

UNIVERZA V LJUBLJANI  
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA  
ODDELEK ZA BIOLOGIJO

Alijana PIVKO KNEŽEVIČ

**OVREDNOTENJE VPLIVA CENTRALNE ČISTILNE NAPRAVE  
CELJE NA REKO SAVINJO UPOŠTEVAJE LONGITUDINALNE  
SPREMEMBE V ZDRUŽBI VELIKIH VODNIH NEVRETENČARJEV**

DIPLOMSKO DELO  
Univerzitetni študij

**THE EVALUATION OF THE EFFECT OF SEWAGE TREATMENT  
PLANT CELJE ON THE RIVER SAVINJA REGARDING  
LONGITUDINAL CHANGES OF MACROINVERTEBRATE  
COMMUNITY**

GRADUATION THESIS  
University studies

Ljubljana, 2009

Diplomsko delo je zaključek univerzitetnega študija biologije. Opravljeno je bilo na Katedri za ekologijo in varstvo okolja Oddelka za biologijo Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani.

Študijska komisija Oddelka za biologijo je za mentorja 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: 2. 3. 2009

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

Naloga je rezultat lastnega raziskovalnega dela.

Alijana Pivko Kneževič

## KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD	Dn
DK	502 (043.2)=163.6
KG	čistilna naprava / Savinja / ekološko stanje / veliki vodni nevretenčarji / spremembe v združbi
KK	
AV	PIVKO KNEŽEVIČ, Alijana
SA	TOMAN, J. Mihael (mentor)
KZ	SI – 1000 Ljubljana, Večna pot 111
ZA	Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo
LI	2009
IN	OVREDNOTENJE VPLIVA CENTRALNE ČISTILNE NAPRAVE CELJE NA REKO SAVINJO UPOŠTEVAJE LONGITUDINALNE SPREMEMBE V ZDRUŽBI VELIKIH VODNIH NEVREtenČARJEV
TD	Diplomsko delo (univerzitetni študij)
OP	XII, 82 str., 7 pregl., 27 sl., 3 pril., 50 vir.
IJ	sl
JJ	sl/en
AI	V raziskavi smo želeli ovrednotiti vpliv Centralne čistilne naprave Celje (CČNC) na reko Savinjo. Predvidevali smo, da iztok CČNC zaradi vsebnosti hranil vpliva na prisotno združbo velikih vodnih nevretenčarjev tako, da povzroča spremembe v številčnosti, pestrosti in strukturi združbe velikih vodnih nevretenčarjev v reki. Merjenje fizikalno-kemijskih in bioloških parametrov ter vzorčenje makroinvertebratov je potekalo trikrat na treh vzorčnih mestih na reki Savinji (vzorčno mesto Polule pred CČNC in vzorčni mesti Tremerje in Laško za CČNC). Določili smo 80 taksonov makroinvertebratov. Vrednosti Shannon – Winnerjevega diverzitetnega indeksa so pokazale visoko diverzitetu na vseh treh vzorčnih mestih. Najvišje so bile vrednosti na vzorčnem mestu Tremerje, kjer smo našli tudi največ taksonov. Večja pestrost vodnih nevretenčarjev na tem mestu je bila najverjetneje posledica pestrega substrata. Saprobní indeks (SI) je bil zaradi dobre prezračenosti reke nizek. Izračunane vrednosti SI na mestih vzorčenja nakazujejo na neobremenjenost oz. majhno obremenjenost reke. Vrednost SI se je rahlo višala po toku navzdol (od Polul proti Laškem). Analiza prehranskih skupin makroinvertebratov je pokazala dominantnost detritivorov, sledili so jim strgalci, drobilci, filtratorji in plenilci. Klastrska analiza podatkov je pokazala, da so bile časovne razlike večje od prostorskih. Torej so bili sezonski vplivi na združbo makroinvertebratov večji od razlik v združbi na posameznih vzorčnih mestih.

## KEY WORDS DOCUMENTATION

DN Dd  
DC 502 (043.2)=163.6  
CX sewage treatment plant / Savinja / ecological quality / macroinvertebrates / changes in community  
CC  
AU PIVKO KNEŽEVIČ, Alijana  
AA TOMAN, J. Mihael (supervisor)  
PP SI – 1000 Ljubljana, Večna pot 111  
PB University of Ljubljana, Biotechnical faculty, Dep. of biology  
PY 2009  
TI THE EVALUATION OF THE EFFECT OF SEWAGE TREATMENT PLANT CELJE ON THE RIVER SAVINJA REGARDING LONGITUDINAL CHANGES OF MACROINVERTEBRATE COMMUNITY  
DT Graduation thesis (University studies)  
NO XII, 82 p., 7 tab., 27 fig., 3 ann., 48 ref.  
LA sl  
AL sl / en  
AB The aim of our research was to evaluate effect of Central sewage treatment plant Celje (CSPC) on the river Savinja. We assumed that because of its nutrient content, discharge of CSPC causes changes in the number, diversity and structure of macroinvertebrate community in the river. We measured physical, chemical and biological parameters and sampled macroinvertebrates three times at three different locations (location Polule upstream of the CSPC and locations Tremerje and Laško downstream of the CSPC). We determined 80 taxa of macroinvertebrates. The values of Shannon – Wiener index of diversity showed high diversity at all three researched locations. Values were the highest at location Tremerje, where also the most taxa were present. High diversity at location Tremerje was probably consequence of diverse substratum in the river bed. Saprobic index (SI) was low due to high aeration of water. Referring to values of SI, we can classify the studied part of river Savinja to the 1. – 2. quality class. Value of SI was slightly increasing down the stream (from Polule to Laško). Analysis of macroinvertebrate functional feeding groups showed dominance of detritivores, followed by grazers, miners, filtrators and predators. Cluster analysis of data showed that temporal differences were bigger than spatial differences. Seasonal impacts affected macroinvertebrate community more than environmental variables at different locations.

## KAZALO VSEBINE

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA	III
KEY WORD DOCUMENTATION	IV
KAZALO VSEBINE	V
KAZALO PREGLEDNIC	VII
KAZALO SLIK	VIII
KAZALO PRILOG	XI
OKRAJŠAVE IN SIMBOLI	XII
<b>1 UVOD.....</b>	<b>1</b>
<b>2 PREGLED OBJAV.....</b>	<b>3</b>
2.1 TEKOČE VODE.....	3
<b>2.1.1 Splošne značilnosti tekočih voda.....</b>	<b>3</b>
<b>2.1.2 Samočistilni proces in kroženje snovi v vodotoku.....</b>	<b>4</b>
2.1.2.1 Samočistilni proces.....	4
2.1.2.2 Kroženje dušika v vodotoku.....	5
2.1.2.3 Kroženje fosforja v vodotoku.....	6
2.2 SAVINJA.....	7
2.3 ČISTILNE NAPRAVE.....	9
<b>2.3.1 Primarna stopnja čiščenja.....</b>	<b>9</b>
<b>2.3.2 Sekundarna stopnja čiščenja.....</b>	<b>9</b>
2.3.2.1 Aerobno biološko čiščenje.....	9
2.3.2.1.1 Čistilne naprave z razpršeno biomaso.....	9
2.3.2.1.2 Čistilne naprave s priraslo biomaso.....	10
2.3.2.2 Anaerobno biološko čiščenje.....	10
<b>2.3.3 Terciarna stopnja čiščenja.....</b>	<b>10</b>
<b>2.3.4 Centralna čistilna naprava Celje.....</b>	<b>11</b>
2.4 VELIKI VODNI NEVRETENČARJI ALI MAKROINVERTEBRATI.....	12
<b>2.4.1 Sistematska delitev velikih vodnih nevretenčarjev.....</b>	<b>12</b>
2.4.1.1 Mollusca: Gastropoda – polži.....	12
2.4.1.2 Mollusca: Bivalvia – školjke.....	12
2.4.1.3 Annelida: Oligochaeta – maloščetinci.....	13
2.4.1.4 Anellida: Hirudinea – pijavke.....	13
2.4.1.5 Arachnida: Hydracarina – vodne pršice.....	13
2.4.1.6 Crustacea: Amphipoda – postranice.....	13
2.4.1.7 Crustacea: Isopoda – enakonožci.....	14
2.1.4.8 Insecta: Ephemeroptera – enodnevnice.....	14
2.1.4.9 Insecta: Plecoptera – vrbnice.....	14
2.1.4.10 Insecta: Odonata – kačji pastirji.....	15
2.1.4.11 Insecta: Heteroptera – stenice.....	15
2.1.4.12 Insecta: Coleoptera – hrošči.....	15
2.1.4.13 Insecta: Trichoptera – mladoletnice.....	16
2.1.4.14 Insecta: Diptera – dvokrilci.....	16
2.4.1.1.1 Družina Simuliidae – črne mušice.....	16
2.4.1.1.2 Družina Chironomidae – trzače.....	17

