datumi vzorčenja je pokazala najvišje vrednosti indeksa ob poletnem vzorčenju 18. 7. 2007 in najnižje ob pomladnem vzorčenju 27. 4. 2008. Vrednosti indeksa na vzorčnem mestu Tremerje so bile ob vseh vzorčenjih nižje od vrednosti na preostalih dveh vzorčnih mestih.



Slika 33: Vrednosti Shannon -Wienerjevega diverzitetnega indeksa na različnih vzorčnih mestih ob različnem datumu vzorčenja.

4.5.4 Bray-Curtisov koeficient podobnosti

Na dendrogramu različnosti (slika 34) smo prepoznali tri skupine. Prvo skupino tvorijo vzorci iz vzorčenja 18. 7. 2007, drugo vzorci iz vzorčenja 14. 11. 2007 in tretjo vzorci iz vzorčenja 27. 4. 2008. Takšna struktura dendrograma kaže na velik pomen sezonskega spreminjanja sestave združbe prerifitona. Znotraj treh skupin so največjo podobnost kazali vzorci nabrani v Tremerjah in Laškem, od katerih so se ločevali vzorci nabrani v Polulah. Vzorci nabrani 18. 7. 2007 so bolj podobni vzorcem nabranim 14. 11. 2007 kot vzorcem nabranim 27. 4. 2008.



Slika 34: Dendrogram različnosti združb kremenastih alg različnih vzorčnih mest ob različnem datumu vzorčenja.

5 RAZPRAVA IN SKLEPI

5.1 RAZPRAVA

Namen moje diplomske naloge je bil oceniti vpliv s hranili bogate očiščene odpadne vode iz Centralne čistilne naprave Celje na perifitonsko združbo reke Savinje. Na odseku reke Savinje med Polulami in Laškim smo določili tri vzorčna mesta na katerih smo izvedli tri sezonska vzorčenja v obdobju devetih mesecev. Ob vzorčenju perifitona smo izvedli še meritve hidromorfoloških, fizikalnih in kemijskih parametrov. V laboratoriju smo perifitonu določili biomaso in količino klorofila *a* na površino substrata. Analizirali smo združbo vseh alg in modro-zelenih cepljivk ter ločeno še združbo kremenastih alg. Določili smo vrstne sestave združb, izbranim vrstam vseh alg in modro-zelenih cepljivk izračunali absolutne abundance ter kremenastim algam relativne abundance.

Podobne raziskave perifitonske združbe v zadnjih letih na obravnavanem odseku reke Savinje ni bilo. V diplomski nalogi Ovrednotenje primarne produkcije perifitona v Savinji (Uršič, 1981) so leta 1981 analizirali perifitonske združbe na 5 vzorčnih mestih od Luč do Zidanega mosta. Zaradi drugačne tehnike vzorčenja, različnih vzorčnih mest, daljšega proučevanega odseka in drugačnih kvantitativnih analiz združb v omenjeni raziskavi, so rezultati obeh raziskav težko primerljivi. Rezultate meritev fizikalnih in kemijskih parametrov lahko zaradi podobnih metod in vzorčnih mest primerjamo z rezultati diplomske naloge Ocena ekološkega stanja reke Savinje po izgradnji Centralne čistilne naprave Celje – Tremerje, ki sicer temelji na analizi združb vodnih nevretenčarjev (Toman T., 2007). Primerjava rezultatov obeh raziskav kaže veliko podobnost med izmerjenimi fizikalnimi in kemijskimi parametri na primerljivih vzorčnih mestih ob primerljivih datumih vzorčenja.

Hitrost vodnega toka je hidromorfološki parameter, ki je odvisen od pretoka, naklona, širine in globine struge ter strukturiranosti substrata (Toman, 2007). Najvišje hitrosti toka smo izračunali ob pomladnem vzorčenju 27. 4. 2008, ko je bil tudi pretok reke najvišji. V mesecih marcu in aprilu 2008 je v porečju Savinje padla nadpovprečna količina padavin, zaradi relativno visokih temperatur večinoma kot dež. Marca predvideno pomladno vzorčenje smo zato zaradi visokih vodostajev opravili 27. 4. 2008. Najnižje hitrosti toka smo izračunali ob poletnem vzorčenju 18. 7. 2007, ko je imela Savinja v Laškem z $9,7 \text{ m}^3/\text{s}$ nizek pretok zaradi dlje časa trajajočega suhega in vročega vremena. Hitrosti toka so bile praviloma najvišje v Polulah, kjer je struga najožja in najnižje v Laškem, kjer je struga približno 10 m širša kot v Polulah. Razlike med vzorčnimi mesti so se z višanjem pretoka manjšale, ob pomladnem vzorčenju so bila ob visokem pretoku vsa vzorčna mesta izenačena. Pri interpretaciji rezultatov je potrebno upoštevati tudi, da so bile meritve površinskih hitrosti izvedene s plovci. Ta metoda je zaradi možnih napak in potrebnega preračuna površinske hitrosti v povprečno hitrost manj natančna od meritev s hidrometričnim krilom.

Reka Savinja je prodonosna reka, ki prenaša anorganski substrat. Iz popisov anorganskega substrata je razvidno, da so se deleži posameznih kategorij anorganskega substrata na vzorčnih mestih med vzorčenji spreminjali. Spremembe so posledica izjemno visoke vode 18. 9. 2007 in pogostih visokih voda v marcu in aprilu 2008 (Vir:

http://www.arso.gov.si/vode/podatki/stanje_voda.html). Največje spremembe so se zgodile med poletnim in jesenskim vzorčenjem na vzorčnem mestu Tremerje, kjer se je struga reke na vzorčnem mestu prestavila na mesto nekdanjega prodišča. Na vzorčnem mestu Laško se anorganski substrat med vzorčenji ni spreminjal, saj ga je večinoma tvoril stabilnejši mezolital. Delež organskega substrata je bil le izjemoma višji od 5 %. Ob poletnem vzorčenju je makrofit vrste *Myriophyllum spicatum* pokrival 20 % dna vodotoka na vzorčnem mestu Tremerje. Hiter tok in hudourniški značaj reke omejujejo razrast makrofitov, ki so sicer v vodnih telesih prisotni le v rastni sezoni.

Temperatura vode se v vodotokih sezonsko, diurnalno in prostorsko spreminja (Urbanič in Toman, 2003). Največji vpliv na izmerjene vrednosti temperature v reki Savinji je imela, ob relativno majhnem senčenju vodotoka z obrežnim rastjem, neposredna absorpcija sončevega sevanja, pomemben je bil tudi vpliv pretoka reke. Najvišje vrednosti smo zato izmerili ob poletnem vzorčenju 18. 7. 2007, ko je bilo sončevo sevanje najintenzivnejše, temperatura zraka najvišja in pretok reke najnižji. Najnižje temperature vode smo izmerili ob jesenskem vzorčenju 14. 11. 2007, ob oblačnem in hladnem vremenu. Vrednosti izmerjene ob posameznem vzorčenju se višajo po toku navzdol. Za večino vodotokov je značilno, da se temperatura vode logaritemsko povečuje z oddaljenostjo od izvira po toku navzdol (Toman, 2007), vendar je ob tem, zaradi diurnalnega nihanja temperature, potrebno upoštevati tudi čas meritve. Najnižje vrednosti v Polulah, kjer smo vzorčili dopoldan in najvišje v Laškem, kjer smo vzorčili popoldan, so zaradi majhne razdalje med vzorčnimi mesti verjetno bolj posledica povečevanja temperature vode tekom dneva. Vpliv pritokov in izpusta čistilne neprave na temperaturne razmere proučevanega odseka reke Savinje je zaradi majhne vodnatosti teh virov majhen.

Koncentracija raztopljenega kisika v vodotoku je odvisna od temperature, atmosferskega tlaka, slanosti, hitrosti in turbulentnosti toka ter od aktivnosti fotosinteze in respiracije organizmov (Urbanič in Toman, 2003). Vrednosti med 8,4 mg/L in 14,2 mg/L, ki smo jih izmerili, so običajne za celinske vode. Najvišje vrednosti raztopljenega kisika smo izmerili ob vzorčenju 14. 11. 2007, kar je posledica nizkih temperatur vode ter posledično višje topnosti kisika. Najnižje so bile koncentracije ob poletnem vzorčenju, ko je bila topnost kisika zaradi višjih temperatur vode nižja. Razen ob pomladnem vzorčenju so izmerjene vrednosti naraščale po toku navzdol, kar je povezano z biogenim prezračevanjem in časom vzorčenja na posameznih vzorčnih mestih. Zaradi biogenega prezračevanja so koncentracije kisika v popoldanskih urah, ko smo vzorčili v Laškem, višje kot dopoldan, ko smo vzorčili v Polulah. Velik pomen biogenega prezračevanja in veliko primarno produkcijo na proučevanem odseku Savinje nakazujejo tudi izmerjene vrednosti nasičenosti vode s kisikom, ki praviloma presegajo 100 %. Najvišje nasičenosti ob poletnem vzorčenju so posledica velike intenzivnosti fotosinteze ob ugodnih temperaturnih in svetlobnih razmerah ter manjše topnosti kisika zaradi visokih temperatur vode. Najnižje nasičenosti ob jesenskem vzorčenju 14. 11. 2007 so posledica manjše intenzivnosti fotosinteze ter večje topnosti kisika zaradi nižjih temperatur vode. Biogeno prezračevanje je imelo ob jesenskem in pomladnem vzorčenju manjši vpliv na koncentracijo in nasičenost vode s kisikom tudi zaradi višjih pretokov ob omenjenih vzorčenjih. Pri interpretaciji rezultatov meritev koncentracije in nasičenosti vode s kisikom je potrebno upoštevati veliko turbulentnost toka reke Savinje, ki omogoča intenzivno fizikalno prezračevanje. Morebitne prisotnosti razgradljivih organskih snovi (avtohtonih, alohtonih),

ki bi ob neturbulentnem toku z razgradnjo zniževala koncentracijo kisika, zato kljub ugodnim kisikovim razmeram ne moremo izključiti.

pH je bil rahlo bazičen, kar je značilno za reke na karbonatni podlagi. Dnevno spreminjanje pH je lahko rezultat fotosintetske aktivnosti in respiracije primarnih producentov. Povečana aktivnost primarnih producentov povzroči dvig pH zaradi velike porabe CO₂ v procesu fotosinteze. Vrednosti pH so bile zato najvišje ob poletnem vzorčenju 18. 7. 2007, ko je bila primarna produkcija najintenzivnejša, kar potrjujejo tudi rezultati nasičenosti vode s kisikom. Podobno se z vrednostmi nasičenosti vode s kisikom ujemajo tudi najnižje vrednosti pH ob vzorčenju 14. 11. 2007 in vrednosti ob vzorčenju 27. 4. 2008. Ob poletnem vzorčenju je bil opazen trend zviševanja pH po toku navzdol, kar je predvsem posledica časa vzorčenja na vzorčnih mestih v povezavi z diurnalnim ciklom nihanja pH. Ob ostalih vzorčenjih zaradi manjše intenzivnosti primarne produkcije in višjih pretokov reke ta trend ni opazen.

Sposobnost vode, da prevaja električni tok ali elektroprevodnost, je odvisna od temperature raztopine in koncentracije ionov v raztopini ter njihovih lastnosti. Izmerjene vrednosti elektroprevodnosti so bile med 266 μ S/cm in 730 μ S/cm, kar je v značilnih mejah za celinske vode. V povprečju smo najvišje vrednosti izmerili ob jesenskem vzorčenju 14. 11. 2007, kar je posledica intenzivne razgradnje odpadlega listja, izgradnja pa je zaradi nizkih temperatur vode in nizke intenzitete svetlobe relativno nizka. Koncentracije so bile v povprečju najnižje ob pomladnem vzorčenju, kar je posledica večje primarne produkcije in relativno visokega pretoka reke. Padavine namreč zaradi učinka redčenja zmanjšujejo koncentracije ionov, saj dežnica običajno vsebuje nizke koncentracije ionov (Urbanič in Toman, 2003). Ob poletnem vzorčenju sta bili vrednosti v Tremerjah in Laškem kljub nizkemu pretoku relativno nizki in podobni pomladanskim. Ob tem vzorčenju izstopa visoka vrednost v Polulah, ki je najverjetneje posledica izpusta odpadnih voda iz nekega vira iz bližnjega Celja ali reke Voglajne. Ker so vrednosti nitratov in fosfatov na tem vzorčnem mestu 18. 7. 2007 relativno nizke, lahko sklepamo, da prevodnost zvišuje prisotnost drugih ionov. Rezultati meritev elektroprevodnosti so se v veliki meri ujemali z izmerjenimi količinami skupnih suspendiranih snovi vključno z izstopajočo vrednostjo v Polulah 18. 7. 2007. V Polulah smo najvišjo prevodnost in količino skupnih suspendiranih snovi izmerili tudi ob pomladnem vzorčenju 27. 4. 2008, zato lahko sklepamo, da je vir polutanta na vzorčnem mestu Polule stalen. Izjemoma so bile vrednosti obeh parametrov višje v Tremerjah in Laškem le ob jesenskem vzorčenju 14. 11. 2007, vendar je to najverjetneje posledica izvajanja regulacijskih del v strugi reke Savinje pod mostom v Polulah, ki so povzročala kalnost.

Naravni viri nitratnih ionov v površinskih vodah so spiranje površin, odmrli deli rastlin in živali ter vulkanske kamnine. Vrednosti v neonesnaženih vodah običajno ne presegajo 1 mg/L. Višje vrednosti nakazujejo spiranje z gnojnih kmetijskih površin, prisotnost komunalnih in industrijskih odpadnih voda (Urbanič in Toman, 2003). Povečane koncentracije nitratov se v površinskih vodah običajno pojavljajo jeseni zaradi intenzivne razgradnje, nižje so pomladi in poleti ob intenzivni primarni produkciji. V naši raziskavi so mejne vrednosti za neonesnažene vode presežene na večini vzorčnih mest. Primerjava med vzorčenji kaže neobičajno letno dinamiko, saj smo najvišje koncentracije izmerili ob pomladnem vzorčenju, sledijo jim vzorci ob poletnem vzorčenju, 14. 11. 2007 so bile

vrednosti najnižje. Takšne razmere so najverjetneje posledica intenzivnega kmetijstva v večjem delu porečja reke Savinje, še posebej v Celjski kotlini. Najvišje vrednosti smo namreč izmerili 27. 4. 2008 v času intenzivnega gnojenja in pogostih padavin, ki so nitrato spirale v vodotoke. Vpliv izpusta čistilne naprave Celje je bil v povišanju koncentracij v Tremerjah v primerjavi s Polulami opazen ob vseh vzorčenjih. Ob jesenskem vzorčenju, ko so bile koncentracije nitratov v reki nizke, je to pomenilo skoraj enkratno povišanje koncentracije nitratov na vzorčnem mestu Tremerje. Ob ostalih vzorčenjih je bilo povišanje relativno majhno. Na vzorčnem mestu Laško so koncentracije nitratov spet nekoliko nižje, kar je posledica asimilacije primarnih producentov. V primerjavi z vplivom izpusta čistilne naprave Celje, imajo kmetijstvo in drugi viri odpadnih voda na koncentracijo nitratov v reki je torej bistveno večji in pomembnejši vpliv.

Fosfor se v vodnih okoljih pojavlja v večih oblikah: raztopljeni anorganski fosfat in polifosfati, raztopljeni organski fosfat ter partikulatni organski fosfat vgrajen v organizme in detritus (Vrhovšek in Vovk Korže, 2008). Koncentracije anorganskega fosfatnega iona v neobremenjenih vodotokih ne presegajo vrednosti 0,1 mg/L. Višje vrednosti so običajno posledica gnojenja kmetijskih površin in odpadnih voda (Urbanič in Toman, 2003). Metoda, ki smo jo uporabili v tej raziskavi je uporabna za ugotavljanje koncentracij ortofosfatnega iona med 0,1 mg/L in 1,5 mg/L. Te vrednosti niso bile dosežene v nobenem našem vzorcu. Kot merilo trofije vodnega telesa se običajno uporablja količina skupnega fosforja v vodnem okolju (Toman, 2007), ki ga v tej raziskavi nismo merili. Primarni producenti namreč ortofosfatne ione hitro asimilirajo, zato nizke koncentracije še ne pomenijo majhne količine skupnega fosforja.

Merjenje suhe biomase je neposredna metoda s pomočjo katere ocenjujemo primarno produkcijo vodnega telesa. Na biomaso perifitonskih alg v reki odločilno vplivajo hidrološki, kemični in biološki dejavniki. Glavni hidrološki dejavniki, ki omejujejo hitrost kolonizacije, stopnjo rasti in maksimalno biomaso so hitrost toka, pogostost in intenzivnost poplav ter stabilnost substrata. Ob odsotnosti hidroloških omejitev je količina hranil omejujoč dejavnik stopnje rasti in maksimalne biomase (Biggs in Close, 1989). Delež anorganskih snovi v perifitonu je običajno med 5 % in 55 % celotne biomase in se med različnimi skupinami alg razlikuje (Toman, 2007). V naših vzorcih je delež znašal kar od 64 % do 88 % celotne mase vzorcev. Visok delež anorganskih snovi je najverjetneje posledica usedanja anorganskih delcev med perifitonske alge, ki smo jih skupaj z biomaso postrgali s kamnov in kaže na pomanjkljivosti uporabljene metode za določanje primarne produkcije. Z uporabljen metodo smo namreč neposredno merili maso vzorcev perifitona, ki vključujejo biomaso perifitona in maso nečistoč v njem. Najvišje mase vzorcev perifitona smo izmerili ob pomladnem vzorčenju 27. 4. 2008, kljub neugodnim hidrološkim razmeram z relativno visokim pretokom v času vzorčenja in pogostimi visokimi vodami v marcu in aprilu 2008. Visoke mase ob pomladnem vzorčenju so bile posledica visokih koncentracij hranil in ugodnih temperaturnih ter svetlobnih razmer. Ob poletnem vzorčenju so bile mase vzorcev v primerjavi s pomladnimi nižje, kar je bolj posledica nižjih koncentracij hranil kot hidroloških dejavnikov, saj so bile hidrološke razmere v obdobju pred poletnim vzorčenjem stabilne in za rast perifitona ugodne. Ob vzorčenju 14. 11. 2007 smo izmerili najnižje mase, ki so posledica nizkih koncentracij hranil in izjemno visoke vode 18. 9. 2007. Regeneracija perifitonske združbe do maksimalne biomase po ekstremnih poplavah v hitrotekočih rekah namreč traja do 90 dni

(Biggs in Stokseth, 1996). Ob jesenskem in pomladnem vzorčenju smo na vzorčnem mestu Tremerje izmerili višje mase vzorcev perifitona kot na vzorčnem mestu Polule, kar se ujema z višjimi koncentracijami nitratov. Masi vzorcev perifitona na vzorčnem mestu Laško se podobno kot koncentraciji nitratov ob omenjenih vzorčenjih zmanjšata. Ob poletnem vzorčenju se je masa vzorcev povečevala od Polul do Laškega, čeprav smo ob tem vzorčenju na vzorčnem mestu Laško izmerili nižjo koncentracijo nitratov kot v Tremerjah. Najvišja biomasa na vzorčnem mestu Laško je najverjetneje posledica nizke hitrosti toka na tem vzorčnem mestu, ki je bila ob nizkem pretoku reke ob poletnem vzorčenju v primerjavi z ostalima vzorčenjema bolj izrazita. Takšne razmere so ugodno vplivale na rast perifitona in na večje usedanje suspendiranih snovi v perifiton.

Merjenje klorofila *a* je najpogostejše uporabljena metoda za posredno merjenje biomase alg in oceno trofičnega stanja vodnega telesa (Urbanič in Toman, 2003). Najvišje količine klorofila *a* smo v povprečju izmerili ob pomladnem vzorčenju, sledi mu poletno in jesensko vzorčenje, kar se ujema z rezultati merjenja suhe mase vzorcev perifitona in koncentracije nitratov. V primerjavi z rezultati merjenja suhe mase vzorcev perifitona so se rezultati merjenja klorofila *a* bolj ujemali s koncentracijami nitratov. Količina klorofila *a* se je namreč ob vseh vzorčenjih na vzorčnem mestu Tremerje v primerjavi z vzorčnim mestom Polule zvišala, na vzorčnem mestu Laško pa ponovno upadla.

Skupno smo na vseh vzorčnih mestih določili 79 vrst alg in modro-zelenih cepljivk. Največje število vrst so predstavljale kremenaste alge (53). Kremenaste alge so v zmernih klimatih prevladujoča skupina alg, v vodotokih s kamnito podlago so običajno tudi najštevilčnejše (Hynes, 1979). V skupino zelenih alg spada 19 določenih vrst, v skupino modro-zelenih cepljivk 5 vrst. Določili smo tudi 1 vrsto rdečih in 1 vrsto zlatorjavih alg.

Na sezonsko dinamiko združbe perifitona najbolj vplivajo primarni dejavniki: svetloba, temperatura ter hranilne snovi. V tekočih vodah so ti dejavniki odvisni od številnih lokalnih sprememb sekundarnih dejavnikov (hitrost vodnega toka, substrat, poplave,...), zato je sezonska sukcesija v primerjavi s fitoplanktonom manj poznana (Stevenson in sod., 1996). Vrste kremenastih alg so najvišja števila vrst v vrstnih sestavih združb na posameznih vzorčnih mestih dosegale ob pomladnem in jesenskem vzorčenju, kar je značilno za to skupino alg v zmernih klimatih (Hynes, 1979). Najvišje relativne deleže in ocene pogostosti so ob obeh vzorčenjih dosegale vrste iz zgodnesukcesijskih rodov in rodov značilnih za zimsko obdobje leta (npr. *Diatoma vulgare*, *Achnanthes lanceolata*, *A. minutissima*, *Navicula cryptotenella*, *Gomphonema parvulum*). Med zgodnesukcesijske vrste kremenastih alg spadajo majhne vrste iz rodov *Achnanthes*, *Cocconeis* in *Navicula*. Za zimsko obdobje so značilni rodovi *Achnanthes*, *Meridion*, *Gomphonema*, *Navicula* in *Diatoma* (Stevenson s sod., 1996). Ob poletnem vzorčenju so bile kremenaste alge prisotne z manjšim številom vrst v vrstnem sestavu združb. Visoke relativne deleže in ocene pogostosti so dosegale zgodnesukcesijske vrste (npr. *Achnanthes minutissima*, *Navicula cryptotenella*, *Gomphonema parvulum*). Z višjimi deleži so bile prisotne tudi nekatere vrste iz rodov *Cymbella* in *Melosira*, značilnih poletnih rodov, ter vrste iz rodov *Gomphonema* in *Nitzschia*, značilnih poznosukcesijskih rodov (Stevenson in sod., 1996). Ob poletnem vzorčenju so se v večjem številu vrst v celotnem vrstnem sestavu kot sicer pojavljale zelene alge. Ta skupina alg za svoje uspevanje potrebuje ugodne svetlobne in temperaturne razmere, zato so pogostejše v poletnem obdobju (Hynes, 1979). Vrste *Ulothrix zonata*,

Oedogonium sp. 1, *Cladophora glomerata* so bile v naši raziskavi prisotne ob vseh vzorčenjih, razlike v oceni njihove pogostosti so med vzorčenji in vzorčnimi mesti majhne. Ob poletnem vzorčenju so bile prisotne še številne planktonske vrste zelenih alg (npr. *Pediastrum boryanum*, *Monoraphidium contortum*, *Closteriopsis acicularis*, *Scenedesmus abundans*, *S. acutus*, *S. acuminatus*, *S. ecornis*, *Coelastrum* sp. 1, *Closterium moniliferum*). Planktonskim vrstam, ki sicer živijo v stoječih vodah, so obstoj omogočile nizke hitrosti toka reke Savinje, ki je imela v obdobju pred vzorčenjem nizek pretok (Vir: http://www.arso.gov.si/vode/podatki/stanje_voda.html). Največ planktonskih vrst smo zabeležili na vzorčnem mestu Laško, kjer so bile hitrosti toka najnižje in najmanj planktonskih vrst na vzorčnem mestu Polule, kjer so bile hitrosti najvišje. Število vrst modro-zelenih cepljivk, ki se sicer močneje namnožijo v pozno poletnem obdobju (Stevenson in sod., 1996) je bilo pri vseh vzorčenjih zelo podoben. Vrsti *Homoeothrix varians* in *Pleurocapsa minor* sta se množično pojavljali na večini vzorčnih mest ob vseh vzorčenjih, najvišje ocene pogostosti sta dosegali na vzorčnem mestu Laško. Vrsta *Phormidium* sp. je bila pogostejša ob poletnem in pomladnem vzorčenju, najpogostejša je bila na vzorčnem mestu Laško. Ob poletnem vzorčenju smo na vzorčnem mestu Polule zaznali vrsto *Merismopedia glauca*, ki je sicer značilna za stoječe vode (Streble in Krauter, 2002). Epifitska vrsta *Chamaesiphon incrustans* se je redko pojavljala ob vseh vzorčenjih. V jesenskih in pomladnih vzorcih se je pojavljala vrsta *Hydrurus foetidus* iz skupine zlatorjavih alg. Vrsta je značilna za hladne gorske vodotoke, v drugih vodotokih se pojavlja v hladnem delu leta (Streble in Krauter, 2002). Ob jesenskem vzorčenju se je na vzorčnem mestu Laško pojavila vrsta *Bangia atropurpurea* iz skupine rdečih alg, ki jo običajno v večjih gostotah najdemo v conah pršenja onesnaženih vodotokov (Streble in Krauter, 2002).