<b>2.4.2</b>	<b>Makroinvertebrati kot indikatorji kakovosti vodnega okolja.....</b>	<b>17</b>
<b>2.5</b>	<b>VPLIV OKOLJSKIH DEJAVNIKOV NA ZDRUŽBO</b>	
	<b>MAKROINVERTEBRATOV.....</b>	<b>19</b>
<b>2.5.1</b>	<b>Vpliv abiotskih dejavnikov na združbo makroinvertebratov.....</b>	<b>19</b>
2.5.1.1	Vodni tok.....	19
2.5.1.1.1	Vpliv vodnega toka na makroinvertebrate.....	19
2.5.1.2	Substrat.....	20
2.5.1.2.1	Vpliv substrata na makroinvertebrate.....	20
2.5.1.3	Temperatura.....	21
2.5.1.3.1	Vpliv temperature na makroinvertebrate.....	21
2.5.1.4	Kisik.....	21
2.5.1.4.1	Vpliv vsebnosti kisika na makroinvertebrate.....	22
2.5.1.5	Kemizem voda.....	22
2.5.1.5.1	Elektroprevodnost.....	22
2.5.1.5.2	pH.....	23
2.5.1.5.3	Suspendirane snovi.....	23
2.5.1.5.4	Nitrati in fosfati.....	23
<b>2.5.2</b>	<b>Vpliv biotskih dejavnikov na združbo makroinvertebratov.....</b>	<b>24</b>
<b>3</b>	<b>MATERIAL IN METODE.....</b>	<b>26</b>
3.1	IZBIRA VZORČNIH MEST IN OBDOBJE VZORČENJ.....	26
3.2	OPIS VZORČNIH MEST.....	27
3.2.1	Vzorčno mesto Polule.....	27
3.2.2	Vzorčno mesto Tremerje.....	29
3.2.3	Vzorčno mesto Laško.....	31
3.3	MERITVE HIDROMORFOLOŠKIH PARAMETROV.....	33
3.3.1	Hitrost vodnega toka na površini in pretok.....	33
3.3.2	Substrat.....	34
3.4	MERITVE FIZIKALNIH IN KEMIJSKIH PARAMETROV.....	35
3.4.1	Temperatura, koncentracija raztopljenega kisika in nasičenost vode s kisikom.....	35
3.4.2	Elektroprevodnost in pH.....	35
3.4.3	Nitrati.....	35
3.4.4	Fosfor.....	36
3.4.5	Skupne suspendirane snovi.....	36
3.5	BIOLOŠKE ANALIZE.....	37
3.5.1	Določanje količine klorofila <i>a</i> .....	37
3.5.2	Vzorčenje makroinvertebratov.....	37
3.5.3	Določanje makroinvertebratov.....	38
3.5.4	Statistične analize.....	38
3.5.4.1	Deleži osebkov posameznih višjih taksonomskih skupin.....	38
3.5.4.2	Prehranske skupine.....	39
3.5.4.3	Shannon – Wienerjev diverzitetni indeks.....	39
3.5.4.4	Saprobni indeks.....	39
3.5.4.5	Klastrska analiza združbe makroinvertebratov.....	40
<b>4</b>	<b>REZULTATI.....</b>	<b>42</b>
4.1	MERITVE ABIOTSKIH PARAMETROV.....	42
4.1.1	Hitrost vodnega toka.....	42
4.1.2	Anorganski in organski substrat.....	43

<b>4.1.3</b>	<b>Temperatura vode.....</b>	<b>46</b>
<b>4.1.4</b>	<b>Koncentracija raztopljenega kisika in nasičenost vode s kisikom.....</b>	<b>47</b>
<b>4.1.5</b>	<b>Elektroprevodnost.....</b>	<b>49</b>
<b>4.1.6</b>	<b>pH.....</b>	<b>50</b>
<b>4.1.7</b>	<b>Skupne suspendirane snovi (TSS).....</b>	<b>51</b>
<b>4.1.8</b>	<b>Koncentracija nitratnih ionov (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>).....</b>	<b>52</b>
<b>4.1.9</b>	<b>Koncentracija ortofosfatnih ionov (PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>).....</b>	<b>53</b>
<b>4.2</b>	<b>BIOLOŠKE ANALIZE.....</b>	<b>54</b>
<b>4.2.1</b>	<b>Količina klorofila <i>a</i>.....</b>	<b>54</b>
<b>4.2.2</b>	<b>Analiza sestave združbe makroinvertebratov.....</b>	<b>55</b>
<b>4.2.3</b>	<b>Shannon – Wienerjev diverzitetni indeks.....</b>	<b>59</b>
<b>4.2.4</b>	<b>Saprobní indeks.....</b>	<b>61</b>
<b>4.2.5</b>	<b>Deleži prehranskih skupin.....</b>	<b>62</b>
<b>4.2.6</b>	<b>Klastrska analiza združbe makroinvertebratov.....</b>	<b>64</b>
<b>5</b>	<b>RAZPRAVA IN SKLEPI.....</b>	<b>66</b>
<b>5.1</b>	<b>RAZPRAVA.....</b>	<b>66</b>
<b>5.2</b>	<b>SKLEPI.....</b>	<b>75</b>
<b>6</b>	<b>POVZETEK.....</b>	<b>77</b>
<b>7</b>	<b>LITERATURA.....</b>	<b>79</b>
	<b>ZAHVALA</b>	
	<b>PRILOGE</b>	

## KAZALO PREGLEDNIC

	str.
<b>Preglednica 1:</b> Učinek čiščenja Centralne čistilne naprave Celje v letu 2007 (povzeto po <a href="http://www.vo-ka-celje.si/podjetje/dejavnost/cistilna_Celje.htm">www.vo-ka-celje.si/podjetje/dejavnost/cistilna_Celje.htm</a> ).....	11
<b>Preglednica 2:</b> Vrednost koeficienta $K_p$ v odvisnosti od globine vode (Vir: Urbanič in Toman, 2003) .....	33
<b>Preglednica 3:</b> Razvrstitev anorganskega substrata po velikosti delcev (prilagojeno po AQEM 2002) .....	34
<b>Preglednica 4:</b> Razvrstitev organskih substratov (prilagojeno po AQEM 2002).....	34
<b>Preglednica 5:</b> Kakovost vodnega okolja v odvisnosti od vrednosti Shannon – Wienerjevega diveritetnega indeksa (po Wilhm & Dorris, 1966, v: Washington 1984) ..	39
<b>Preglednica 6:</b> Razvrstitev vodotokov v kakovostne razrede glede na vrednosti saprobnega indeksa (po Sledečku, 1973).....	40
<b>Preglednica 7:</b> Deleži organskega substrata na treh vzorčnih mestih na reki Savinji ob treh različnih časih vzorčenja .....	44



## KAZALO SLIK

	str.
<b>Slika 1:</b> Shema popolnega biološkega samočiščenja (puščice predstavljajo kroženje snovi) .....	5
<b>Slika 2:</b> Ortofoto posnetek z označeno lokacijo vzorčnega mesta Polule .....	27
(Vir: <a href="http://gis.arso.gov.si/atlasokolja/profile.aspx?id=Atlas_Okolja_AXL@Arso">http://gis.arso.gov.si/atlasokolja/profile.aspx?id=Atlas_Okolja_AXL@Arso</a> ).....	27
<b>Slika 3:</b> Vzorčno mesto Savinja, Polule.....	28
<b>Slika 4:</b> Ortofoto posnetek z označeno lokacijo vzorčnega mesta Tremerje in Centralne čistilne naprave Celje (CCNC) (Vir: <a href="http://gis.arso.gov.si/atlasokolja/profile.aspx?id=Atlas_Okolja_AXL@Arso">http://gis.arso.gov.si/atlasokolja/profile.aspx?id=Atlas_Okolja_AXL@Arso</a> ).....	29
<b>Slika 5:</b> Vzorčno mesto Savinja, Tremerje. ....	30
<b>Slika 6:</b> Ortofoto posnetek z označeno lokacijo vzorčnega mesta Laško.....	31
(Vir: <a href="http://gis.arso.gov.si/atlasokolja/profile.aspx?id=Atlas_Okolja_AXL@Arso">http://gis.arso.gov.si/atlasokolja/profile.aspx?id=Atlas_Okolja_AXL@Arso</a> ).....	31
<b>Slika 7:</b> Vzorčno mesto Savinja, Laško .....	32
<b>Slika 8:</b> Po dodatku reagentov za določanje koncentracije nitratnih ionov se vzorci vode, ki vsebujejo nitrate, obarvajo rumeno .....	36
<b>Slika 9:</b> Rezultati meritev hitrosti vodnega toka na površini na treh vzorčnih mestih na reki Savinji ob treh različnih datumih vzorčenja .....	42
<b>Slika 10:</b> Deleži anorganskega substrata na treh vzorčnih mestih na reki Savinji ob treh različnih datumih vzorčenja .....	42
<b>Slika 12:</b> Rezultati meritev temperature vode na treh vzorčnih mestih na reki Savinji ob treh različnih datumih vzorčenja .....	46
<b>Slika 13:</b> Rezultati meritev koncentracije kisika na treh vzorčnih mestih na reki Savinji ob treh različnih datumih vzorčenja .....	47
<b>Slika 14:</b> Rezultati meritev temperature vode na treh vzorčnih mestih na reki Savinji ob treh različnih datumih vzorčenja .....	47
<b>Slika 15:</b> Rezultati meritev elektroprevodnosti na treh vzorčnih mestih na reki Savinji ob treh različnih datumih vzorčenja .....	49
<b>Slika 16:</b> Rezultati meritev pH na treh vzorčnih mestih na reki Savinji ob treh različnih datumih vzorčenja.....	50
<b>Slika 17:</b> Rezultati meritev skupnih suspendiranih snovi na treh vzorčnih mestih na reki Savinji ob treh različnih datumih vzorčenja .....	51
<b>Slika 18:</b> Rezultati meritev koncentracije nitratnih ionov ( $\text{NO}_3^-$ ) na treh vzorčnih mestih na reki Savinji ob treh različnih datumih vzorčenja.....	52
<b>Slika 19:</b> Koncentracija klorofila <i>a</i> v perifitonu na treh vzorčnih mestih na reki Savinji ob treh različnih datumih vzorčenja .....	54
<b>Slika 20:</b> Delež osebkov posameznih višjih taksonomskih skupin na treh vzorčnih mestih na reki Savinji ob treh različnih datumih vzorčenja .....	55
<b>Slika 23:</b> Izračunane vrednosti Shannon – Wienerjevega diverzitetnega indeksa na podlagi upoštevanja taksonov (vrst in rodov) na treh vzorčnih mestih na reki Savinji ob treh različnih datumih vzorčenja .....	59
<b>Slika 24:</b> Izračunane vrednosti Shannon – Wienerjevega diverzitetnega indeksa na podlagi upoštevanja nižjih taksonov (vrst in rodov) ter družin na treh vzorčnih mestih na reki Savinji ob treh različnih datumih vzorčenja.....	59
<b>Slika 25:</b> Vrednosti saprobnega indeksa na treh vzorčnih mestih na reki Savinji ob treh različnih datumih vzorčenja.....	61

<b>Slika 26:</b> Deleži prehranskih skupin na treh vzorčnih mestih na reki Savinji ob treh različnih datumih vzorčenja.....	62
<b>Slika 27:</b> Dendrogram različnosti devetih vzorcev makroinvertebratov, nabranih na treh vzorčnih mestih na reki Savinji ob treh različnih datumih vzorčenja .....	64

## KAZALO PRILOG

**Priloga A:** Zemljevid vzorčnih mest in Centralne čistilne naprave Celje (CČNC) na reki Savinji (Vir:[http://gis.arso.gov.si/atlasokolja/profile.aspx?id=Atlas\\_Okolja\\_AXL@Arso](http://gis.arso.gov.si/atlasokolja/profile.aspx?id=Atlas_Okolja_AXL@Arso))