Med izbranimi taksoni alg in modro-zelenih cepljivk, ki smo jim določili absolutne abundance, so najvišje abundance dosegali izbrani taksoni modro-zelenih cepljivk. Vrsta *Homoeothrix varians*, ki je najvišje gostote dosegala ob poletnem vzorčenju, porašča kamne in skale v počasnih in srednje hitrih manjših rekah (John in sod., 2002). Vrsta *Pleurocapsa minor* je značilna za čiste in hladne gorske potoke (Streble in Krauter, 2002) in smo jo tudi mi v najvišjih gostotah prešteli ob jesenskem in pomladnem vzorčenju, ko so bile temperature vode nižje kot poleti. Vrsta *Phormidium* sp. je najvišje gostote dosegala v poletnih in pomladnih vzorcih. Rod *Phormidium* zavzema vrste z zelo različnimi ekološkimi zahtevami. Med kremenastimi algami sta visoke abundance dosegali zgodnjesukcesijski vrsti *Achnanthes minutissima* in *Navicula cryptotenella*. Njune visoke abundance ob vseh vzorčenjih nakazujejo na hudourniški značaj reke Savinje. Posledica pogostih ekstremnih vodostajev je odplavljanje perifitona ter posledično vračanje sukcesije perifitonskih združb v začetne faze. Vrsta *Navicula capitatoradiata*, ki spada med večje, poznosukcesijske predstavnike rodu *Navicula*, je najvišje abundance dosegala ob poletnem vzorčenju, ko so bile hidrološke razmere dlje časa stabilne. Med zelenimi algami sta najvišje abundance dosegali vrsti *Stigeoclonium tenue* in *Cladophora glomerata*. Nitaste zelene alge so značilne predvsem za poletno obdobje z ugodnimi temperaturnimi in svetlobnimi razmerami v vodotokih (Hynes, 1979), kar se zaradi odsotnosti vrste *Stigeoclonium tenue* v poletnih vzorcih in celoletno prisotnostjo vrste *Cladophora glomerata* v podobnih abundancah z našimi rezultati ne sklada. Razlike v abundancah izbranih taksonov alg in modro-zelenih cepljivk med vzorčnimi mesti ob posameznih vzorčenjih so lahko posledica kombinacije velikega števila različnih biotskih in abiotskih

dejavnikov, vključno s hranilnimi snovmi. Trendi naraščanja in padanja abundance po toku navzdol so se pri nekaterih vrstah med vzorčenji tudi spreminjali, kar je posledica velike časovne in prostorske dinamike omenjenih dejavnikov v rečnih ekosistemih (Toman, 2007).

Vrednost saprobnege indeksa nam pove stopnjo organske obremenitve vodotoka. Heterotrofni organizmi za razgradnjo organskih snovi porabljajo kisik, katerega količina v vodnem okolju je omejujoč dejavnik za prisotnost številnih organizmov. Alge so primarni producenti, ki na intenzivnost razgradnje organskih snovi neposredno ne vplivajo, zato so jih številni avtorji izločili iz saprobnege sistema. Vrednosti saprobnege indeksa, ki smo jih izračunali na podlagi kremenastih alg in vrednosti, ki smo jih izračunali na podlagi vseh alg in modro-zelenih cepljivk, uvrščajo reko Savinjo na proučevanem odseku v 2. kakovostni razred. Relativno majhne razlike med posameznimi vzorčnimi mesti so bile v primeru izračuna na podlagi relativnih deležev kremenastih alg nekoliko večje, saj smo pri izračunu na podlagi vseh alg in modro-zelenih cepljivk uporabili ocene pogostosti taksonov. Takšen izračun je manj natančen. V obeh primerih smo najvišje vrednosti indeksa ob vseh vzorčenjih izračunali na vzorčnem mestu Polule. Najvišje vrednosti saprobnege indeksa v kombinaciji z visokimi izmerjenimi vrednostmi elektroprevodnosti in skupnih suspendiranih snovi nakazujejo, da je bilo to vzorčno mesto najbolj obremenjeno z organskimi snovmi. Na vzorčnem mestu Polule sta bili pogostost in število vrst značilnih za organsko bolj onesnažene vode (npr. *Cyclotella meneghiniana*, *Fragilaria ulna*, *Navicula capitata*, *Nitzschia acicularis*, *N. palea*, *Surirella ovalis*, *Stigeoclonium tenue*) v primerjavi z ostalima vzorčnima mestoma nekoliko višji. Vrednosti saprobnege indeksa so se praviloma po toku navzdol rahlo zniževale. Razen 14. 11. 2007, smo najnižje vrednosti izračunali na vzorčnem mestu Laško. Na vzorčnem mestu Laško so bile vrste značilne za čistejšo vodo nekoliko pogostejše (npr. *Achnanthes minutissima*, *Navicula cryptotenella*, *Gomphonema angustum*, *G. clavatum*, *Oedogonium* sp. 1), vrste značilne za organsko bolj obremenjene vode pa redkejšje. Iz takšnih rezultatov lahko sklepamo, da z izpustom čistilne naprave Celje v reko ne pritekajo dodatne organske snovi in da se koncentracija le-teh zaradi samočistilnega procesa po toku navzdol rahlo zmanjšuje. Hranilne snovi, katerih vir je tudi čistilna naprava, pa s saprobnim indeksom nimajo neposredne povezave.

Vrednosti trofičnega indeksa po Rottu (1999) so najbolj povezane s količino skupnega fosforja v vodotoku (Rott in sod., 1999). V povprečju je vrednost indeksa znašala 2,57, kar reko Savinjo na proučevanem odseku uvršča v evtrofno stopnjo trofije in nakazuje relativno visoko količino prisotnega skupnega fosforja. Pri interpretaciji rezultatov je potrebno poudariti, da smo pri izračunu indeksa uporabili indikatorske in trofične vrednosti, ki niso bile prilagojene slovenskim rekam. Večjo težo kot absolutne vrednosti indeksa imajo zato v naših rezultatih razlike dobljenih vrednosti med vzorčenji in vzorčnimi mesti. Najvišje vrednosti je trofični indeks dosegal na vzorčnem mestu Polule, kar podobno kot drugi rezultati potrjuje največjo obremenjenost tega vzorčnega mesta s polutanti. Vzorčni mesti Tremerje in Laško sta dosegali nekoliko nižje vrednosti, kljub dotoku hranil iz čistilne naprave Celje.

Diverziteta organizmov v vodnem okolju je poleg obremenjenosti vodenega okolja odvisna od številnih drugih dejavnikov. Za vrednost Shannon-Wienerjevega diverzitetnega indeksa

je poleg števila vrst je pomembna tudi pogostost osebkov posameznih vrst. Dominantnost posameznih vrst zmanjšuje diverziteto tudi v odsotnosti onesnaženja ali katerega drugega vpliva. Diverziteta z naraščajočo obremenjenostjo do določene točke narašča, nakar z nadaljnjim višanjem obremenjenosti začne upadati. Na vrstno diverziteto pomembno vpliva tudi pestrost mikrohabitativ. Večja pestrost mikrohabitativ zagotavlja življenjske razmere večjemu številu vrst kljub enaki obremenjenosti (Urbanič in Toman, 2003). Razlike v vrednostih indeksa med vzorčnimi mesti so bile majhne, kar se sklada z relativno majhnimi razlikami v hidromorfoloških parametrih, fizikalnih in kemijskih razmerah med vzorčnimi mesti ter rezultati drugih statističnih analiz. Zaradi izbrane metode vzorčenja so bili tudi mikrohabitati povzorčenega perifitona zelo podobni. Razlike v velikosti indeksa so, ob podobnih vrstnih sestavih združb kremenastih alg na vseh vzorčnih mestih in vzorčenjih, povzročile nekatere posamezne dominantne vrste. Najnižje vrednosti indeksa, ki smo jih ob vseh vzorčenjih izračunali na vzorčnem mestu Tremerje, so posledica izrazitejšše dominance nekaterih vrst (npr. *Navicula cryptotenella*, *Achnanthes lanceolata*, *A. minutissima*) na tem vzorčnem mestu. Te vrste so na ostalih dveh vzorčnih mestih izkazovale manjšo dominanco. Najnižje vrednosti indeksa ob pomladnem vzorčenju so predvsem posledica izrazite dominance vrste *Achnanthes minutissima*, tipične zimske in zgodnjesukcesijske vrste, na vseh vzorčnih mestih ob omenjenem vzorčenju.

Na velik pomen sezonskega spreminjanja združbe perifitona kažejo tudi rezultati klastrske analize perifitonskih združb, ki smo jo naredili na podlagi Bray-Curtisovega koeficienta podobnosti. Največjo podobnost namreč kažejo vzorci iz različnih vzorčnih mest ob posamezni vzorčenjih. Znotraj treh izoblikovanih klastrov večjo sorodnost ob vseh vzorčenjih izkazujejo vzorčni mesti Tremerje in Laško, od katerih se jasno ločujejo vzorci nabrani v Polulah. Vzorčno mesto Polule se od ostalih dveh vzorčnih mest nekoliko izraziteje ločuje tudi v rezultatih drugih opravljenih analiz.

5.2 SKLEPI

Izmerjeni hidrološki podatki ter pridobljeni podatki o pretoku reke Savinje kažejo na veliko časovno dinamiko hidromorfoloških parametrov, kar je posledica hudourniškega značaja reke. Velike spremembe pretoka reke so vplivale na velike razlike v hitrostih toka ter pogojevalo pester in spreminjajoč se substrat, kar je bilo še posebej opazno na vzorčnem mestu Tremerje.

Rezultati meritev temperature vode, koncentracije v vodi raztopljenega kisika, nasičenosti vode s kisikom in pH so v skladu s sezonsko in diurnalno dinamiko teh parametrov. Na temperaturo vode sta najbolj vplivala intenzivnost sončevega sevanja ter temperatura zraka, ki sta povzročil razlike med vzorčenji in vzorčnimi mesti. Kisika v vodi ni nikoli primanjkovalo. Nasičenost z njim je na večini vzorčnih mest presegala 100%, kar dokazuje velik pomen biogenega prezračevanja v reki. Razlike med vzorčnimi mesti so majhne in predvsem posledica različnega časa izvajanja meritev na različnih vzorčnih mestih. V tesni povezavi z nasičenostjo vode s kisikom so bili rezultati meritev pH, saj so pokazali podoben diurnalni cikel in sezonsko nihanje.

Izmerjene vrednosti elektroprevodnosti so se sezonsko spreminjale in so bile v značilnih mejah za celinske vode. V veliki meri so se ujemale z izmerjenimi količinami skupnih suspendiranih snovi. Višje vrednosti obeh parametrov na vzorčnem mestu Polule so najverjetneje posledica odpadnih voda, katerih vir sta še vedno bližnje Celje in pritok Voglajna. Dodatnega povišanja elektroprevodnosti in količine suspendiranih snovi zaradi izpusta čistilne naprave Celje na vzorčnem mestu Tremerje nismo zaznali.

Najvišje koncentracije nitratov smo izmerili ob pomladnem vzorčenju, sledijo jim vzorci ob poletnem vzorčenju, 14. 11. 2007 so bile vrednosti najnižje. Takšne razmere so najverjetneje posledica intenzivnega kmetijstva v večjem delu porečja reke Savinje, še posebej v Celjski kotlini, saj najvišje vrednosti spomladi sovpadajo s časom intenzivnega gnojenja in pogostih padavin. Vpliv izpusta čistilne naprave Celje je bil v povišanju koncentracij v Tremerjah v primerjavi s Polulami opazen ob vseh vzorčenjih, še posebej ob jesenskem vzorčenju, ko so bile koncentracije nitratov v primerjavi z ostalima vzorčenjema nizke.

Koncentracije fosfatov v nobenem našem vzorcu niso presegale 0,1 mg/L. Vendar se kot merilo trofije vodnega telesa običajno uporablja količina skupnega fosforja v vodnem okolju (Toman, 2007), zato zgolj na podlagi nizkih koncentracij fosfatov na naših vzorčnih mestih še ne moremo sklepati na majhne količine skupnega fosforja.

Rezultati meritev suhe mase vzorcev perifitona in količine klorofila *a* se ujemajo z rezultati meritev koncentracije nitratov. Poleg hranil so na rezultate obeh parametrov odločilno vplivale še hidrološke razmere z razmeroma hitrim tokom reke ter pogostimi, visokimi vodami v obdobju naše raziskave. Porast obeh parametrov na vzorčnem mestu Tremerje ob vseh vzorčenjih je najverjetneje posledica dotoka s hranili bogate vode iz čistilne naprave Celje.

Od skupno 79 vrst alg in modro-zelenih cepljivk, je bilo največ vrst kremenastih alg, ki so jim sledile zelene alge, modro-zelenih cepljivke, rdeče in zlatorjave alge. Zaznali smo veliko sezonsko dinamiko perifitonskih alg, ki je posledica primarnih (svetloba, temperatura, hranila) in sekundarnih dejavnikov (hitrost vodnega toka, substrat, poplave...). Največ vrst kremenastih alg je bilo v pomladnih vzorcih, zelene alge so višek dosegle ob poletnem vzorčenju. Modro-zelene cepljivke, niso izkazovale izrazite sezonske dinamike, vrsti *Homoeothrix varians* in *Pleurocapsa minor* sta na večini vzorčnih mest ob vseh vzorčenjih dosegali najvišje absolutne abundance med vsemi vrstami alg in modro-zelenih cepljivk. Ob vseh vzorčenjih smo med vrstami določili veliko zgodnjesukcesijskih, kar je posledica hudourniškega značaja reke s pogostimi nihanji pretoka. Izrazitih razlik v vrstnih sestavi perifitona med vzorčnimi mesti nismo zaznali.

Vrednosti saprobnega indeksa so vodotok na proučevanem odseku uvrstile v 2. kakovostni razred. Razlike med vzorčnimi mesti so bile majhne. Nekoliko višje vrednosti na vzorčnem mestu Polule kažejo na večjo obremenjenost tega vzorčnega mesta z organskimi odpadnimi snovmi, katerih vira sta najverjetneje pritok Voglajna in mesto Celje. Na podlagi rahlega zniževanja saprobnih vrednosti po toku navzdol lahko sklepamo, da izpust iz čistilne naprave Celje nima neposrednega vpliva na organsko obremenjenost reke Savinje.

Vrednosti trofičnega indeksa po Rottu (1999), ki se po toku navzdol rahlo zmanjšujejo, kažejo na približno enako količino skupnega fosforja na vseh vzorčnih mestih. Količina dodatnih hranil, ki priteka iz izpusta čistilne naprave Celje je torej premajhna in samočistilna sposobnost vodotoka prevelika, da bi bistveno spremenila trofično stanje vodotoka.

Razlike v vrednostih Shannon-Wienerjevega indeksa med vzorčnimi mesti so bile majhne, kar se sklada z relativno majhnimi razlikami v hidromorfoloških parametrih, fizikalnih in kemijskih razmerah med vzorčnimi mesti ter rezultati drugih statističnih analiz. Podobno so tudi rezultati klastrske analize pokazali zelo majhne razlike med vzorčnimi mesti in večji vpliv drugih, sezonsko spremenljivih dejavnikov na perifitonsko združbo reke Savinje od vpliva obremenjevanja reke s hranilnimi snovmi iz iztoka čistilne naprave Celje.

6 POVZETEK

Kakovost vode določajo fizikalne, kemične in biološke značilnosti. Danes kakovost voda najpogosteje vrednotimo na osnovi makroinvertebratov, rib, perifitona in makrofitov. Združba perifitona odraža ekološke razmere, posamezne vrste pa specifične ekološke razmere in s tem povezano stopnjo obremenjenosti.

Namen diplomske naloge je bil spremljanje longitudinalnih sprememb različnih abiotiskih in biotskih dejavnikov v reki Savinji s ciljem oceniti vpliv s hranili bogate očiščene odpadne vode iz Centralne čistilne naprave Celje na perifitonsko združbo reke Savinje. Predvidevali smo, da s hranili bogata voda iz čistilne naprave Celje v odvodniku povzroči povečanje biomase in spremembe v vrstnem sestavu perifitonske združbe ter poslabša kakovost reke Savinje.

Območje raziskave je obsegalo približno 7 km dolg odsek reke Savinje, sredi katerega se v Savinjo izteka odvodni kanal Centralne čistilne naprave Celje. Na tem odseku smo izbrali 1 referenčno vzorčno mesto pred iztokom čistilne naprave in 2 vzorčni mesti za iztokom. Vzorčenje perifitona je potekalo v obdobju devetih mesecev med julijem 2007 in aprilom 2008. Izvedli smo 3 vzorčenja, poletno, jesensko-zimsko in pomladno. Perifiton smo vzorčili po metodi pobiranja kamnov in strganja znane površine kamnov s ščetko in britvijo. Nabrane vzorce smo primerno obdelali in pripravili za opazovanje pod mikroskopom. Izmerili smo maso vzorcev prerifitona in količino klorofila *a* ter prikazali sestavo združbe in abundanco posameznih vrst za vsako vzorčno mesto ob vsakem vzorčenju. Spremljali smo tudi številne hidromorfološke, fizikalne in kemijske parametre na vzorčnih mestih. S pomočjo statističnih analiz smo ovrednotili kakovost vodnega okolja.

Hitrost vodnega toka je bila med 0,26 m/s in 0,81 m/s. Nižje hitrosti toka smo izmerili ob poletnem vzorčenju in najvišje ob pomladnem. Hitrosti toka so bile najnižje na vzorčnem mestu Laško in najvišje na vzorčnem mestu Polule. Zgradba anorganskega substrata je bila pestra in se je med vzorčenji zaradi prodonosnosti reke spreminjala. Prevladovala sta mikrolital in mezolital. Organski substrat se je v deležu večjem od 5 % pojavil le na vzorčnem mestu Tremerje ob poletnem vzorčenju. Velika časovna spremenljivost hidromorfoloških parametrov je posledica hudourniškega značaja reke Savinje. Temperatura vode je bila med 5,6 °C in 25,2 °C in se je rahlo povečevala po strugi navzdol. Voda je bila dobro prezračena, koncentracije kisika je zavzemala vrednosti med 8 mg/L in 15 mg/L, nasičenost vode s kisikom je praviloma presegala 100%. Temperaturne in kisikove razmere so se diurnalno in sezonsko spreminjanje. Izmerjene vrednosti elektroprevodnosti so bile med 266 μ S/cm in izstopajočo vrednostjo 730 μ S/cm, najvišje vrednosti smo praviloma izmerili v Polulah, kar nakazuje na stalen vir polutantov na tem vzorčnem mestu. pH je bil med 7,8 v Polulah 14. 11. 2007 in 8,6 v Laškem 18. 7. 2007, kar je v značilnih mejah za reke z visokim karbonatnim ravnotežjem. Koncentracija nitratnih ionov je nihala med 0,58 mg/L in 6,38 mg/L. Najvišje koncentracije smo izmerili ob pomladnem vzorčenju, kar je posledica spiranja hranil iz kmetijskih površin zaradi obilnejših padavin. Pri vseh vzorčenjih smo najvišje vrednosti med vzorčnimi mesti izračunali v Tremerjah, kar povezujemo z dotokom s hranili bogate odpadne vode iz

čistilne naprave Celje pred tem vzorčnim mestom. Vpliv prečiščene odpadne vode na koncentracijo nitratov je bil v primerjavi z drugimi viri majhen. Koncentracije ortofosfatnih ionov so bile na vseh vzorčnih mestih ob različnih datumih vzorčenja pod mejo detekcije uporabljene metode, ki je 0,1 mg/L. Koncentracija skupnih suspendiranih snovi je bila med 3,0 in 33,6 mg/L, najvišje vrednosti so bile praviloma v Polulah.

V povprečju smo najvišje mase vzorcev perifitonah in količine klorofila *a* izračunali ob pomladnem vzorčenju in najnižje ob jesenskem. Vrednosti izmerjene količine klorofila *a* so bile med 6,1 mg/cm² in 28,9 mg/cm². Ob vseh vzorčenjih, posebej izrazito ob poletnem, smo najvišje vrednosti izmerili na vzorčnem mestu Tremerje, kar je najverjetneje posledica višjih koncentracij hranil na tem vzorčnem mestu.

Na vseh vzorčnih mestih in ob vseh vzorčenjih so najvišje število vrst perifitonske združbe dosegale kremenaste alge, sledile so jim zelene alge in modro-zelene cepljivke. Ostale skupine so bile zastopane z majhnim številom vrst. Skupno smo v treh vzorčenjih na treh vzorčnih mestih določili 79 vrst alg in modro-zelenih cepljivk. Od tega je 5 vrst pripadalo skupini Cyanophyta, 1 vrsta skupini Chrysophyta, 53 vrst skupini Bacillariophyta, 19 vrst skupini Chlorophyta in 1 vrsta skupini Rhodophyta. Povprečna vrednost saprobnega indeksa za vsa vzorčenja in vsa vzorčna mesta izračunanega na podlagi relativne pogostosti kremenastih alg znaša 1,88 in na podlagi vseh alg in modro-zelenih cepljivk 1,94.

Vrednosti uvrščata Savinjo v proučevanem odseku v 2. kakovostni razred. Najvišje vrednosti indeksa smo izračunali v Polulah, a so bile razlike med vzorčnimi mesti majhne. Najvišje vrednosti saprobnega indeksa v kombinaciji z visokimi izmerjenimi vrednostmi elektroprevodnosti in skupnih suspendiranih snovi nakazujejo, da je bilo vzorčno mesto Polule najbolj obremenjeno z organskimi snovmi. V povprečju je vrednost trofičnega indeksa po Rottu (1999) za vsa vzorčenja in vsa vzorčna mesta znašala 2,57, kar pomeni evtrofno stopnjo trofije, najvišje vrednosti so bile v Polulah. Vzorčni mesti Tremerje in Laško sta dosegali nekoliko nižje vrednosti, kljub dotoku hranil iz čistilne naprave Celje. Količina dodatnih hranil je verjetno premajhna in samočistilna sposobnost vodotoka prevelika, da bi bistveno spremenila trofično stanje vodotoka. Shannon-Wienerjev diverzitetni indeks smo izračunali na podlagi relativne pogostosti vrst kremenastih alg. Srednja vrednost indeksa na vseh vzorčnih mestih ob vseh datumih vzorčenja je bila 3,56. Vrednosti so bile ob vseh vzorčenjih najnižje na vzorčnem mestu Tremerje. Na podlagi Bray-Curtisovega indeksa podobnosti združbe kremenastih alg smo naredili dendrogram različnosti. Najbolj sorodni so bili vzorci iz različnih vzorčnih mest nabrani v posameznih vzorčenjih, zato smo sklepali, da je vpliv drugih, sezonsko variabilnih dejavnikov na perifitonsko združbo večji od vpliva obremenjevanja reke s hranilnimi snovmi iz iztoka Centralne čistilne naprave Celje.

7 VIRI

Biggs B. J. F., Close M. E. 1989. Periphyton biomass dynamics in gravel bed rivers: the relative effects of flows and nutrients. *Freshwater Biology*, 22: 209 - 231

Biggs B. J. F., Stokseth S. 1996. Hydraulic habitat suitability for periphyton in rivers. *Regulated rivers: research & management*, 12: 251 - 261

Caperon J. 1968. Population growth response of *Ysochrysis galbana* to nitrate variation at limiting concentrations. *Ecology*, 48: 866 - 872

Cox E. J. 1991. What is the basis for using diatoms as monitors of river Quality?. V: Whitton B. A., Rott E., Friedrich G. 1991. Use of algae for monitoring rivers. *Institute für Botanik, Universität Innsbruck*: 33 - 39 str.

Dobnikar Tehovnik M., Ambrožič Š., Cvitanič I., Gacin M., Grbović J., Jesenovec B., Kozak Legiša Š., Krajnc M., Mihorko P., Poje M., Remec Rekar Š., Rotar B., Sodja E. 2008. *Kakovost voda v Sloveniji*. Ljubljana, Agencija RS za okolje: 69 str.

Drugovič U., Kramer R. 2004. Čistilna naprava Celje – gradnja zagon in poskusno obratovanje. V: *Zbornik referatov – Vodni dnevi 2004*. Velenje 7. – 8. okt. 2004. Roš M. (uz.). Slovensko društvo za zaščito voda: 35 – 43 str.

Giller P. S. in Malmqvist B. 1998. *The Biology of Streams and Rivers, Biology of Habitats*, Oxford New York Toronto, Oxford University Press, 1998: 31 – 55 str.

Graham L. E., Wilcox L. W. 2000. *Algae*. Prentice – Hall: 232 – 268, 632 - 640 str.

Grbović J. 1994. Uporabnost različnih postopkov za oceno kakovosti hudourniških vodotokov. *Diplomsko delo*. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo: 113 str.

Hillebrand H. in Kahlert M. 2001. Effect of grazing and nutrient supply on periphyton biomass and nutrient stoichiometry in habitats of different productivity. *Limnology and Oceanography*, 46(8): 1881 – 1898

Hoffmann J. P. 1990. Dependence of photosynthesis and vitamin B₁₂ uptake on cellular vitamin B₁₂ concentration in the multicellular alg *Cladophora glomerata* (Chlorophyta). *Limnology and Oceanography*, 35: 100 - 108

Hutchinson G. E. 1975. *A Treatise on Limnology*. Vol. III, *Limnological Botany*, John Wiley & Sons, New York: 660 str.

Hynes H. B. N. 1979. *The Ecology of Running Waters*. 4th ed. Liverpool University Press: 555 str.

Jogan N. 2001. Navodila za vaje iz sistematske botanike. 3. izdaja delovne verzije. Ljubljana: 6 - 22 str.

John D. M., Whitton B. A., Brook A. J. 2002. The Freshwater Algal Flora of the British Isles. British Phycological Society: 63 – 64 str.

Kelly M. G., Whitton B. A. 1995. The trophic diatom index: a new index for monitoring eutrophication in rivers. Journal of applied phycology, 7, 4: 433 - 444

Kitner M. in Pouličkova A. 2003. Littorel diatoms as indicators for the eutrophication of shallow lakes. Hydrobiologia, 506 – 509: 519 – 524

Kosi G., Šiško M., Bricelj M., Urbanič G., Grbovič J., Rotar B., Stanič K. 2006. Prilagoditev saprobnega indeksa zahtevam Vodne direktive (Direktiva 2000/60/ES) za vrednotenje ekološkega stanja rek v Sloveniji na podlagi fitobentosa: 21 str.

Lindstrøm E., Johansen S. W. in Saloranta T. 2004. Periphyton in running waters – long-term studies of natural variation. Hydrobiologia, 521: 53 - 86

Lowe R. L. 1974. Environmental requirements and pollution tolerance of freshwater diatoms. Environ. Monit. Sur. 670/4-74-005, USEPA, Washington, DC: 175 str.