**Priloga B:** Izmerjene vrednosti hidroloških in fizikalno - kemijskih parametrov ter klorofila *a* na vzorčnih mestih Polule, Tremerje in Laško na reki Savinji 18.7.2007, 14.11.2007 in 27.4.2008

**Priloga C:** Seznam taksonov in številčnost makroinvertebratov, ulovljenih na vzorčnih mestih Polule, Tremerje in Laško na reki Savinji 18.7.2007, 14.11.2007 in 27.4.2008

## OKRAJŠAVE IN SIMBOLI

AQEM	Assessment System for the Ecological Quality of Stream and Rivers throughout Europe using Benthic Macroinvertebrates
BPK <sub>5</sub>	biokemijska potreba po kisiku v petih dneh
CH <sub>4</sub>	metan
CČNC	Centralna čistilna naprava Celje
CSPC	Central sewage treatment plant Celje
ČN	čistilna naprava
G	indikatorska vrednost taksona
H'	diverziteta
H <sub>2</sub>	vodik
K <sub>p</sub>	koeficient odvisnosti površinske hitrosti in globine vode
KPK	kemijska potreba po kisiku
PE	populacijski ekvivalent
s	saprobna vrednost taksona
SI	saprobni indeks
VM	vzorčno mesto

## 1 UVOD

Vodotoke človek že od nekdaj izkorišča za vir pitne vode, transportne poti, ob bregovih rek sadi poljščine, vodo uporablja za namakanje in nenazadnje, reke človeku predstavljajo tudi vir energije. Do danes se je človekov vpliv na reke stopnjeval do te mere, da že težko najdemo vodotok, ki še ni bil deležen vsaj kakšnega od človekovih posegov. Človekov vpliv na vodotoke obsega spreminjanje oblike rečne struge, zajezitve in gradnje zadrževalnikov, kanaliziranje struge, odvzem vode za namakanje, povečevanje količine vode zaradi hitrejšega odtekanja, izpuste segrelih hladilnih vod, povečanje količine suspendiranih snovi, večanje količine organskih snovi v vodotoku, povečani vnosi hranilnih snovi, prisotnost toksičnih snovi, zakisanje ipd. (Linegaard, 1995).

V naši raziskavi smo se osredotočili na povečanje količine hranilnih snovi; dušika in fosforja, v vodotoku. Naravno se hranilne snovi v tekoče vode vnašajo s sproščanjem iz matične podlage in prsti, s precipitacijo, podtalnico, spiranjem zemljišč, vezavo atmosferskega dušika in razgradnjo organskih snovi (Toman, 2008; Urbanič in Toman, 2003; Wetzel, 2001). Zaradi vpliva človeka se danes večje količine hranil v vodotoke vnašajo s spiranjem gnojnih kmetijskih zemljišč, odpadnimi vodami in izpusti čistilnih naprav (Linegaard, 1995).

Povečana količina hranil, še posebej dušika in fosforja, ima velik vpliv na vodne združbe, saj sta elementa v vodnih ekosistemih limitirajoča dejavnika primarne produkcije, ki jo vršijo višje rastline, alge in cianobakterije (Giller in Malmqvist, 1998). Povečana količina hranil povzroči intenzivnejšo fotosintezo, zaradi česar je podnevi v vodi prisotna visoka koncentracija raztopljenega kisika (Parr in Mason, 2003 cit. po Mason, 2002). Ponoči zaradi intenzivnega dihanja pride do močnega upada koncentracij kisika, ki se naslednji dan lahko spet dvigne (Parr in Mason, 2003 cit. po Mason, 2002). Velika količina odmrle organske snovi in nizke koncentracije kisika povzročijo tudi spremembe v združbi velikih vodnih nevretenčarjev in v združbi rib (Parr in Mason, 2003 cit. po Mason, 2002).

Za ovrednotenje kakovosti voda je Evropska skupnost sprejela Vodno direktivo, v skladu s katero ocenjujemo kemijsko in ekološko stanje vodnega telesa. Kemijsko stanje določamo z meritvami fizikalno-kemijskih parametrov, metodologija za oceno ekološkega stanja pa je v Sloveniji še v pripravi (Dobnikar Tehovnik in sod., 2008). Ekološko stanje se ocenjuje na podlagi bioloških elementov kakovosti; fitoplanktona, fitobentosa in makrofitov, rib ter bentoških nevretenčarjev (Direktiva evropskega parlamenta..., 2000).

Spremembe v združbi velikih vodnih nevretenčarjev ali makroinvertebratov odražajo vpliv biotskih in abiotskih dejavnikov in so kazalnik celotnih ekoloških razmer posameznega vzorčnega mesta, zato se makroinvertebrati pogosto uporabljajo v ocenah kakovosti vodnega ekosistema (Murphy in Davy – Bowker, 2005; Urbanič in Toman, 2003).

Centralna čistilna naprava Celje je začela obratovati leta 2004 in kot klasična biološka čistilna naprava odstranjuje organsko breme brez terciarnega čiščenja ([www.vo-ka-celje.si/podjetje/dejavnost/cistilna\\_Celje.htm](http://www.vo-ka-celje.si/podjetje/dejavnost/cistilna_Celje.htm)). V raziskavi smo želeli ovrednotiti vpliv Centralne čistilne naprave Celje na reko Savinjo z analizo makroinvertebratske združbe.

Namen raziskave je bil ugotoviti spremembe v vrstni pestrosti in številčnosti združbe makroinvertebratov v strugi reke Savinje pred in za iztokom Centralne čistilne naprave Celje. Delovna hipoteza je bila, da iztok iz Centralne čistilne naprave Celje zaradi vsebnosti hranil vpliva na prisotno združbo velikih vodnih nevretenčarjev tako, da povzroča spremembe v pestrosti in strukturi združbe, spremembe v številčnosti taksonov in v odsotnosti občutljivih vrst.

Da bi ovrednotili vpliv čistilne naprave, smo na reki Savinji določili tri vzorčna mesta; eno pred iztokom iz čistilne naprave in dve vzorčni mesti za njim. Na vzorčnih mestih smo vzorčili makroinvertebrate in izmerili ter izračunali hidrološke, fizikalne, kemijske in biološke parametre.

## 2 PREGLED OBJAV

### 2.1 TEKOČE VODE

#### 2.1.1 Splošne značilnosti tekočih voda

Tekoče vode so edinstven in dinamičen sistem. Giller in Malmqvist (1998) sta izpostavila osem lastnosti, ki ločijo tekoče vode od ostalih vodnih okolij. To so:

- enosmernost vodnega toka,
- linearna oblika vodnega telesa,
- nestabilna morfologija kanala in bregov,
- odprtost ekosistema,
- visoka stopnja prostorske in časovne heterogenosti na vseh nivojih,
- hierarhična organizacija ekosistema,
- velika variabilnost med posameznimi vodotoki,
- edinstvena življenjska združba.

Tekoče vode po velikosti delimo na veletoke, reke, potoke, studence in vodo v produ. Po stalnosti ločimo trajna vodna telesa, ki imajo stalno vodo in občasna vodna telesa, ki se z vodo napolnijo le občasno (Rejic, 1988).

Rečni režim je redno, povprečno nihanje vodnega stanja v reki med letom. Razlikujemo tri temeljne skupine rečnih režimov: enostavni rečni režim, pri katerem na nihanje vodostaja vpliva le en podnebni dejavnik (ledeniški, snežni ali dežni), zaradi česar imajo take reke visok vodostaj le enkrat letno, mešani rečni režim pri katerih vplivata na vodostaj reke dva klimatska dejavnika tako, da ima reka visok vodostaj dvakrat letno (snežno – dežni ali dežno – snežni) in kombinirani rečni režim, ki je značilen za velike reke, pri katerih se klimatske in reliefne razmere spreminjajo ob toku navzdol (Kunaver s sod., 1998).

Dno doline, po kateri reka teče imenujemo rečna struga. Struga ima lahko stalno obliko (npr. v kanjonih) ali pa se njena oblika spreminja (na prodnih naplavinah in ravninah). Struga ima dva bregova, ki se nadaljujeta v poplavno ravnico. Ta je hidrološko povezana z vodo v sami strugi (Wetzel, 2001).

Iz padavin, ki padejo na površje se razvije rečna mreža. Celotno površino s katere se padavine stekajo v rečni sistem imenujemo porečje. Reka s svojimi pritoki tvori rečje ali rečni sistem (Kunaver s sod., 1998). Po Horton – Štählerjevi metodi lahko hierarhično klasificiramo vodotoke v rečnem sistemu. 1. red vodotokov predstavljajo najmanjši permanentni vodotoki v rečnem sistemu. Dva vodotoka istega reda se nato združita v vodotok višjega reda (Wetzel, 2001).

## 2.1.2 Samočistilni proces in kroženje snovi v vodotoku

Vodni ekosistemi so odprti in potrebujejo stalen vnos energije od zunaj (Wetzel, 2001). Bistvenega pomena za vodotoke so štirje glavni viri energije; sončevo sevanje (podpira primarno produkcijo v samem vodotoku), organske snovi, ki jih proizvaja obrežni ekosistem, organske snovi, ki jih reka pridobi s poplavljanjem kopenskih ekosistemov in snovi, ki jih vodni tok prinese iz višje ležečih predelov vodotoka (Giller in Malmqvist, 1998).

Pretok energije v prehranjevalnem zaporedju poteka z izmenjevanjem snovi in razgradnjo kompleksnih organskih snovi v enostavne anorganske, ki jih imenujemo hranila (Tarman, 1992). Koncentracija hranil v celinskih vodah močno niha zaradi velikega vpliva vnosa iz zaledja. V vodnih ekosistemih so hranila, še posebno dušik in fosfor, limitirajoč dejavnik primarne produkcije, ki jo vršijo višje rastline, alge in cianobakterije. V lotičnih vodnih okoljih, še posebno v manjših vodotokih, kjer je senčenje večje, igra pomembno vlogo tudi svetloba (Giller in Malmqvist, 1998). Povečane vsebnosti dušika in fosforja v vodotokih predstavljajo nevarnost za evtrofijo. V tekočih vodah govorimo o latentni evtrofnosti; ta je prisotna, ko je vsebnost hranil povišana in zadrževalni čas krajši. Evtrofnost se tako pojavi šele takrat, ko se vodni tok upočasni (Toman, 2008).