Miller A. R., Lowe R. L., Rotenberry J. T. 1987. Succesion of diatom communities on sand grains. Journal of Ecology, 75: 693 - 709

Minshall G. V. 1984. Aquatic insect – substratum relationships. The ecology of aquatic insects. Praeger Scientific, New York: 358 – 400 str.

Myung Gil Park, Whonho Yih, Coats D. W. 2004. Parasites and phytoplankton, with special emphasis on dinoflagellate infections. The Journal of eucaryotic microbiology, 51: 1 - 3

Nose M. 2001. Razvoj združbe kremenastih alg (*Bacillariophyta*) na umetnih substratih v potoku. Diplomsko delo. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo: 4 - 9 str.

Parr L. B., Mason C. F. 2003. Long-term trends in water quality and their impact on macroinvertebrate assemblages in eutrophic lowland rivers. Water Research, 37: 2969 - 2979

Perko D., Orožen Adamič M. 2001. Slovenija – pokrajine in ljudje. 3. izdaja. Ljubljana, Mladinska knjiga: 112 – 170 str.

Pringle C. M. 1987. Effects of water and substratum nutrient supplies on lotic periphyton growth: An integrated bioassay. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 44: 619 - 629

Prygel J. 1991. Use of benthic diatoms in surveillance of the Artois – Picardie basin hydrobiological quality. V: Use of algae for monitoring rivers: 89 – 96 str.

Rejic M. 1988. Sladkovodni ekosistemi in varstvo voda. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, VTOZD za gozdarstvo: 108 – 143 str.

Reynolds C. S. 1995. Algae. V: The Rivers Handbook Hydrological and Ecological Principles, Vol. 1, (Ed. Callow, P./ Petts G. E.), Blackwell Scientific Publications, Oxford: 195 – 215 str.

Robinson C. T., Rushforth S. R. 1987. Effects of physical disturbance and canopy cover on attached diatom community structure in a Idaho stream. *Hydrobiologia*, 154: 49 - 59

Rott E., Pipp E., Pfister P., van Dahm H., Ortler K., Binder N., Pall K. 1999. Indikationslisten für Ufว์wuchsalgen in österreichischen Fließgewässern, Teil 2: Trophienindikation so wie geochemische Präferenz, taxonomische und toxicologische Anmerkungen. Wien, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft (Österreich): 248 str.

Round F. E., Crawford R. M., Mann D. G. 1992. The diatoms – Biology & Morphology of the genera. Cambridge University Press: 1 – 128 str.

Sakamoto M. 1966. Primary production by phytoplankton community in some Japanese lakes and its dependence on lake depth. *Arch. Hydrobiol.*, 62: 1 - 28

Schaumburg J., Schmedtje U., Schranz C., Köpf B., Schneider S., Stelzer D., Hoffman G., Gutowski A. 2006. Instruction Protocol for the ecological Assessment of Running Waters for Implementation of the EC Water Framework Directive: Macrophytes and Phytobentos: 44 str.

Schroeder H. 1939. Die Algenflora der Mulde. *Pflanzenforschung*, 21: 1 – 88 str.

Stevenson R. J. 1996. An Introduction to Algal Ecology in Freshwater Benthic Habitats. V: . Algal Ecology Freshwater Benthic Ecosystems (ed. Stevenson R. J., Bothwell M. L., Lowe R. L.), Academic Press: 3 - 164

Streble H. 2002. Das Leben im Wassertropfen, Mikroflora und Mikrofauna des Süßwassers, Ein Bestimmungsbuch, Franckh-Kosmos Verlags-GmbH & Co.. Stuttgart: 29 - 209 str.

Štendler E. 2008. Perifiton v potoku Glinščica. Diplomsko delo. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo: 11 – 35 str.

Tehovnik Dobnikar M. 2008. Kakovost voda v Sloveniji. Ljubljana, Agencija RS za okolje: 20 – 23 str.

Toman M. J. 1996a. Alge. V: Raspor (ur.) Biotehnologija. Ljubljana, Bia: 129 – 147

- Toman M. J. 1996b. Odpadne vode – snovno in energetsko breme vodnih ekosistemov. Društvo ekologov Slovenije. V: Narava Slovenije, stanje in perspektive. Zbornik prispevkov o naravni dediščini Slovenije, Ministrstvo za okolje in prostor, Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano, Ministrstvo za kulturo: 39 – 46
- Toman M. J. 2007. Zapiski iz predmeta Limnologija, Ljubljana (Biotehniška fakulteta – Biologija)
- Toman T. 2007. Ocena ekološkega stanja reke Savinje po izgradnji Centralne čistilne naprave Celje – Tremerje. Diplomsko delo. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo: 15 – 26 str.
- Traaen T. S., Lindstrom E. –A. 1983. Influence of current velocity on periphyton distribution. V: Periphyton of Freshwater Ecosystems (ed. Wetzel R. G.), Dr W. Junk Publishers: 141 – 168
- Towns D. R. 1981. Effects of artificial shading on periphyton and invertebrates in a New Zealand stream. N. Z. J. Mar. Freshwater Res., 15: 185 - 192
- Urbanič G., Toman M. J. 2003. Varstvo celinskih voda. Ljubljana, Študentska založba: 94 str.
- Uršič A. 1981. Ovrednotenje primarne produkcije perifitona v Savinji. Diplomsko delo. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za Biologijo 5 – 16 str.
- Vinson D. K., Rushforth S. R. 1989. Diatom species composition along a thermal gradient in the Portneuf River, Idaho, USA. Hydrobiologia, 185: 41 – 54
- Voglar D. 1996. Enciklopedija Slovenije. 10. zvezek. Ljubljana, Mladinska knjiga: 411 str.
- Volfand J. 2002. Centralna čistilna naprava Celje. Celje, G – offset tisk: 2 – 11 str.
- Vrhovšek D. 1985. Sladkovodne alge, ali jih poznamo?. Ljubljana: 117 str.
- Vrhovšek D., Vovk Korže A. 2008. Ekoremediacije kanaliziranih vodotokov. Ljubljana, Limnos d. o. o. in Univerza v Mariboru: 51 – 53 str.
- Wetzel R. G. 2001. Limnology. 3rd ede. Saunders College Publishing. Philadelphia: 578 - 596
- Wetzel R. G. 1983. Attached algal – substrata interactions: fact or myth, and when and how? V: Periphyton of Freshwater Ecosystems (ed. Wetzel R. G.), Dr W. Junk Publishers: 207 - 215
- Whitton B.A. 1975. River ecology. Oxford, Black. Sci. Publ.: 725 str.
- http://gis.arso.gov.si/atlasokolja/profile.aspx?id=Atlas_Okolja_AXL@Arso

http://www.arso.gov.si/vode/podatki/stanje_voda.html

http://www.vo-ka-celje.si/podjetje/dejavnost/cistilna_Celje.html

ZAHVALA

Najlepša hvala mentorju prof. dr. Mihaelu J. Tomanu za vso njegovo pomoč in nasvete pri nastajanju diplomske naloge.

Zahvaljujem se dr. Aleksandri Krivograd Klemenčič za velikodušno pomoč pri določanju in vse koristne nasvete.

Za pomoč pri vzorčenju in laboratorijskem delu se zahvaljujem tudi tehničnemu sodelavcu Draganu Abramcu in laborantki Karmen Stanič.

Predsednici komisije prof. dr. Alenki Gaberščik in recenzentu doc. dr. Gorazdu Urbaniču se zahvaljujem za pregled diplomske naloge in koristne pripombe.

Svoji družini se zahvaljujem za vso podporo tekom študija.

Nazadnje se zahvaljujem še moji Alijani za vso pomoč pri nastajanju te naloge in vse lepe trenutke, ki sem jih z njo preživel v zadnjih štirih letih.

PRILOGE

Priloga A: Karta območja raziskave z označenimi vzorčnimi mesti



Priloga B: Hidromorfološki, fizikalni in kemijski parametri na posameznih vzorčnih mestih ob različnih datumih vzorčenja

VZORČNO MESTO POLULE

	Polule		
	18.7.2007	14.11.2007	27.4.2008
Povprečna hitrost vodnega toka (m/s)	0,64	0,76	0,81
Temperatura vode (°C)	20,8	5,6	12,2
Koncentracija kisika (mg/L)	8,4	12,7	11,9
Nasičenost vode s kisikom (%)	97	100	118
Elektroprevodnost (µS/cm)	730	410	458
pH	8,1	7,8	8,3
Nitrati NO ³⁻ (mg /L)	3,45	0,58	5,48
Ortofosfati PO ₄ ³⁻ (mg /L)	pod mejo detekcije	pod mejo detekcije	pod mejo detekcije
Suspendirane snovi (mg/L)	33,6	3,0	8,5

VZORČNO MESTO TREMERJE

	Tremerje		
	18.7.2007	14.11.2007	27.4.2008
Povprečna hitrost vodnega toka (m/s)	0,45	0,62	0,81
Temperatura vode (°C)	23,2	5,9	12,4
Koncentracija kisika (mg/L)	11,8	13,5	11,6
Nasičenost vode s kisikom (%)	140	110	115
Elektroprevodnost (µS/cm)	352	460	366
pH	8,4	8,0	7,9
Nitrati NO ³⁻ (mg /L)	3,88	1,06	6,38
Ortofosfati PO ₄ ³⁻ (mg /L)	pod mejo detekcije	pod mejo detekcije	pod mejo detekcije
Suspendirane snovi (mg/L)	23,2	6,5	5,8

VZORČNO MESTO LAŠKO

	Laško		
	18.7.2007	14.11.2007	27.4.2008
Povprečna hitrost vodnega toka (m/s)	0,26	0,57	0,80
Temperatura vode (°C)	25,2	6,2	13,1
Koncentracija kisika (mg/L)	12,7	14,2	12,4
Nasičenost vode s kisikom (%)	157	116	120
Elektroprevodnost (µS/cm)	266	466	364
pH	8,6	8,0	8,1
Nitrati NO ³⁻ (mg /L)	3,47	0,69	5,89
Ortofosfati PO ₄ ³⁻ (mg /L)	pod mejo detekcije	pod mejo detekcije	pod mejo detekcije
Suspendirane snovi (mg/L)	6,9	7,2	5,8

Priloga C: Masa vzorcev posušenega perifitona in masa anorganskega dela vzorcev perifitona

MASA VZORCEV PERIFITONA (mg/cm²)

	Polule	Tremerje	Laško
--	--------	----------	-------

18.7.2007	9,38	15,18	19,35
14.11.2007	7,49	15,43	11,82
27.4.2008	19,18	22,34	13,19

MASA ANORGANSKEGA DELA VZORCEV PERIFITONA (mg/cm²)

	Polule	Tremerje	Laško
18.7.2007	6,61	10,88	15,38
14.11.2007	6,05	13,72	9,67
27.4.2008	15,38	17,81	8,46

Priloga D: Koncentracija klorofila *a* (mg/cm²)

	Polule	Tremerje	Laško
18.7.2007	6,08	28,37	12,37
14.11.2007	20,90	24,37	19,61
27.4.2008	23,44	28,94	20,32

Priloga E: Delež (%) vrst kremenastih alg na posameznem vzorčnem mestu ob različnih datumih vzorčenja

VZORČNO MESTO POLULE

	18.7.2007	14.11.2007	27.4.2008
<i>Melosira varians</i>	0,90	0,00	0,10
<i>Cyclotella meneghiniana</i>	2,45	0,0001	0,00

<i>Cyclotella</i> sp. 1	0,30	0,0001	0,00
<i>Diatoma moniliformis</i>	0,00	0,60	0,25
<i>D. vulgare</i>	6,25	1,05	0,80
<i>Fragilaria capucina</i>	3,95	1,25	0,45
<i>F. construens</i>	0,00	0,0001	0,00
<i>F. ulna</i>	0,90	0,30	0,10
<i>Hannaea arcus</i>	0,00	0,0001	0,00
<i>Achnanthes lanceolata</i>	5,45	4,35	3,40
<i>A. minutissima</i>	4,55	2,05	33,35
<i>Achnanthes</i> sp.1	4,65	0,40	0,00
<i>Cocconeis placentula</i>	9,55	0,20	0,25
<i>Rhoicosphenia abbreviata</i>	1,60	0,25	0,45
<i>Navicula capitata</i>	0,00	0,00	0,0001
<i>N. capitatoradiata</i>	13,05	5,20	1,05
<i>N. cryptotenella</i>	13,35	7,75	9,70
<i>N. lanceolata</i>	0,0001	11,05	3,35
<i>N. reinhardtii</i>	0,0001	0,00	0,00
<i>N. tripunctata</i>	1,15	0,45	0,20
<i>N. viridula</i>	0,40	0,20	0,00
<i>Gyrosigma attenuatum</i>	0,0001	0,0001	0,00
<i>Amphora ovalis</i>	0,25	0,00	0,30
<i>A. pediculus</i>	0,25	0,30	1,55
<i>Cymbella affinis</i>	6,60	0,20	0,50
<i>C. cistula</i>	0,05	0,05	0,0001
<i>C. minuta</i>	2,70	5,35	2,55
<i>C. prostrata</i>	0,00	0,60	0,05
<i>C. silesiaca</i>	0,80	1,10	0,45
<i>C. sinuata</i>	0,05	0,05	0,10
<i>Cymbella</i> sp. 2	0,00	0,00	0,10
<i>Gomphonema angustatum</i>	0,45	0,75	3,20
<i>G. angustum</i>	0,90	0,90	1,70
<i>G. augur</i>	0,00	0,00	0,05
<i>G. clavatum</i>	0,00	1,80	0,10
<i>G. olivaceum</i>	0,00	6,80	4,10
<i>G. parvulum</i>	7,35	24,20	17,80
<i>Denticula tenuis</i>	0,30	0,15	0,05
<i>Nitzschia acicularis</i>	0,35	0,15	0,05
<i>N. dissipata</i>	0,45	7,80	3,15
<i>N. fonticola</i>	8,55	10,60	10,20
<i>N. palea</i>	1,65	1,30	0,40

»se nadaljuje«

»se nadaljuje«

<i>Nitzschia</i> sp. 1	0,0001	0,00	0,00
<i>Cymatopleura solea</i>	0,05	0,00	0,00
<i>Surirella ovalis</i>	0,75	2,80	0,15

VZORČNO MESTO TREMERJE

	18.7.2007	14.11.2007	27.4.2008
<i>Melosira varians</i>	0,0001	0,0001	0,0001

<i>Cyclotella meneghiniana</i>	1,65	0,00	0,00
<i>Cyclotella</i> sp. 1	0,35	0,00	0,05
<i>Diatoma hiemale</i>	0,00	0,05	0,0001
<i>D. moniliformis</i>	0,00	0,35	0,50
<i>D. vulgare</i>	1,45	0,40	0,55
<i>Fragilaria capucina</i>	5,25	2,00	0,95
<i>F. rumpens</i>	0,00	0,0001	0,00
<i>F. ulna</i>	0,70	0,10	0,20
<i>Hannaea arcus</i>	0,00	0,00	0,10
<i>Achnanthes lanceolata</i>	5,55	10,00	2,25
<i>A. minutissima</i>	6,05	5,80	57,10
<i>Achnanthes</i> sp.1	0,85	0,20	0,40
<i>Cocconeis placentula</i>	8,05	0,70	2,20
<i>Rhoicosphenia abbreviata</i>	2,00	0,25	1,50
<i>Navicula capitata</i>	0,05	0,00	0,00
<i>N. capitatoradiata</i>	8,75	2,55	0,40
<i>N. cryptotenella</i>	22,80	19,70	4,60
<i>N. lanceolata</i>	0,25	2,40	1,00
<i>N. reinhardtii</i>	0,00	0,0001	0,00
<i>N. tripunctata</i>	0,35	0,05	0,35
<i>N. viridula</i>	0,15	0,30	0,00
<i>Gyrosigma attenuatum</i>	0,05	0,00	0,00
<i>Amphora libyca</i>	0,00	0,00	0,05
<i>A. ovalis</i>	0,25	0,00	1,60
<i>A. pediculus</i>	0,20	2,65	7,45
<i>Cymbella affinis</i>	6,35	1,90	1,30
<i>C. minuta</i>	1,30	2,50	1,65
<i>C. silesiaca</i>	0,35	0,30	0,50
<i>C. sinuata</i>	0,00	0,00	0,00
<i>Cymbella</i> sp. 2	0,00	0,00	0,35
<i>Gomphonema angustatum</i>	0,40	0,45	0,70
<i>G. angustum</i>	1,45	0,60	1,20
<i>G. clavatum</i>	0,00	0,70	0,05
<i>G. olivaceum</i>	0,00	5,05	1,30
<i>G. parvulum</i>	7,80	19,25	5,10
<i>Denticula tenuis</i>	0,20	0,15	0,30
<i>Nitzschia acicularis</i>	0,05	0,00	0,00
<i>N. dissipata</i>	0,55	10,00	1,45

»se nadaljuje«

»se nadaljuje«

<i>N. fonticola</i>	15,65	10,00	4,25
<i>N. linearis</i>	0,00	0,00	0,05
<i>N. palea</i>	0,95	1,30	0,40
<i>Surirella ovalis</i>	0,15	0,30	0,15
<i>Didymosphenia geminata</i>	0,05	0,00	0,00

VZORČNO MESTO LAŠKO

	18.7.2007	14.11.2007	27.4.2008
<i>Melosira varians</i>	0,20	0,00	0,0001

<i>Cyclotella meneghiniana</i>	2,85	0,00	0,00
<i>Cyclotella</i> sp. 1	0,15	0,00	0,05
<i>Diatoma moniliformis</i>	0,00	0,40	0,35
<i>D. vulgare</i>	1,55	0,60	1,45
<i>Fragilaria capucina</i>	4,15	0,70	0,50
<i>F. ulna</i>	0,20	0,25	0,20
<i>Achnanthes lanceolata</i>	6,40	9,35	3,80
<i>A. minutissima</i>	9,70	9,30	43,35
<i>Achnanthes</i> sp. 1	0,25	0,00	0,00
<i>Cocconeis placentula</i>	8,70	0,60	3,55
<i>Rhoicosphenia abbreviata</i>	2,30	1,35	1,65
<i>Navicula capitata</i>	0,10	0,00	0,00
<i>N. capitatoradiata</i>	9,50	4,45	0,40
<i>N. cryptotenella</i>	17,80	15,55	5,85
<i>N. lanceolata</i>	0,10	1,95	1,40
<i>N. tripunctata</i>	1,40	0,45	0,65
<i>N. viridula</i>	0,40	0,30	0,00
<i>Gyrosigma attenuatum</i>	0,0001	0,00	0,00
<i>P. viridis</i>	0,00	0,00	0,05
<i>Amphora libyca</i>	0,00	0,05	0,00
<i>A. ovalis</i>	0,80	0,00	2,60
<i>A. pediculus</i>	3,30	4,90	7,60
<i>Cymbella affinis</i>	6,85	2,95	2,25
<i>C. cistula</i>	0,20	0,05	0,00
<i>C. minuta</i>	0,95	2,05	1,35
<i>C. silesiaca</i>	0,80	0,45	0,15
<i>C. sinuata</i>	0,00	0,00	0,05
<i>Cymbella</i> sp. 2	0,00	0,00	1,15
<i>Gomphonema angustatum</i>	0,40	0,30	0,80
<i>G. angustum</i>	1,30	0,70	1,90
<i>G. clavatum</i>	0,25	0,50	0,20
<i>G. olivaceum</i>	0,35	5,75	2,00
<i>G. parvulum</i>	8,75	16,80	12,40
<i>Denticula tenuis</i>	0,60	0,15	0,05
<i>Nitzschia acicularis</i>	0,15	0,05	0,00
<i>N. dissipata</i>	0,65	9,45	1,45

»se nadaljuje«

»se nadaljuje«

<i>N. fonticola</i>	7,85	8,85	2,45
<i>N. linearis</i>	0,00	0,00	0,05
<i>N. palea</i>	1,00	1,45	0,15
<i>N. sigmoidea</i>	0,00	0,00	0,0001
<i>Cymatopleura elliptica</i>	0,00	0,00	0,05
<i>Surirella ovalis</i>	0,05	0,30	0,0001
<i>Didymosphenia geminata</i>	0,0001	0,00	0,10

Priloga F: Ocena pogostosti posameznih vrst alg in modro-zelenih cepljivk na posameznem vzorčnem mestu ob različnih datumih vzorčenja

VZORČNO MESTO POLULE:

	18.7.2007	14.11.2007	27.4.2008
<i>Merismopedia glauca</i>	1		
<i>Chamaesiphon incrustans</i>	1		1
<i>Homoeothrix varians</i>	5	3	5
<i>Pleurocapsa minor</i>	3	2	5
<i>Phormidium</i> sp.1	2	1	1
<i>Hydrurus foetidus</i>		1	1
<i>Melosira varians</i>	1		1
<i>Cyclotella meneghiniana</i>	2		
<i>Cyclotella</i> sp. 1	1	1	
<i>Diatoma moniliformis</i>		1	1
<i>D. vulgare</i>	2	1	1
<i>Fragilaria capucina</i>	1	1	1
<i>F. construens</i>	1	1	
<i>F. ulna</i>	1	1	1
<i>Hannaea arcus</i>		1	
<i>Achnanthes lanceolata</i>	2	2	2
<i>A. minutissima</i>	2	1	5
<i>Achnanthes</i> sp. 1	2	1	
<i>Cocconeis placentula</i>	2	1	1
<i>Rhoicosphenia abbreviata</i>	1	1	1
<i>Navicula capitata</i>			1
<i>N. capitatoradiata</i>	4	2	2
<i>N. cryptotenella</i>	3	5	5
<i>N. lanceolata</i>		2	3
<i>N. tripunctata</i>	1	1	1
<i>N. viridula</i>	1	1	
<i>Gyrosigma attenuatum</i>	1	1	
<i>Amphora ovalis</i>	1		1
<i>A. pediculus</i>	1	2	1
<i>Cymbella afinis</i>	2	1	1
<i>C. cistula</i>	1	1	1
<i>C. minuta</i>	1	2	2
<i>C. prostrata</i>		1	1
<i>C. silesiaca</i>	1	1	1
<i>C. sinuata</i>	1	1	1
<i>Cymbella</i> sp. 2			1
<i>Gomphonema angustatum</i>	1	1	2
<i>G. angustum</i>	1	1	1
<i>G. augur</i>			1
<i>G. clavatum</i>		1	1
<i>G. olivaceum</i>		2	2
<i>G. parvulum</i>	2	5	5

»se nadaljuje«

»se nadaljuje«

<i>Denticula tenuis</i>	1	1	1
-------------------------	---	---	---

<i>Nitzschia acicularis</i>	1	1	1
<i>N. dissipata</i>	1	3	2
<i>N. fonticola</i>	3	4	4
<i>N. linearis</i>			1
<i>N. palea</i>	1	1	1
<i>Nitzschia</i> sp.1	1		
<i>Cymatopleura solea</i>	1		
<i>Surirella ovalis</i>	1	2	1
<i>Pediastrum boryanum</i>	1		
<i>P. simplex</i>		1	
<i>Scenedesmus acutus</i>	1		
<i>S. ecornis</i>	1		
<i>S. quadricauda</i>	1		
<i>Ulothrix tenuissima</i>			1
<i>U. zonata</i>		1	1
<i>Stigeoclonium tenue</i>		1	1
<i>Oedogonium</i> sp. 1			1
<i>Cladophora glomerata</i>	1		1

VZORČNO MESTO TREMERJE:

	18.7.2007	14.11.2007	27.4.2008
<i>Chamaesiphon incrustans</i>	1		1
<i>Homoeothrix varians</i>	5	5	4
<i>Pleurocapsa minor</i>	5	3	5
<i>Phormidium</i> sp. 1	1	1	1
<i>Hydrurus foetidus</i>		1	1
<i>Melosira varians</i>	1	1	1
<i>Cyclotella meneghiniana</i>	2		
<i>Cyclotella</i> sp.1	1		1
<i>Diatoma hiemale</i>		1	1
<i>D. moniliformis</i>		1	1
<i>D. vulgare</i>	2	2	2
<i>Fragilaria capucina</i>	2	1	1
<i>F. rumpens</i>		1	
<i>F. ulna</i>	1	1	1
<i>Hannaea arcus</i>			1
<i>Achnanthes lanceolata</i>	2	4	3
<i>A. minutissima</i>	2	2	5
<i>Achnanthes</i> sp. 1	1	1	
<i>Cocconeis placentula</i>	3	1	2
<i>Rhoicosphenia abbreviata</i>	1	1	2
<i>Navicula capitata</i>	1		
<i>Navicula capitatoradiata</i>	4	2	2
<i>N. cryptotenella</i>	5	5	4

»se nadaljuje«

»se nadaljuje«

<i>N. lanceolata</i>	1	2	3
<i>N. reinhardtii</i>		1	
<i>N. tripunctata</i>	1	2	1

<i>N. viridula</i>	1	1	
<i>Gyrosigma attenuatum</i>	1		
<i>Amphora libyca</i>			1
<i>A. ovalis</i>	1		2
<i>A. pediculus</i>	1	2	3
<i>Cymbella affinis</i>	2	1	1
<i>C. minuta</i>	1	2	1
<i>C. prostrata</i>			1
<i>C. silesiaca</i>	1	1	1
<i>Cymbella</i> sp. 2			1
<i>Gomphonema angustatum</i>	1	1	1
<i>G. angustum</i>	1	1	1
<i>G. clavatum</i>		1	1
<i>G. olivaceum</i>		3	1
<i>G. parvulum</i>	4	5	4
<i>Denticula tenuis</i>	1	1	1
<i>Nitzschia acicularis</i>	1		1
<i>N. dissipata</i>	1	3	1
<i>N. fonticola</i>	5	4	3
<i>N. linearis</i>			1
<i>N. palea</i>	1	1	1
<i>Surirella ovalis</i>	1	1	1
<i>Didymosphenia geminata</i>	1		
<i>Pediastrum</i> sp. 1		1	
<i>Scenedesmus abundans</i>	2		
<i>S. acutus</i>	1		
<i>S. acuminatus</i>	1		
<i>S. ecornis</i>	1		
<i>S. quadricauda</i>	2		
<i>Ulothrix zonata</i>	1	1	1
<i>Stigeoclonium tenue</i>		1	2
<i>Oedogonium</i> sp. 1	1	1	1
<i>Cladophora glomerata</i>	1	1	1
<i>Closterium moniliferum</i>	1		
<i>Cosmarium praemorsum</i>	1		