### 2.1.2.1 Samočistilni proces

Reke in jezera tudi pri močni organski in anorganski obremenitvi ne ostanejo brez življenja, saj v njih potekajo samočistilni procesi. To so mehanizmi, ki v vodnem telesu povezujejo vse dejavnike in okoliščine, bistveno sodelujejo pri ravnotežnostnem optimumu in v katerih potekajo energetske in snovne spremembe (Rejic, 1988).

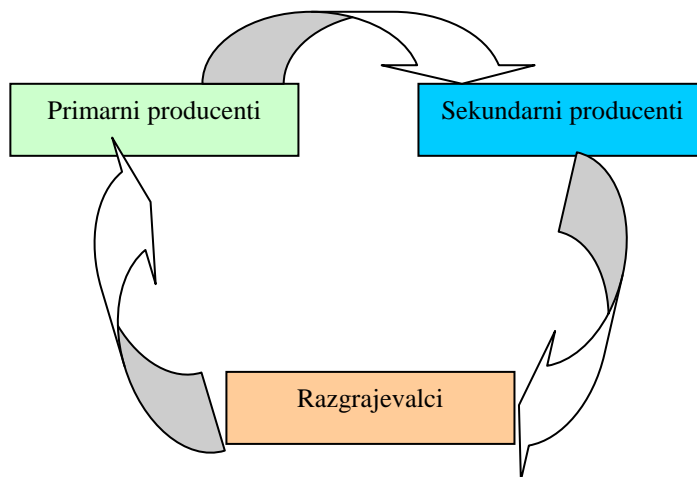
Čeprav je samočiščenje enotno dogajanje, lahko ločeno obravnavamo njegov nebiološki in biološki del.

Nebiološki del samočiščenja zajema odstranjevanje nerazgradljivih snovi, kot je npr. nerazgradljiva kalnost med povišanimi vodostaji. Z upadanjem vodostaja se zmanjšuje tudi hitrost vodnega toka, zaradi česar se delci počasi usedajo. S plavljenjem in usedanjem se delci pomikajo po toku navzdol, ob tem se spreminjajo njihove kemijske lastnosti in zrnatost (Rejic, 1988).

Biološki del samočiščenja je najpomembnejši nosilec kroženja snovi in pretoka energije v vodnem okolju. Vključuje aktivnost vseh prisotnih združb: razgrajevalcev (bakterije in plesni), primarnih producentov (alge in druge vodne rastline) in sekundarnih producentov (živali) (Toman, 1987). Primarni producenti z uporabo sončeve energije in anorganskih spojin (hranil) proizvajajo organske snovi, ki jih vgrajujejo v lastno biomaso. Sekundarni producenti se hranijo z ostalimi vodnimi organizmi, njihovimi ostanki in iztrebki. Med prebavo organske snovi vgrajujejo v lastno biomaso, ostanek iztrebijo in izločijo. Razgrajevalci konzumirajo ostanke, izločke in iztrebke. Vmesne proizvode razgradnje vgradijo v lastno biomaso, z raztopljenimi vmesnimi produkti se hranijo primarni in sekundarni producenti. Preostanek se razgradi do anorganskih spojin (proces



mineralizacije), katere kot hranila porabljajo primarni producenti, ki jih s pomočjo sončeve energije vgrajujejo v lastno biomaso. Ko je krog sklenjen proces imenujemo popolno biološko čiščenje. To se odvija le v aerobnem okolju, ko sodelujejo vse tri skupine. Ob odsotnosti sončevega sevanja (npr. v podzemnih vodah) in ob odsotnosti kisika (v anoksičnih usedlinah) je odsotna ena izmed treh skupin, potrebnih za popolno samočiščenje – to so primarni producenti. V takšnih pogojih govorimo o nepopolnem biološkem samočiščenju (Rejic, 1988).



**Slika 1:** Shema popolnega biološkega samočiščenja (puščice predstavljajo kroženje snovi)

#### 2.1.2.2 Kroženje dušika v vodotoku

Dušik se vnaša v vodne ekosisteme z vezavo atmosferskega dušika, vnosom iz podtalnice in izvirov, spiranjem zemljišč ter razgradnjo z dušikom bogatih organskih snovi (Toman, 2008). Zaradi človekovega delovanja je danes prisoten velik vnos dušika s precipitacijo, spiranjem kmetijskih zemljišč, odpadnimi vodami in izpusti čistilnih naprav (Linegaard, 1995). Dušik je v vodotoku prisoten v raztopljeni in neraztopljeni oz. partikulatni obliki. Anorganski raztopljeni dušik se pojavlja kot amonij ( $\text{NH}_4^+$ ) in nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ). Ta dva iona organizmi neposredno asimilirajo. Kroženje dušika v vodnem telesu poteka z naslednjimi procesi (Wetzel, 2001):

- amonifikacija: je razgradnja dušikovih spojin do amonijevega iona (amonij se v vodno telo poleg amonifikacije vnaša tudi z bakterijsko fiksacijo plinastega dušika),
- nitrifikacija: poteka v aerobnem okolju in je bakterijska pretvorba amonijevega iona v nitratni ion, ki so ga organizmi sposobni asimilirati,
- denitrifikacija: poteka v anoksičnih usedlinah, v kateri bakterije pretvarjajo nitrat v elementarni dušik, ki se raztaplja in lahko prehaja v ozračje.

### 2.1.2.3 Kroženje fosforja v vodotoku

V vodne ekosisteme se fosfor sprošča iz matične podlage in prsti, v katerih je prisoten le v majhnih količinah. Zaradi njegovih majhnih količin v naravi in ker ga rastline zelo dobro privzemajo, je v lotičnih ekosistemih naravno prisoten le v majhnih količinah. Prav zaradi njegovih nizkih koncentracij je fosfor v vodnih ekosistemih dejavnik, ki limitira produkcijo (Wetzel, 2001). Vendar je fosfor danes zaradi človekovega delovanja (vnos s padavinami, spiranjem kmetijskih zemljišč, odpadnimi vodami in izpusti čistilnih naprav) v vodnih ekosistemih prisoten v večjih količinah (Linegaard, 1995).

Fosfor je v vodotoku prisoten v raztopljeni in partikulatni obliki kot: raztopljen anorganski fosfor ali ortofosfat ( $\text{PO}_4^{3-}$ ), raztopljen organski fosfor in neraztopljen organski fosfor v organizmih in sedimentih (Wetzel, 2001). Ortofosfat lahko asimilirajo primarni producenti in mikroorganizmi. Preko njih fosfor prehaja po prehranskih verigah, na koncu katerih se pojavlja kot raztopljen in partikulatni organski fosfor. Raztopljen organski fosfor se pretvarja spet v ortofosfat (Toman, 2008).

## 2.2 SAVINJA

Reka Savinja izvira v Kamniško – Savinjskih Alpah, natančneje v Logarski dolini, kjer tvori znameniti slap Rinka pod Okrešljem. Ko zapusti Logarsko dolino, Savinja še nekaj časa teče po ozkih in globokih alpskih dolinah, dokler se pri Ljubnem ravnica ne razširi. Večji pritoki Savinje na ozemlju Zgornje Savinjske doline so Dreta, Ljubija, Ljubijica, Lučnica, Mozirnica, Rečica in Trnava, ki imajo zaradi močnih padavin in hitrega odtoka padavinske vode izrazit hudourniški značaj (Perko in Orožen Adamič, 1998). Našteti pritoki odmakajo Menino, Dobroveljsko planoto in Golte (Voglar, 1996). Posledično so na območju Zgornje Savinjske doline dokaj pogoste hude poplave. Med Letušem in Celjem je Savinja nasula in izoblikovala obsežen vršaj, ki ga imenujemo Savinjska ravan. V zahodnem delu poteka struga prečno na ravnino, po izlivu Bolske, ki je njen največji desni pritok, se njena struga preusmeri proti vzhodu. Desni breg Savinje je tu naslonjen na visoko teraso. Bolska odmaka severni del Posavskega hribovja med Trojanami in Mrzlico. Vzoredno s Savinjo tečeta v osrednjem delu doline mlinska potoka Letuška in Podvinska Struga. Glavna leva pritoka Savinje v tem predelu sta Paka in Ložnica, ki odmakata Velenjsko in Ložniško hribovje. Na skrajnem vzhodnem obrobju ravnine dobi Savinja še Voglajno z vodnato in hudourniško Hudinjo. Večina pritokov Savinje v Savinjski ravni ima hudourniške značilnosti. Savinja za Celjem teče v ozki in globoki dolini čez Posavsko hribovje. Zanimivo je, da reka teče prečno na potek posavskih gub, kar pomeni da reka na tem odseku prebija dva mogočna apneniška hrbta. Dolina se razširi spet v Laškem, kjer si reka vrezuje strugo v manj odporne usedline (Perko in Orožen Adamič, 1998). Po 92,5 km se Savinja pri Zidanem Mostu izliva v reko Savo, kot njen levi pritok (Voglar, 1996). Porečje Savinje skupno meri 1858 km<sup>2</sup> (Perko in Orožen Adamič, 1998).

Večji del porečja Savinje je iz apnenca in dolomita, iz katerih voda priteka tudi v obliki številnih kraških izvirov, ki se kasneje izlivajo v Savinjo (Voglar, 1996).

Savinja ima dežno – snežni režim. Najvišje vode ima novembra in maja, najnižje vodostaje pa poleti in pozimi (Perko in Orožen Adamič, 1998). Je vodnata reka, ki odmaka območja z obilnimi padavinami. Njen srednji letni pretok na vodomerni postaji Laško je 41,50 m<sup>3</sup>/s (Bat, 2004). Je hudourniška reka s povprečnim strmcem 5,7 ‰ (v zgornjem toku do Ljubnega ob Savinji 11,6 ‰, med Letušem in Celjem med 3,9 ‰ in 2,5 ‰) (Voglar, 1996).

Zaradi pomanjkanja vode ob sušah in varstva pred poplavami so ob Savinji zgrajeni številni zadrževalniki in nasipi (Perko in Orožen Adamič, 1998). Na Savinji pri Celju je bila izvedena ena najboljšejših melioracij v slovenskem merilu (Bat in Zych, 2004). Nekoč so bili ob Savinji in pritokih številni obrati na vodni pogon, kot so žage in mlini, zaradi katerih so reko na številnih mestih zaježili, ob njej pa speljali umetno strugo (Voglar, 1996).