VZORČNO MESTO LAŠKO:

	18.7.2007	14.11.2007	27.4.2008
<i>Chamaesiphon incrustans</i>	1	1	1
<i>Homoeothrix varians</i>	5	5	5
<i>Pleurocapsa minor</i>	4	5	5
<i>Phormidium</i> sp. 1	5	1	4
<i>Hydrurus foetidus</i>		1	
<i>Melosira varians</i>	1		1
<i>Cyclotella meneghiniana</i>	2		
<i>Cyclotella</i> sp. 1	1		1
<i>Diatoma moniliformis</i>		1	1
<i>D. vulgare</i>	2	1	2
<i>Fragillaria capucina</i>	2	1	1
<i>F. ulna</i>	1	1	1
<i>Achnanthes lanceolata</i>	1	4	2
<i>A. minutissima</i>	4	4	5
<i>Achnanthes</i> sp. 1	1		
<i>C. placentula</i>	2	1	2
<i>Rhoicosphenia abbreviata</i>	2	1	2
<i>Navicula capitata</i>	1		
<i>N. capitatoradiata</i>	5	3	1
<i>N. cryptotenella</i>	5	5	5
<i>N. lanceolata</i>	1	3	3
<i>N. tripunctata</i>	2	1	1
<i>N. viridula</i>	1	1	
<i>Pinnularia viridis</i>			1
<i>Gyrosigma attenuatum</i>	1		
<i>Amphora libyca</i>		1	
<i>A. ovalis</i>	1		2
<i>A. pediculus</i>	2	2	4
<i>Cymbella affinis</i>	2	2	2
<i>C. cistula</i>	1	1	
<i>C. minuta</i>	1	2	2
<i>C. prostrata</i>			1
<i>C. silesiaca</i>	1	1	1
<i>C. sinuata</i>			1
<i>Cymbella</i> sp. 2			1
<i>Gomphonema angustatum</i>	1	1	1
<i>G. angustum</i>	1	1	1
<i>G. clavatum</i>	1	1	1
<i>G. olivaceum</i>	1	2	2
<i>G. parvulum</i>	3	5	5
<i>Denticula tenuis</i>	1	1	1
<i>Nitzschia acicularis</i>	1	1	
<i>N. dissipata</i>	1	4	1
<i>N. fonticola</i>	3	4	2

»se nadaljuje«

»se nadaljuje«

<i>N. linearis</i>			1
--------------------	--	--	---

<i>N. palea</i>	1	1	1
<i>N. sigmoidea</i>			1
<i>Cymatopleura elliptica</i>			1
<i>Surirella ovalis</i>	1	1	1
<i>Didymosphenia geminata</i>	1		1
<i>Pediastrum boryanum</i>	1		
<i>P. tetras</i>		1	
<i>Monoraphidium contortum</i>	1		
<i>Scenedesmus abundans</i>	1		
<i>S. acutus</i>	2		
<i>S. acuminatus</i>	1		
<i>S. ecornis</i>	1		
<i>Coelastrum</i> sp. 1	1		
<i>Ulothrix zonata</i>		1	1
<i>Stigeoclonium tenue</i>		1	1
<i>Oedogonium</i> sp. 1	1		1
<i>Cladophora glomerata</i>	1	1	2
<i>Closterium moniliferum</i>	1		
<i>Closteriopsis acicularis</i>	1		
<i>Bangia atropurpurea</i>		2	

Priloga G: Rezultati štetja izbranih taksonov alg in modro-zelenih cepljivk na posameznem vzorčnem mestu ob posameznih datumih vzorčenja

VZORČNO MESTO POLULE:

Datum: 18. 7. 2007	Št. celic v podvzorcih:					Statistični izračuni:		
Vrsta:	1.	2.	3.	4.	5.	povprečje	celic/cm²	SE
<i>Homoeothrix varians</i>	42770	35400	54800	41200	59000	46634,0	4110416,64	389356,06
<i>Pleurocapsa minor</i>	1670	1115	422	1364	880	1090,2	96092,47	18722,92
<i>Phormidium</i> sp. 1	1170	795	1230	910	823	985,6	86872,81	7938,10
<i>Melosira varians</i>	1	11	8	20	4	8,8	775,65	288,86
<i>Cyclotella</i> sp.	10	11	14	9	10	10,8	951,93	75,82
<i>Diatoma vulgare</i>	32	34	23	35	124	49,6	4371,85	1650,07
<i>Fragilaria ulna</i>	3	3	7	1	2	3,2	282,05	89,89
<i>Achnanthes minutissima</i>	47	55	54	44	47	49,4	4354,22	190,27
<i>Cocconeis placentula</i>	18	31	29	14	28	24,0	2115,41	296,29
<i>Rhoicosphenia curvata</i>	9	11	16	7	4	9,4	828,54	177,60
<i>Navicula capitatoradiata</i>	69	65	78	65	78	71,0	6258,09	259,98
<i>N. cryptotenella</i>	49	39	46	44	43	44,2	3895,88	145,90
<i>N. tripunctata</i>	6	5	10	6	6	6,6	581,74	76,84
<i>N. viridula</i>	2	1	7	7	4	4,2	370,20	109,38
<i>Amphora</i> sp.	0	0	2	0	1	0,6	52,89	35,26
<i>Cymbella</i> sp.	29	16	32	28	28	26,6	2344,58	242,35
<i>Nitzschia acicularis</i>	0	0	0	0	1	0,2	17,63	17,63
<i>N. palea</i>	1	0	1	3	1	1,2	105,77	43,18
<i>Surirella brevisoni</i>	3	4	0	3	1	2,2	193,91	64,77
<i>Pediastrum boryanum</i>	0	0	0	8	0	1,6	141,03	141,03
<i>Cladophora glomerata</i>	0	11	0	16	9	7,2	634,62	277,89

Datum: 14. 11. 2007	Št. celic v podvzorcih:					Statistični izračuni:		
Vrsta:	1.	2.	3.	4.	5.	povprečje	celic/cm²	SE
<i>Homoeothrix varians</i>	4150	3300	1290	3380	3050	3034,0	267423,00	41705,82
<i>Pleurocapsa minor</i>	1955	970	416	1730	1930	1400,2	123416,51	26814,46
<i>Phormidium</i> sp.	30	35	0	0	0	13,0	1145,85	705,14
<i>Hydrurus foetidus</i>	77	241	15	82	434	169,8	14966,52	6688,20
<i>Melosira varians</i>	0	0	0	0	3	0,6	52,89	52,89
<i>Diatoma vulgare</i>	19	6	11	8	28	14,4	1269,25	357,60
<i>Fragilaria ulna</i>	3	3	0	1	5	2,4	211,54	76,84
<i>Achnanthes minutissima</i>	4	4	12	10	10	8,0	705,14	147,49
<i>Cocconeis placentula</i>	2	2	3	2	1	2,0	176,28	27,87
<i>Rhoicosphenia curvata</i>	0	0	0	0	1	0,2	17,63	17,63
<i>Navicula capitatoradiata</i>	36	22	68	52	82	52,0	4583,39	947,68
<i>N. cryptotenella</i>	200	272	191	167	158	197,6	17416,87	1772,64
<i>N. lanceolata</i>	98	72	79	61	114	84,8	7474,45	834,05
<i>N. tripunctata</i>	7	4	2	9	8	6,0	528,85	114,92
<i>N. viridula</i>	1	1	0	0	0	0,4	35,26	21,59
<i>Amphora</i> sp.	15	13	17	17	29	18,2	1604,19	246,80
<i>Cymbella</i> sp.	32	36	35	30	55	37,6	3314,14	394,77

»se nadaljuje«

»se nadaljuje«

<i>Nitzschia acicularis</i>	1	2	0	1	1	1,0	88,14	27,87
-----------------------------	---	---	---	---	---	-----	-------	-------

<i>N. palea</i>	1	2	0	3	3	1,8	158,66	51,40
<i>Surirella brevisoni</i>	21	22	27	29	23	24,4	2150,67	135,41
<i>Ulothrix zonata</i>	0	0	103	73	83	51,8	4565,76	1911,97
<i>Stigeoclonium tenue</i>	53	529	500	843	47	394,4	34763,23	13479,56

Datum: 27. 4. 2008	Št. celic v podvzorcih:					Statistični izračuni:		
Vrsta:	1.	2.	3.	4.	5.	povprečje	celic/cm²	SE
<i>Homoeothrix varians</i>	15270	21350	29550	18450	18500	20624,0	1588463,80	187163,37
<i>Pleurocapsa minor</i>	12110	17030	10200	11540	20920	14360,0	1106009,50	154504,63
<i>Phormidium</i> sp. 1	40	210	110	290	90	148,0	11398,98	3465,05
<i>Hydrurus foetidus</i>	2	120	0	50	0	34,4	2649,49	1805,23
<i>Melosira varians</i>	0	0	0	2	4	1,2	92,42	61,62
<i>Diatoma vulgare</i>	10	10	7	9	33	13,8	1062,88	372,10
<i>Fragilaria ulna</i>	1	1	2	1	1	1,2	92,42	15,40
<i>Achnanthes minutissima</i>	66	178	248	184	240	183,2	14110,09	2506,93
<i>Cocconeis placentula</i>	0	1	6	5	5	3,4	261,87	93,06
<i>Rhoicosphenia curvata</i>	4	1	5	11	4	5,0	385,10	126,56
<i>Navicula capitatoradiata</i>	13	13	26	15	25	18,4	1417,17	225,34
<i>N. cryptotenella</i>	147	195	329	195	249	223,0	17175,50	2389,86
<i>N. lanceolata</i>	51	45	62	56	59	54,6	4205,30	231,83
<i>N. tripunctata</i>	9	6	7	4	6	6,4	492,93	62,57
<i>Amphora</i> sp.	5	12	8	9	13	9,4	723,99	110,54
<i>Cymbella</i> sp.	29	30	55	27	28	33,8	2603,28	410,02
<i>Nitzschia acicularis</i>	1	0	1	2	0	0,8	61,62	28,82
<i>N. palea</i>	10	7	4	4	7	6,4	492,93	86,45
<i>Surirella brevisoni</i>	4	3	1	9	2	3,8	292,68	107,28
<i>Ulothrix zonata</i>	10	72	25	33	90	46,0	3542,93	1157,61
<i>Stigeoclonium tenue</i>	15	4	18	0	20	11,4	878,03	305,76
<i>Cladophora glomerata</i>	0	0	0	3	2	1,0	77,02	48,71

VZORČNO MESTO TREMERJE

Datum: 18. 7. 2007	Št. celic v podvzorcih:					Statistični izračuni:		
Vrsta:	1.	2.	3.	4.	5.	Povprečje	celic/cm ²	SE
<i>Homoeothrix varians</i>	17500	68400	35750	23700	27800	34630,0	3052359,40	788666,53
<i>Pleurocapsa minor</i>	4606	5445	2240	4595	4525	4282,2	377441,91	47401,77
<i>Phormidium</i> sp. 1	90	15	110	50	0	53,0	4671,53	1857,27
<i>Melosira varians</i>	6	6	0	5	5	4,4	387,83	98,94
<i>Cyclotella</i> sp.	8	18	17	16	12	14,2	1251,62	163,48
<i>Diatoma vulgare</i>	29	33	14	23	30	25,8	2274,07	296,82
<i>Fragilaria ulna</i>	5	0	3	7	2	3,4	299,68	106,50
<i>Achnanthes minutissima</i>	13	42	30	29	22	27,2	2397,46	422,16
<i>Cocconeis placentula</i>	26	52	50	25	28	36,2	3190,74	534,99
<i>Rhoicosphenia curvata</i>	4	9	27	19	12	14,2	1251,62	354,11
<i>Navicula capitatoradiata</i>	83	97	141	99	94	102,8	9061,00	876,29
<i>N. cryptotenella</i>	61	67	62	87	87	72,8	6416,74	518,77
<i>N. tripunctata</i>	4	9	16	8	6	8,6	758,02	179,78
<i>N. viridula</i>	3	1	4	1	3	2,4	211,54	52,89
<i>Amphora</i> sp.	1	3	5	1	1	2,2	193,91	70,51
<i>Cymbella</i> sp.	19	73	46	29	29	39,2	3455,17	837,30
<i>Nitzschia palea</i>	0	0	3	5	3	2,2	193,91	85,46
<i>Surirella brevisoni</i>	0	4	5	4	2	3,0	264,43	78,84
<i>Pediastrum boryanum</i>	0	8	0	0	0	1,6	141,03	141,03
<i>Cladophora glomerata</i>	0	8	11	6	0	5,0	440,71	193,11