Po oceni kakovosti površinskih vodotokov s saprobnim indeksom je Savinja uvrščena v 1. – 2. kakovostni razred v zgornjem toku (merilno mesto Luče) in v 2. kakovostni razred na nižjih merilnih mestih (Rečica, Medlog, Celje in Tremerje). Meritve kemijskega stanja v

Tremerjah med leti 2002 – 2005 so pokazale, da je reka Savinja v dobrem kemijskem stanju (Dobnikar Tehovnik in sod., 2008).

## 2.3 ČISTILNE NAPRAVE

V čistilnih napravah čiščenje odpadnih voda poteka na osnovi fizikalnih, biotskih in kemijskih procesov.

### 2.3.1 Primarna stopnja čiščenja

Primarna stopnja obsega predvsem mehanske procese odstranjevanja delcev s precejanjem in usedanjem. Voda se najprej preceja skozi rešetke, ki zadržijo večje organske delce, ki se odlagajo na odložišče odpadkov. V usedalniku se nato usedajo delci velikosti nad 0,1 mm. Tu pride do razgradnje do 30 % organskih snovi, prisotnih v odpadni vodi (Urbanič in Toman, 2003).

### 2.3.2 Sekundarna stopnja čiščenja

Ta stopnja zajema biokemijske procese razgradnje, ki vodijo k zmanjšanju količine organskih snovi v vodi. Razlikujemo aerobno in anaerobno biološko čiščenje, glede na to, ali mikroorganizmi delujejo v prisotnosti ali odsotnosti kisika (Urbanič in Toman, 2003).

#### 2.3.2.1 Aerobno biološko čiščenje

Aerobno biološko čiščenje posnema naravni biološki del samočiščenja v vodotokih, ki je popolno ob prisotnosti treh bistvenih komponent; primarnih producentov, sekundarnih producentov in razgrajevalcev. V čistilnih napravah na sekundarni stopnji čiščenja so odsotni primarni producenti, zato je čiščenje nepopolno. Bakterije ob prisotnosti kisika organske snovi razgrajujejo do nizkomolekularnih organskih snovi, ki nato oksidirajo do anorganskih. Tako je voda očiščena organskih snovi, vsebuje pa hranila. Izpust iz čistilne naprave, ki vsebuje hranila lahko povzroči evtrofnost in s tem sekundarno onesnaženje (Urbanič in Toman, 2003).

Aerobno biološko čiščenje izvajajo organizmi, ki jih imenujemo aktivna biomasa. Glede na tipe biomase razlikujemo dva tipa čistilnih naprav; naprave z razpršeno biomaso in naprave s pritrjeno biomaso (Urbanič in Toman, 2003).

##### 2.3.2.1.1 Čistilne naprave z razpršeno biomaso

Razpršena biomasa, ki se imenuje aktivno blato, v čistilni napravi posnema dogajanje v prosti vodi, z razliko, da je koncentracija organizmov tukaj močno povečana. Biološke čistilne naprave z razpršeno biomaso so sestavljene iz prezračevalnika in sekundarnega usedalnika. V prezračevalniku mikroorganizmi združbe aktivnega blata biokemijsko razgrajujejo organske snovi. V sekundarnem usedalniku se aktivno blato ločuje od očiščene vode (Urbanič in Toman, 2003).

Osnovni del združbe aktivnega blata je kosem, ki ga oblikujejo bakterijske populacije in poseljujejo organizmi spremljajoče združbe. Intersticijsko tekočino med kosmi poseljujejo razpršene bakterije, prosto plavajoči bičkarji, migetalkarji, kotačniki in nekateri drugi mnogoceličarji. Združbo aktivnega blata sestavljata dve osnovni skupini; razgrajevalci in sekundarni producenti. Razgrajevalci biokemijsko oksidirajo organske snovi. To so glive in bakterije, ki so lahko razpršene, izkosmičene ali nitaste. Porabniki so organizmi, ki se posredno vključujejo v čiščenje in prispevajo k zmanjšanju obremenitve do 30 %. Njihova primarna vloga je kontrola populacij razpršenih bakterij, s katerimi se prehranjujejo. Skupina porabnikov je sestavljena iz bičkarjev (Flagellata), korenonožcev (Rhizopoda), migetalkarjev (Ciliata), kotačnikov (Rotatoria), maloščetincev (Oligochaeta) in glist (Nematoda) (Urbanič in Toman, 2003).

#### 2.3.2.1.2 Čistilne naprave s priraslo biomaso

V čistilnih napravah s priraslo biomaso organizmi pritrjeni na polnilo (biofilm), posnemajo biološki del samočiščenja, ki ga vrši perifiton na rečnem dnu. Klasični primeri čistilnih naprav tega tipa so precejalniki, biofiltri in biodiski. Precejalnik je čistilna naprava, napolnjena s polnilom, na katerega se pritrjujejo mikroorganizmi, ki razgrajujejo organske snovi. Z razmnoževanjem organizmov se debelina filtra veča, deli obrasti se trgajo in usedajo v sekundarnem usedalniku. Organizmi, ki tvorijo obrast se med seboj povezujejo v manjše skupke, ki so po funkciji podobni kosmom aktivnega blata. V obrasti prevladujejo pritrjene vrste spremljajočih organizmov, kot so peritrihi migetalkarji, monogonontni kotačniki, gliste in maloščetinci (Urbanič in Toman, 2003).

#### 2.3.2.2 Anaerobno biološko čiščenje

Anaerobno gnitje temelji na metagenezi, ki poteka v odsotnosti kisika. Razgradnja poteka do nizkomolekularnih organskih snovi. Končni produkt razgradnje je zmes plinov imenovanih bioplin, z najpomembnejšima komponentama  $\text{CH}_4$  in  $\text{H}_2$ . Prednosti tehnologije anaerobnega čiščenja pred aerobnimi postopki so: majhna produkcija biomase, skromne potrebe po hranilih, uporabnost metana kot energenta, visoka zmogljivost procesov in nezahtevnost združbe (aktivno blato je brez hranil mogoče ohraniti več mesecev). Slabost anaerobnih postopkov pa so: občutljivost mikrobov na nekatere toksikante, potrebnost nadaljnje obdelave in daljši čas za optimalno obratovanje kot pri aerobnih čistilnih napravah. Anaerobne postopke danes uporabljamo kot sekundarne postopke stabilizacije blata z aerobnih čistilnih stopenj ali kot primarne postopke čiščenja industrijskih odplak z organskimi odpadnimi snovmi (Urbanič in Toman, 2003).

### 2.3.3 Terciarna stopnja čiščenja

Terciarno stopnjo čiščenja uporabimo takrat, ko želimo zmanjšati količino določenih snovi v efluentu. Terciarno čiščenje ponavadi poteka zaradi visokih vrednosti BPK, amonija, nitratov, fosfatov in suspendiranih snovi. V uporabi so številni biološki filtri (modificirani

procesu čiščenja z aktivnim blatom za odstranjevanje nitratov in fosfatov) in ionski izmenjevalci za anorganske spojine. V terciarno stopnjo čiščenja so pogosto vključene rastlinske čistilne naprave, ki so danes večinoma samostojni čistilni sistemi (Urbanič in Toman, 2003).

### 2.3.4 Centralna čistilna naprava Celje

Večina odpadnih vod Mestne občine Celje se zbira v dveh glavnih zbiralnikih, ki se na območju sotočja Savinje in Voglajne združita v glavni zbiralnik, ki poteka ob levem bregu reke Savinje do čistilne naprave. Čistilna naprava Celje se nahaja na lokaciji Rifengozd v naselju Tremerje, na površini 26 000 m<sup>2</sup>. Naprava je zgrajena za obremenitev 85 000 PE, trenutno je nanjo priključenih 70 000 PE. V letu 2004 je bilo izvedeno 200-dnevno poskusno obratovanje ([www.vo-ka-celje.si/podjetje/dejavnost/cistilna\\_Celje.htm](http://www.vo-ka-celje.si/podjetje/dejavnost/cistilna_Celje.htm)).

Centralna čistilna naprava Celje je biološka čistilna naprava z razpršeno biomaso. Čiščenje odpadne vode obsega mehansko odstranjevanje delcev, odstranjevanje organskih, dušikovih in fosforjevih spojin. Kisik za delovanje organizmov aktivnega blata se v aerobne bazene dovaja preko puhal s stisnjenim zrakom. Odstranjevanje dušikovih in fosforjevih spojin se vrši ob odsotnosti kisika v anaerobnih bazenih. Dušikove spojine se odstranjujejo z nitrifikacijo in denitrifikacijo, fosforjeve spojine pa s kombinirano biološko - kemijskim izločanjem fosforja. V anaerobnem bazenu, anoksičnem in oksičnem delu prezračevalnega bazena, so vgrajena podvodna mešala, ki mešajo vsebino bazenov in s tem preprečujejo usedanje aktivnega blata na dnu. Odvečno blato se dehidrira na centrifugah in odvaža na komunalno deponijo Bukovžlak ([www.vo-ka-celje.si/podjetje/dejavnost/cistilna\\_Celje.htm](http://www.vo-ka-celje.si/podjetje/dejavnost/cistilna_Celje.htm)).

**Preglednica 1:** Učinek čiščenja Centralne čistilne naprave Celje v letu 2007 (povzeto po [www.vo-ka-celje.si/podjetje/dejavnost/cistilna\\_Celje.htm](http://www.vo-ka-celje.si/podjetje/dejavnost/cistilna_Celje.htm))

Parameter	Iztok iz ČN (povpr. letna vrednost)	Učinek (%)
KPK (mg/L)	22	95
BPK <sub>5</sub> (mg/L)	5,0	97,4
celotni fosfor (mg/L)	1,5	73,9
celotni dušik (mg/L)	5,44	83,6

## 2.4 VELIKI VODNI NEVREtenČARJI ALI MAKROINVERTEBRATI

Pod izrazom makroinvertebrati ali veliki vodni nevretenčarji združujemo vodne nevretenčarje, ki pri vzorčenju ostanejo v mreži z odprtini 0,5 × 0,5 mm. To so običajno organizmi, ki merijo več kot 1 mm in so vidni s prostim očesom (Urbanič in Toman, 2003). Združba makroinvertebratov je najbolj raznolika združba v tekočih vodah (Giller in Malmqvist, 1998). Zaradi njihove uporabnosti v ocenah kakovosti voda in pomembnosti za združbo rib so makroinvertebrati najbolj proučevana združba živali v tekočih vodah (Giller in Malmqvist, 1998; Wetzel, 2001). Združba makroinvertebratov ima pomembno funkcijo v vodnem ekosistemu, saj s svojim delovanjem sodelujejo pri kroženju hranil in obenem predstavljajo vir hrane za druge organizme (Couceiro s sod., 2007).

### 2.4.1 Sistematska delitev velikih vodnih nevretenčarjev

Makroinvertebrati so taksonomsko zelo raznolika skupina. Sledi le opis tistih skupin makroinvertebratov, ki so bili prisotni v naših vzorcih.

#### 2.4.1.1 Mollusca: Gastropoda – polži

Polži poseljujejo širok spekter habitatov v tekočih vodah, kjer lahko dosežajo visoke gostote. Večina vrst živi v plitvejših vodah (Giller in Malmqvist, 1998). Različne skupine polžev poseljujejo različne habitate. Predstavnike družine Ancyliidae najdemo na kamnitem substratu, polži s spiralno zavito hišico poseljujejo tako kamnit kot tudi peščen substrat, polži iz družin Hydrobiidae in Physidae se naseljujejo na vegetacijo, predstavniki družine limneid (Lymnaeidae) pa so glede na habitat precej nespecializirani (Giller in Malmqvist, 1998). Polži se v veliki večini hranijo s perifitonom, uvrščamo jih v prehransko skupino strgalci. Nekateri predstavniki družine Physidae se hranijo tudi z detritom (Giller in Malmqvist, 1998).

#### 2.4.1.2 Mollusca: Bivalvia – školjke

Školjke v naših vzorcih so pripadale družini Sphaeridae, ki je ena od najpomembnejših družin školjk v celinskih vodah. Družina poseljuje velik areal (Giller in Malmqvist, 1998). Posamezni osebki se uspešno razširjajo kot potniki na vodnih pticah, dvoživkah in žuželkah. Novo populacijo lahko ustanovi že en sam osebek, saj se kot dvospolniki lahko razmnožujejo s samooploditvijo (Giller in Malmqvist, 1998). Školjke iz družine Sphaeridae, še posebej rodu *Pisidium* poseljujejo substrat iz drobnih delcev (Giller in Malmqvist, 1998). Večina školjk se prehranjuje s suspendiranimi delci, so večinoma filtratorji. Predstavljajo vir hrane številnim večjim plenilcem npr. ribam (Giller in Malmqvist, 1998).



#### 2.4.1.3 Annelida: Oligochaeta – maloščetinci

Maloščetinci se hranijo z rečnim detritom, ki vsebuje avtohtone in alohtone organske snovi, kolonizirane z bakterijami in ostalimi mikroorganizmi (Wetzel, 2001). Na mestih, kjer so ostali makroinvertebrati odsotni, to so mesta z velikimi količinami organskih snovi in nizko koncentracijo kisika, jih lahko najdemo v zelo velikem številu (Giller in Malmqvist, 1998). Maloščetinci, še posebej predstavniki družine Tubificidae, so zato dobri indikatorji kakovosti vode v onesnaženih rekah (Giller in Malmqvist, 1998).

#### 2.4.1.4 Anellida: Hirudinea – pijavke

Večina pijavk je plenilcev, hranijo se z različnimi skupinami vodnih nevretenčarjev (Giller in Malmqvist, 1998). Nekatere pijavke se hranijo kot zajedavci na dvoživkah, ribah, vodnih pticah in sesalcih. Ostale pijavke so tako plenilci kot paraziti, kar je odvisno od velikostnega razmerja med plenilcem in njegovim plenom (Giller in Malmqvist, 1998). V splošnem pijavke niso pomemben vir hrane v vodnih ekosistemih (Giller in Malmqvist, 1998). Njihova številčnost v različnih vodnih okoljih lahko zelo variira in je verjetno povezana s količino in raznovrstnostjo plena (Wetzel, 2001).

#### 2.4.1.5 Arachnida: Hydracarina – vodne pršice

Poznamo več kot 500 vrst vodnih pršic. Njihov razvoj poteka prek številnih larvalnih stadijev, od katerih ima vsak značilen način prehranjevanja (Giller in Malmqvist, 1998). Odrasli so plenilci, ki se hranijo z jajci žuželk in ikrami rib, ličinkami dvokrilcev in ostalih žuželk ter z odraslimi predstavniki majhnih rakov. Njihovi plenilski in zajedavski stadiji larv imajo lahko direkten vpliv na velikost in strukturo populacij vodnih žuželk, saj larve vodnih pršic pogosto zajedajo kar 20 – 50 % naravne populacije vodnih žuželk (Wetzel, 2001). Kakšno vlogo imajo vodne pršice kot vir hrane v vodnem okolju, danes še ni dobro raziskano (Wetzel, 2001).

#### 2.4.1.6 Crustacea: Amphipoda – postranice

Postranice so pogoste v številnih celinskih vodah. Najpomembnejša družina postranic so Gammaridae. Najdemo jih v vodah z visoko koncentracijo kisika (Wetzel, 2001). Čeprav nekateri predstavniki te družine preferirajo vodotoke z visoko koncentracijo kalcijevega bikarbonata, večina živi v vodotokih z zmerno ali nizko koncentracijo (Giller in Malmqvist, 1998). V glavnih tokovih vodotokov, kjer je substrat stabilen in so prisotne velike količine hrane, lahko postranice dosežajo zelo visoke gostote (Wetzel, 2001). Postranice so omnivori, hranijo se z odmrlim organskim materialom; ostanki živali in rastlin, konzumirajo pa tudi perifiton, saj so nekateri predstavniki sposobni prebaviti celične stene gliv in rastlin (Wetzel, 2001). Zaradi njihove številčnosti v driftu so pomembna hrana za ribe (Giller in Malmqvist, 1998).

#### 2.4.1.7 Crustacea: Isopoda – enakonožci

Vrsta *Asellus aquaticus* je najbolj poznan predstavnik družine. Vrsta je detritivorna in se pojavlja v širokem spektru habitatov, vse od zakisanih gozdnih potokov do močno onesnaženih rek (Giller in Malmqvist, 1998).

#### 2.1.4.8 Insecta: Ephemeroptera – enodnevnice

Enodnevnice so žuželke z nepopolno preobrazbo. Njihove ličinke se levijo kar dvajset do tridesetkrat. Med žuželkami so edinstvene zaradi posebne stopnje preobrazbe med larvo in imagom, imenovano subimago. Kot odrasli živijo od nekaj ur do nekaj dni in se med tem ne hranijo (Giller in Malmqvist, 1998). Večina vrst enodnevnice naseljuje le tekoče vode, kjer so enodnevnice zastopane številčno in s številnimi vrstami. V naših vodotokih predstavljajo tudi do 60 % celotne biomase bentoških nevretenčarjev (Zabrc, 2003). Različne vrste poseljujejo različne tipe substrata. Najdemo jih na kamnitem substratu, na površini makrofitov in v finih sedimentih (Wetzel, 2001). Najpogostejše družine v tekočih vodah so Baetidae, Heptageniidae in Ephemerellidae. So večinoma strgalci, hranijo se tudi z detritom, nekateri predstavniki filtrirajo delce iz vode, nekateri se prehranjujejo tudi kot plenilci, drobilci so med njimi redki (Giller in Malmqvist, 1998). Predstavljajo pomemben delež prehrane rib, ki se prehranjujejo z driftom (mladi salmonidi), saj so tiste, ki strgajo perifiton na površini kamnov, močno izpostavljene vodnemu toku in predstavljajo pomemben delež drifta (Giller in Malmqvist, 1998). Dihajo s škrgami. Nekatero vrste so sposobne s premikanjem škrg ustvariti vodni tok ob telesu, zaradi česar lahko bolje izkoristijo kisik v vodi. Različne vrste enodnevnice so različno občutljive na primanjkljaj kisika v vodi, zaradi česar so dobri indikatorji organske onesnaženosti (Giller in Malmqvist, 1998). Občutljive so tudi na kislost, le redke preživijo v vodi s pH-vrednostjo pod 4 (Giller in Malmqvist, 1998).

#### 2.1.4.9 Insecta: Plecoptera – vrbnice

Vrbnice najdemo v čistih vodotokih nižjega reda z nizko temperaturo in visoko koncentracijo kisika (Giller in Malmqvist, 1998). So žuželke z nepopolno preobrazbo. Večinoma se pojavljajo na kamnitem substratu, pogosto v intersticijskem prostoru ali med listjem (Giller in Malmqvist, 1998). Glede na prehranjevanje jih ločujemo v dve skupini (Giller in Malmqvist, 1998). Prva skupina (med drugimi tudi družini Leuctridae in Nemouridae) je večinoma detritivorna. Njihov življenjski cikel je naravnan tako, da se hranijo predvsem z jesenskim opadom listja. Drugo skupino (med drugimi družini Perlidae in Perlodidae) predstavljajo plenilci manjših nevretenčarskih ličink (Giller in Malmqvist, 1998). Tekom ontogenetskega razvoja se prehranske navade vrbnic močno spreminjajo; isti osebki lahko preide od herbivorije k plenilstvu ali pa je priložnostni vsejed (Giller in Malmqvist, 1998). Odrasli osebki se prehranjujejo z algami, glivami, lišaji ali pa se sploh ne prehranjujejo (Sivec, 2003). Predvsem zaradi odsotnosti zunanjih škrg so zelo občutljive na pomanjkanje kisika in posledično na organsko onesnaženje (Giller in Malmqvist, 1998). Občutljive so tudi na visoke temperature, spremenjen vodni režim in

povečano zamuljenost (Sivec, 2003). Zelo dobro prenašajo nizke temperature, na kislost niso občutljive (Giller in Malmqvist, 1998).