Datum: 14. 11. 2007	Št. celic v podvzorcih:					Statistični izračuni:		
Vrsta:	1.	2.	3.	4.	5.	povprečje	celic/cm ²	SE
<i>Homoeothrix varians</i>	12160	20500	21000	10530	17000	16238,0	1431250,71	187634,21
<i>Pleurocapsa minor</i>	795	5260	6220	3190	3615	3816,0	336350,09	82267,92
<i>Phormidium</i> sp.	0	0	0	60	110	34,0	2996,83	1963,02
<i>Hydrurus foetidus</i>	20	132	30	12	10	40,8	3596,20	2033,47
<i>Melosira varians</i>	0	0	2	0	8	2,0	176,28	136,55
<i>Diatoma vulgare</i>	11	21	26	19	17	18,8	1657,07	216,62
<i>Fragilaria ulna</i>	0	1	3	1	2	1,4	123,40	44,94
<i>Achnanthes minutissima</i>	52	93	50	49	46	58,0	5112,24	775,95
<i>Cocconeis placentula</i>	2	2	6	4	5	3,8	334,94	70,51
<i>Rhoicosphenia curvata</i>	9	2	5	13	23	10,4	916,68	322,17
<i>Navicula capitatoradiata</i>	23	63	50	67	57	52,0	4583,39	687,28
<i>N. cryptotenella</i>	137	289	191	166	196	195,8	17258,21	2251,92
<i>N. lanceolata</i>	26	48	69	49	63	51,0	4495,24	655,46
<i>N. tripunctata</i>	9	9	5	4	10	7,4	652,25	106,50
<i>N. viridula</i>	2	2	0	0	0	0,8	70,51	43,18
<i>Amphora</i> sp.	14	17	19	13	16	15,8	1392,64	94,11
<i>Cymbella</i> sp.	36	59	54	31	52	46,4	4089,79	480,03
<i>Nitzschia acicularis</i>	2	1	0	0	0	0,6	52,89	35,26
<i>N. palea</i>	1	4	2	1	1	1,8	158,66	51,40
<i>Surirella brevisoni</i>	5	11	7	11	3	7,4	652,25	141,03
<i>Ulothrix zonata</i>	0	94	9	260	0	72,6	6399,11	4414,29
<i>Stigeoclonium tenue</i>	4	35	23	13	41	23,2	2044,90	600,66

Datum: 27. 4. 2008	Št. celic v podvzorcih:					Statistični izračuni:		
--------------------	-------------------------	--	--	--	--	-----------------------	--	--

Vrsta:	1.	2.	3.	4.	5.	povprečje	celic/cm²	SE
<i>Homoeothrix varians</i>	10400	13320	7020	6700	13700	10228,0	787762,21	114735,33
<i>Pleurocapsa minor</i>	15350	18950	9960	9780	13520	13512,0	1040696,42	132839,89
<i>Phormidium</i> sp. 1	125	740	155	220	115	271,0	20872,46	9140,28
<i>Hydrurus foetidus</i>	0	0	0	38	0	7,6	585,35	585,35
<i>Melosira varians</i>	9	0	10	0	0	3,8	292,68	179,64
<i>Cyclotella</i> sp.	2	0	0	0	2	0,8	61,62	37,73
<i>Diatoma vulgare</i>	80	31	25	30	47	42,6	3281,06	774,27
<i>Fragilaria ulna</i>	3	2	1	6	1	2,6	200,25	71,43
<i>Achnanthes minutissima</i>	336	298	362	334	326	331,2	25509,08	790,87
<i>Cocconeis placentula</i>	20	25	21	20	37	24,6	1894,70	249,10
<i>Rhoicosphenia curvata</i>	56	44	27	31	25	36,6	2818,94	452,13
<i>Navicula capitatoradiata</i>	10	10	19	12	19	14,0	1078,28	159,71
<i>N. cryptotenella</i>	97	125	134	136	134	125,2	9642,92	562,51
<i>N. lanceolata</i>	54	55	41	64	45	51,8	3989,64	311,34
<i>N. tripunctata</i>	7	9	3	15	10	8,8	677,78	150,93
<i>Amphora</i> sp.	26	60	61	75	68	58,0	4467,17	650,35
<i>Cymbella</i> sp.	53	54	60	52	49	53,6	4128,28	139,06
<i>Nitzschia acicularis</i>	1	0	0	1	3	1,0	77,02	42,19
<i>N. palea</i>	7	7	4	6	5	5,8	446,72	44,91
<i>Surirella brevisoni</i>	2	2	2	2	1	1,8	138,64	15,40
<i>Ulothrix zonata</i>	53	167	75	23	19	67,4	5191,16	2073,77
<i>Stigeoclonium tenue</i>	91	415	76	49	113	148,8	11460,60	5188,00
<i>Cladophora glomerata</i>	19	6	11	13	6	11,0	847,22	187,08

VZORČNO MESTO LAŠKO

Datum: 18. 7. 2007	Št. celic v podvzorcih:					Statistični izračuni:		
Vrsta:	1.	2.	3.	4.	5.	povprečje	celic/cm ²	SE
<i>Homoeothrix varians</i>	17950	19350	15800	23650	22400	19830,0	1747856,97	126512,26
<i>Pleurocapsa minor</i>	1615	1295	565	1400	1500	1275,0	112381,12	16328,30
<i>Phormidium</i> sp. 1	1070	1870	1345	950	1495	1346,0	118639,21	14345,37
<i>Melosira varians</i>	5	2	3	4	2	3,2	282,05	51,40
<i>Cyclotella</i> sp.	32	24	31	33	38	31,6	2785,29	198,27
<i>Diatoma vulgare</i>	10	22	3	14	16	13,0	1145,85	278,73
<i>Fragilaria ulna</i>	1	1	4	5	1	2,4	211,54	76,84
<i>Achnanthes minutissima</i>	14	15	13	11	10	12,6	1110,59	81,74
<i>Cocconeis placentula</i>	15	22	36	32	32	27,4	2415,09	340,92
<i>Rhoicosphenia curvata</i>	11	12	16	22	13	14,8	1304,50	174,96
<i>Navicula capitatoradiata</i>	90	106	94	80	103	94,6	8338,24	411,16
<i>N. cryptotenella</i>	67	67	63	72	67	67,2	5923,15	125,89
<i>N. tripunctata</i>	17	16	13	5	13	12,8	1128,22	185,73
<i>N. viridula</i>	1	3	4	1	0	1,8	158,66	64,77
<i>Amphora</i> sp.	3	1	4	2	2	2,4	211,54	44,94
<i>Cymbella</i> sp.	24	21	42	26	32	29,0	2556,12	327,43
<i>Nitzschia acicularis</i>	0	1	1	0	0	0,4	35,26	21,59
<i>N. palea</i>	1	1	2	3	2	1,8	158,66	32,98
<i>Surirella brevisoni</i>	3	5	1	1	3	2,6	229,17	65,96
<i>Cladophora glomerata</i>	2	6	7	10	4	5,8	511,22	119,56

Datum: 14. 11. 2007	Št. celic v podvzorcih:					Statistični izračuni:		
Vrsta:	1.	2.	3.	4.	5.	povprečje	celic/cm ²	SE
<i>Homoeothrix varians</i>	8450	10080	10300	6910	8180	8784,0	774239,82	55627,76
<i>Pleurocapsa minor</i>	1923	2090	2060	2520	3760	2470,6	217763,76	29749,13
<i>Phormidium</i> sp. 1	100	130	110	50	80	94,0	8285,35	1202,10
<i>Hydrurus foetidus</i>	6	4	27	1	9	9,4	828,54	404,49
<i>Cyclotella</i> sp.	0	0	0	0	1	0,2	17,63	17,63
<i>Diatoma vulgare</i>	16	8	6	21	12	12,6	1110,59	239,12
<i>Fragilaria ulna</i>	2	0	2	0	1	1,0	88,14	39,42
<i>Achnanthes minutissima</i>	12	14	17	13	23	15,8	1392,64	174,96
<i>Cocconeis placentula</i>	3	5	5	8	4	5,0	440,71	73,74
<i>Rhoicosphenia curvata</i>	8	1	14	10	2	7,0	616,99	215,90
<i>Navicula capitatoradiata</i>	29	46	47	39	58	43,8	3860,62	422,16
<i>N. cryptotenella</i>	147	119	188	129	152	147,0	12956,88	1045,51
<i>N. lanceolata</i>	29	31	38	34	40	34,4	3032,09	181,92
<i>N. tripunctata</i>	7	8	12	6	4	7,4	652,25	116,93
<i>N. viridula</i>	0	1	1	0	0	0,4	35,26	21,59
<i>Amphora</i> sp.	10	11	14	11	13	11,8	1040,08	64,77
<i>Cymbella</i> sp.	23	28	44	34	22	30,2	2661,89	357,38
<i>Nitzschia palea</i>	1	3	4	3	4	3,0	264,43	48,28
<i>Surirella brevisoni</i>	1	5	2	6	9	4,6	405,45	126,51
<i>Ulothrix zonata</i>	73	7	135	68	17	60,0	5288,52	2021,13
<i>Stigeoclonium tenue</i>	10	10	0	5	0	5,0	440,71	197,09

»se nadaljuje«

»se nadaljuje«

<i>Cladophora glomerata</i>	0	0	4	7	11	4,4	387,83	186,14
-----------------------------	---	---	---	---	----	-----	--------	--------

<i>Bangia atropurpurea</i>	520	186	149	277	195	265,4	23392,90	5905,03
----------------------------	-----	-----	-----	-----	-----	-------	----------	---------

Datum: 27. 4. 2008	Št. celic v podvzorcih:					Statistični izračuni:		
Vrsta:	1.	2.	3.	4.	5.	povprečje	celic/cm²	SE
<i>Homoeothrix varians</i>	10300	26800	11400	8100	13300	13980,0	1076741,86	255207,67
<i>Pleurocapsa minor</i>	10850	8920	11670	7810	13500	10550,0	812562,70	77426,14
<i>Phormidium</i> sp. 1	900	2750	875	860	1140	1305,0	100511,31	28100,22
<i>Melosira varians</i>	0	0	15	0	23	7,6	585,35	371,46
<i>Cyclotella</i> sp.	0	0	2	2	1	1,0	77,02	34,44
<i>Diatoma vulgare</i>	23	42	29	59	29	36,4	2803,53	496,53
<i>Fragilaria ulna</i>	6	2	2	3	3	3,2	246,46	56,60
<i>Achnanthes minutissima</i>	290	678	557	600	550	535,0	41205,79	5033,14
<i>Cocconeis placentula</i>	21	16	40	26	32	27,0	2079,54	323,12
<i>Rhoicosphenia curvata</i>	41	31	79	31	36	43,6	3358,08	696,43
<i>Navicula capitatoradiata</i>	15	11	17	16	4	12,6	970,45	183,24
<i>N. cryptotenella</i>	169	275	123	104	73	148,8	11460,60	2709,58
<i>N. lanceolata</i>	48	37	44	62	45	47,2	3635,35	317,00
<i>N. tripunctata</i>	8	2	14	19	16	11,8	908,84	234,12
<i>Amphora</i> sp.	66	92	101	119	119	99,4	7655,80	758,80
<i>Cymbella</i> sp.	68	114	62	77	69	78,0	6007,57	717,16
<i>Nitzschia acicularis</i>	0	0	1	0	0	0,2	15,40	15,40
<i>N. palea</i>	7	6	6	5	2	5,2	400,50	66,26
<i>Surirella brevisoni</i>	0	1	1	1	2	1,0	77,02	24,36
<i>Ulothrix zonata</i>	0	97	0	5	21	24,6	1894,70	1425,31
<i>Stigeoclonium tenue</i>	49	4	71	825	101	210,0	16174,23	11904,34
<i>Cladophora glomerata</i>	19	6	39	24	13	20,2	1555,81	429,80

Priloga H: 1.Vrednosti saprobnega indeksa na različnih vzorčnih mestih ob različnih datumih vzorčenja izračunane na podlagi kremenastih alg (a) in na podlagi vseh prisotnih alg in modro-zelenih cepljivk (b)

2. Ocena kakovosti voda na različnih vzorčnih mestih ob različnih datumih vzorčenja na podlagi vrednosti saprobnega indeksa

1.

a)KREMENASTE ALGE

	Polule	Tremerje	Laško
18.7.2007	1,90	1,83	1,83
14.11.2007	2,05	1,88	1,91
27.4.2008	1,91	1,82	1,80

b) VSE ALGE IN MODRO-ZELENE CEPLJIVKE

	Polule	Tremerje	Laško
18.7.2007	1,96	1,95	1,92
14.11.2007	1,96	1,93	1,96
27.4.2008	1,97	1,93	1,86

2.

a)KREMENASTE ALGE

	Polule	Tremerje	Laško
18.7.2007	2	2	2
14.11.2007	2	2	2
27.4.2008	2	2	1 - 2

b) VSE ALGE IN MODRO-ZELENE CEPLJIVKE

	Polule	Tremerje	Laško
18.7.2007	2	2	2
14.11.2007	2	2	2
27.4.2008	2	2	2

Priloga I: Vrednosti trofičnega indeksa po Rottu (1999) na različnih vzorčnih mestih ob različnih datumih vzorčenja

	Polule	Tremerje	Laško
18.7.2007	2,62	2,48	2,52
14.11.2007	3,12	2,83	2,77
27.4.2008	2,47	2,03	2,30

Priloga J: Vrednosti Shannon -Wienerjevega diverzitetnega indeksa na različnih vzorčnih mestih ob različnem datumu vzorčenja

	Polule	Tremerje	Laško
18.7.2007	4,08	3,67	3,97
14.11.2007	3,72	3,60	3,77
27.4.2008	3,27	2,75	3,21