#### 2.1.4.10 Insecta: Odonata – kačji pastirji

Kačji pastirji so žuželke z nepopolno preobrazbo. Delimo jih na manjše in nežnejše enakokrile kačje pastirje Zygoptera ter večje in robustnejše raznokrile kačje pastirje Anisoptera. Tako ličinke kot odrasli so plenilci (Giller in Malmqvist, 1998). Večina vrst ličink kačjih pastirjev živi v vodah s počasnim tokom ali v stoječih vodah (Giller in Malmqvist, 1998). Ličinke raznokrilih kačjih pastirjev dihajo s črpanjem vode v in iz zadka, gosto prepredenega s trahejami. Ličinke enakokrilih kačjih pastirjev dihajo z lamelastimi škrkami, ki jim izraščajo na koncu zadka (Giller in Malmqvist, 1998). Tekom razvoja opravijo 10 – 15 levitev (Giller in Malmqvist, 1998). Pri nas kačji pastirji izletajo od zgodnje pomladi do poznega poletja, večina maja in junija (Bedjanič, 2003). Ličinke so zelo uspešne plenilke. Plenijo vodne nevretenčarje, paglavce žab in mladice rib. Spodnjo ustno imajo preoblikovano v lovilno krinko (labium), ki je v mirujočem stanju zložena pod telesom, med lovom pa z njo bliskovito zagrabijo plen (Bedjanič, 2003). Zaradi primerne velikosti jih plenijo ribe (Giller in Malmqvist, 1998).

#### 2.1.4.11 Insecta: Heteroptera – stenice

V Evropskih rekah živi le nekaj vrst vodnih stenic. Večina vodnih stenic poseljuje stoječe in počasi tekoče vode (Giller in Malmqvist, 1998). Stenice so žuželke z nepopolno preobrazbo, večinoma se prehranjujejo kot plenilci drugih vodnih žuželk. Plen zabodejo s svojim bodalom in nato s slino, ki vsebuje toksične komponente, plen hitro paralizirajo (Giller in Malmqvist, 1998). Razvojni krog v celoti poteka v vodi in traja eno leto. Odrasli prezimijo v vlažnih sedimentih ali vegetaciji (Wetzel, 2001). Odrasli vrste *Aphelocheirus aestivalis*, ki je ena od redkih vrst, ki naseljujejo brzice, si pri dihanju pomagajo z gosto odlačenno spodnjo stranjo telesa, ki pod vodo zadržuje zračni mehurček (Giller in Malmqvist, 1998).

#### 2.1.4.12 Insecta: Coleoptera - hrošči

Poleg stenic tudi hrošči spadajo k redkim predstavnikom vodnih žuželk, katerih razvojni krog v celoti poteka v vodi. Hrošči, ki poseljujejo brzice (družina Elmidae) so večinoma majhne velikosti, oprijemajo se substrata in premikajo počasi (Giller in Malmqvist, 1998). Ličinke in odrasli se večinoma hranijo z detritom, nekateri tudi z lesom. Le redki plenilci se hranijo s hrošči, ki živijo na brzicah, torej imajo ti v ekosistemu vlogo le v razgradnji organskega materiala (Giller in Malmqvist, 1998). Tudi hrošči, ki poseljujejo dele rek s počasnim vodnim tokom (družine Dytiscidae, Hydrophilidae, Gyrinidae in Dryopidae) imajo pomembno funkcijo. Med njimi najdemo plenilce, omnivore, detritivore in strgalce. Ličinke družine Gyrinidae so bentoški plenilci, odrasli pa živijo na vodni površini in se hranijo z mrtvim in živim materialom, ki tam lebdi (Giller in Malmqvist, 1998).

#### 2.1.4.13 Insecta: Trichoptera – mladoletnice

Mladoletnice predstavljajo eno izmed najbolj pestrih taksonomskih skupin vodnih žuželk. Posledično poseljujejo širok spekter vodnih okolij. Mladoletnice so žuželke s popolno preobrazbo; med stanjem ličinke in odraslega se zabubijo (Giller in Malmqvist, 1998). Odrasli izletavajo v toplejšem delu leta, med mesecem majem in oktobrom. Njihov življenjski cikel večinoma traja eno leto (Wetzel, 2001). Ob zabubljenju, gradnji hišk in spletanju mrež proizvajajo svilo. Hiške gradijo iz čiste svile, zrnca peska ali različnega organskega materiala. Oblika in sestava hišk je značilna za vsako posamično vrsto ali rod (Giller in Malmqvist, 1998). Mladoletnice so plenilci (družini Rhyacophilidae in Polycentropodidae), drobilci (družine Limnephilidae, Lepidostomatidae in Sericostomatidae), filtratorji (družini Hydropsychidae in Philopotamidae) in strgalci (družini Goeridae, Glossosomatidae in Helicopsychidae) (Giller in Malmqvist, 1998). Odrasli se hranijo z nektarjem, večina živi manj kot mesec dni. Ličinke iz družine Rhyacophilidae so plenilci vodnih žuželk, predvsem dvokrilcev iz skupin Chironomidae in Simuliidae (Giller in Malmqvist, 1998). Družina Limnephilidae je najbolj vrstno pestra družina mladoletnic, ki se pojavlja v številnih tipih habitatov. Gradijo hiške različnih oblik. Družina ima pomembno vlogo v razgradnji organskega materiala (Giller in Malmqvist, 1998). Predstavniki družin Hydropsychidae in Polycentropodidae spletajo mreže, le da so prvi filtratorji, drugi pa plenilci. Predstavniki družine Hydroptilidae so v nasprotju z večino mladoletnic zelo majhni in lahko ob ugodnih pogojih dosežajo visoke gostote. Hranijo se z nitastimi algami, celice prebadajo in izsesavajo njihovo vsebino (Giller in Malmqvist, 1998). Ličinke mladoletnic pogosto predstavljajo velik delež biomase vodnih nevretenčarjev v vodotoku, zato so pomemben vir hrane za različne vrste rib in vodnih ptic (Giller in Malmqvist, 1998).

#### 2.1.4.14 Insecta: Diptera – dvokrilci

Dvokrilci so najpomembnejša skupina vodnih žuželk, ki pogosto dominira v združbi velikih vodnih nevretenčarjev (Wetzel, 2001). Le nekaj družin ima izključno vodne ličinke. To so Simuliidae, Athericidae, Blephariceridae in Deuterophlebiidae. Najštevilčnejše skupine dvokrilcev v vodotokih so Chironomidae – trzače (Sivec in sod., 2003), Simuliidae – črne mušice (Sivec in sod., 2003) in Tipulidae – košeninarji (Sivec in sod., 2003) (Giller in Malmqvist, 1998). Znotraj dvokrilcev obstajajo velike razlike v morfologiji, reprodukciji in dihanju. Čeprav so odrasli osebkovi kopenski, dvokrilci večino življenja preživijo v vodi kot ličinke. Kot ličinke dvokrilci živijo od nekaj tednov pa do dveh let, nekatere v obliki ličinke tudi prezimijo (Wetzel, 2001). Večina vrst ima na leto eno generacijo, nekatere vrste imajo dve generaciji na leto, druge pa eno generacijo v dveh letih (Wetzel, 2001).

##### 2.4.1.1.1 Družina Simuliidae – črne mušice

Črne mušice so homogena skupina podobnega izgleda. Ličinke se pritrdijo na substrat s pomočjo svilenih niti (Giller in Malmqvist, 1998). Večina črnih mušic živi v tekočih vodah. Prehranjujejo se s filtracijo majhnih delcev iz vode. So pomemben del združbe

vodnih nevretenčarjev in se občasno lahko pojavljajo v visokih gostotah (Giller in Malmqvist, 1998). Zaradi njihove številčnosti so pomemben plen vrbnicam, mladoletnicam, ribam in nekaterim vodnim pticam. V ekosistemu imajo pomemben vpliv na kroženje snovi (Giller in Malmqvist, 1998). S filtracijo lovijo zelo majhne organske delce (< 5  $\mu\text{m}$ ), ki bi jih vodni tok sicer odplaval. Njihovi iztrebki so precej večji kot hrana (v premeru več kot 50  $\mu\text{m}$ ), ki tako potonejo in ostanejo na istem mestu. Črne mušice torej v vodotoku igrajo pomembno vlogo kot zadrževalci longitudinalnega transporta in imajo znaten vpliv na kroženje ogljika v vodnem telesu (Giller in Malmqvist, 1998).

#### 2.4.1.1.2 Družina Chironomidae – trzače

Trzače so najbolj vrstno pestra skupina vodnih žuželk. Delimo jih v devet poddružin, od katerih so najpomembnejše Chironominae, Diamesinae, Orthoclaadiinae, Prodiamesinae in Tanytopodinae. Trzače poseljujejo zelo širok spekter habitatov od najmanjših potočkov, izvirov pa do velikih rek (Giller in Malmqvist, 1998). Zaradi težavnega določanja in pomanjkljivih določevalnih ključev je biologija večine vrst trzač še precej neraziskana. Čeprav znotraj družine najdemo vse možne načine prehranjevanja, se večina uvršča med filtratorje in detritivore. Nekateri predstavniki so prosti živeči, drugi gradijo cevke na površini skal, listov in na muljastem dnu (Giller in Malmqvist, 1998). Nekateri predstavniki poddružine Chironominae spletajo mreže za lovljenje delcev. Številni iz poddružin Orthoclaadiinae in Diamesinae so strgači. Predatorji so večinoma iz poddružine Tanytopodinae. Nekateri predstavniki poddružin Orthoclaadiinae in Chironominae se hranijo z lesom. Številne vrste so drobilci, nekateri predstavniki so celo komezali in paraziti. Zaradi številčnosti in hitre rasti trzač lahko strgalci med njimi spremenijo vrstno sestavo perifitonske združbe s katero se hranijo (Giller in Malmqvist, 1998). Trzače so pomemben plen skoraj vsem vodnim plenilcem, pogosto predstavljajo večinski delež prehrane posameznega plenilca (Giller in Malmqvist, 1998).

### 2.4.2 Makroinvertebrati kot indikatorji kakovosti vodnega okolja

Prostorska razporeditev in struktura združbe makroinvertebratov odražata vpliv biotskih in abiotskih dejavnikov (Murphy in Davy – Bowker, 2005). Združba makroinvertebratov je torej kazalnik celotnih ekoloških razmer posameznega vzorčnega mesta, vključno s fizikalnimi lastnostmi (tip substrata, hitrost vodnega toka, pretok...) in zato ni le odraz organskega obremenjevanja, ampak tudi različnih drugih stresov:

- anorganskega onesnaževanja,
- toksičnosti,
- kislosti,
- morfoloških sprememb vodnih habitatov,
- zmanjšanja količine vode (Urbanič in Toman, 2003).

Posledično se makroinvertebratska združba hitro odziva na motnje, kar se kaže v spremembi strukture združbe in manjšanju vrstnega bogastva znotraj združbe (Couceiro s sod., 2007). Danes so makroinvertebrati skupina, ki se uporablja za oceno kvalitete vodnega okolja v več kot dveh tretjinah modernih bioloških metod (Dall s sod., 1995).

Najpomembnejše prednosti makroinvertebratov pred ostalimi skupinami vodnih organizmov, zaradi katerih so bolj primerni za oceno kakovosti voda:

1. veliko število vrst, različno občutljivih na polutante;
2. prisotnost v vseh tipih voda;
3. sedentarnost in relativna pogostost;
4. enostavnost vzorčenja in določanja višjih taksonov (vsaj do nivoja družine);
5. relativno dolga življenjska doba (od nekaj tednov do nekaj let) (Urbanič in Toman, 2003).

## 2.5 VPLIV OKOLJSKIH DEJAVNIKOV NA ZDRUŽBO MAKROINVERTEBRATOV

Vpliv abiotskih dejavnikov je močan, ko so združbe zaradi spreminjajočih se abiotskih dejavnikov v neravnovesnem stanju. Takrat imajo biotski dejavniki nepomemben vpliv. Ob ugodnih abiotskih pogojih, ko so združbe v ravnovesju in dosežajo višje gostote, je vpliv abiotskih dejavnikov kot sta npr. kompeticija in plenilstvo večji (Giller in Malmqvist, 1998).

### 2.5.1 Vpliv abiotskih dejavnikov na združbo makroinvertebratov

#### 2.5.1.1 Vodni tok

V vodnem telesu je od hitrosti vodnega toka odvisna velikost delcev substrata, oblika struge, dotok raztopljenega kisika, distribucija in pretvorba hrane, trajanje potovanja polutantov in posledično samočistilna sposobnost vodotoka. Tok je v naravnih vodotokih tridimenzionalen; longitudinalen, lateralen in vertikalni ter se spreminja v času in prostoru. Hitrost toka je odvisna od oblike struge, globine in substrata. Hitrost v vodotokih se spreminja skozi leta, v različnih sezonah in dnevno v odvisnosti od hidrometeoroloških vplivov in narave prispevnega območja (Giller in Malmqvist, 1998). V strugi se hitrost vodnega toka eksponentialno zmanjšuje od površine proti dnu in se tik ob dnu približa vrednosti 0 (Urbanič in Toman, 2003). Hitrost se spreminja tudi lateralno. Najvišja hitrost vodnega toka je na sredini struge in se manjša proti bregovoma (Giller in Malmqvist, 1998).

##### 2.5.1.1.1 Vpliv vodnega toka na makroinvertebrate

Vodni tok za organizme predstavlja grožnjo plavljenja po toku navzdol. Različne skupine organizmov so razvile različne prilagoditve, da kljubujejo vodnemu toku ali se mu izognejo. Ker različni organizmi dobro uspevajo pri različnih hitrostih vodnega toka, se v okoljih z različnimi hitrostmi vodnega toka tudi združbe organizmov razlikujejo (npr. različne združbe na brzicah in v tolmunih istega vodotoka). Vodni tok pomembno vpliva na makroinvertebrate; neposredno z vplivom na distribucijo hrane in dotok kisika ali posredno z vplivom na strukturo substrata (Giller in Malmqvist, 1998). Nekatere raziskave kažejo pozitivno korelacijo med lastnostmi vodnega toka in številčnostjo, vrstno pestrostjo ter strukturo makroinvertebratskih združb v vodotoku (Giller in Malmqvist, 1998). Vodni tok močno vpliva tudi na vedenje organizmov, vključujoč obliko telesa, gradnjo mrež in hišk, premikanje, drift, teritorialnost in respiratorna gibanja (Giller in Malmqvist, 1998).

### 2.5.1.2 Substrat

Substrat je življenjski prostor večini velikih vodnih nevretenčarjev. Organizmi se v substratu premikajo, počivajo, razmnožujejo, se nanj pritrjujejo in substrat uporabljajo za zatočišče pred plenilci in vodnim tokom. Substrat predstavlja za organizme direkten vir hrane (organski delci v substratu) ali površino na kateri se hrana zbira (perifiton, detrit) (Giller in Malmqvist, 1998). Substrat ima v vodnih ekosistemih pomembno vlogo v kroženju snovi, vpliva na transport številnih hranilnih in odpadnih snovi ter sodeluje pri izmenjavi snovi z vodo. Substrat delimo v dve osnovni skupini: organski (različno veliki organski ostanki iz kopenskih ali vodnih ekosistemov in živi organizmi) in anorganski substrat (reka pridobiva z erozijo, tok ga preoblikuje), ki ga razvrščamo v kategorije glede na velikost mineralnih delcev (Urbanič in Toman, 2003). Močnejši kot je tok, večji so mineralni delci anorganskega substrata. Njihova velikost se praviloma manjša po toku navzdol. Tudi izmenjevanje brzic in tolmunov vzdolž reke povzroča specifičen vzorec erozije (na brzici ostanejo le večji mineralni delci) in depozicije (v tolmunu se odlagajo tudi manjši mineralni delci). Med večjimi mineralnimi delci se, odvisno od hitrosti vodnega toka in števila retencijskih struktur, nabirajo različne količine manjših mineralnih delcev in detrita, kar povečuje heterogenost substrata. Retencijska sposobnost vodotoka vpliva na diverzitetu in številčnost organizmov. Stabilnost substrata je odvisna od velikosti mineralnih delcev. Večji premiki substrata se pojavijo ob povečanih pretokih (Giller in Malmqvist, 1998).

#### 2.5.1.1.2 Vpliv substrata na makroinvertebrate

Kljub temu, da je večina bentoških makroinvertebratov pri izboru substrata generalistična, večina tudi kaže preferenco do nekaterih kategorij substrata (Giller in Malmqvist, 1998). Lastnosti substrata, ki vplivajo na razširjenost makroinvertebratov so številne, med njimi (Ward, 1992):

- ali je substrat organski ali anorganski
- količina majhnih organskih in anorganskih delcev v substratu
- velikost delcev in heterogenost velikosti delcev ter tekstura in poroznost
- stabilnost substrata

Hart (1978) je opazil, da je na večjih kamnih vrstna pestrost in številčnost makroinvertebratov večja kot na manjših kamnih, čeprav je gostota osebkov večja na manjših kamnih. Na velikih kamnih brzic je praviloma diverzitetu makroinvertebratov večja kot v peščenih sedimentih na dnu tolmunov (Allan, 1995). Večja heterogenost velikosti mineralnih delcev omogoča večjo naselitveno površino in večjo heterogenost mikrotokov. Posledično je na heterogenih substratih vrstna pestrost večja. Enako velja tudi za rastline, ki rastejo v gostih skupinah ali imajo močno deljene liste. Zveza med diverzitetu, biomaso in številčnostjo organizmov pa ni linearna. Vsi trije parametri naraščajo od psamala do mezolitala in nato upadajo proti megalitalu (Giller in Malmqvist, 1998). Vrstna pestrost in število osebkov sta načeloma večji ob prisotnosti večjih količin detrita in vegetacije (Giller in Malmqvist, 1998).



### 2.5.1.3 Temperatura

Voda se segreva s sončevim sevanjem in s kondukcijo iz zraka ali substrata. Toplota se zgublja z radiacijo na površini, z izhlapevanjem in s kondukcijo na površini in v substratu. Na temperaturni režim vodotoka vplivajo trije dejavniki: osončenost, klima in hidrološke značilnosti. Na osončenost vplivajo oblika struge, senčenje obrežne vegetacije, topografija in zemljepisna širina. Klima je odvisna od zemljepisne širine, nadmorske višine in oddaljenosti od morja. Hidrološke značilnosti so vodnatost pritokov, prispevek podtalnice, oddaljenost od izvirov ali jezer in vodni tok (Giller in Malmqvist, 1998). Temperaturni režim vodotoka ima letno, ponekod pa tudi dnevno periodičnost (Urbanič in Toman, 2003).

Temperaturna stratifikacija, ki se pojavlja v globljih jezerih, je v tekočih vodah redka. V plitvih potokih, kjer turbulentni tok vodo konstantno meša, je temperatura po celotni globini enaka. Kljub temu je ponekod v večjih, globljih in počasi tekočih rekah, temperatura vode na površini in dnu različna. Dnevna nihanja temperature v vodotokih so manjša v zgornjem toku (zaradi majhne oddaljenosti od izvira) in v vodotokih, ki imajo velik pritok iz podtalnice. Dnevna nihanja naraščajo z oddaljenostjo od izvira in dosežejo maksimum na sredini med izvirov in izlivom. V spodnjem toku rek so zaradi velikih volumnov vode dnevna nihanja temperature manjša. Stopnja senčenja obrežne vegetacije pomembno vpliva na nihanje temperature v vodotoku. Bolj osenčeni vodotoki imajo nižje poletne maksimume temperature in krajši čas trajanja najvišjih dnevnih temperatur. Letna temperaturna nihanja naraščajo od izvira proti izlivu (Giller in Malmqvist, 1998). Temperature površinskih vod v Sloveniji nihajo med 0 in 30 °C (Urbanič in Toman, 2003).

#### 2.5.1.1.3 Vpliv temperature na makroinvertebrate

Ker je večina živali v celinskih vodah poikilotermnih, temperatura vode vpliva na njihovo dihanje, prebavo, mišično aktivnost in posledično na stopnjo rasti, produktivnost in dolžino življenjskega cikla. Vodne žuželke so močno odvisne od temperature, ta vpliva na hitrost razvoja jajčec, hitrost rasti ličink, čas preobrazbe, velikost odraslih žuželk in parjenje (Giller in Malmqvist, 1998). Jacobsen (1997) navaja, da število prisotnih družin in redov v vodotoku narašča skupaj z maksimalno temperaturo vodotoka. Število prisotnih taksonov tako upada z večanjem nadmorske višine in zemljepisne širine.

#### 2.5.1.4 Kisik

Koncentracija kisika v vodnem telesu je odvisna od kemijskih, fizikalnih in biotskih procesov (Urbanič in Toman, 2003). V vodo prehaja z difuzijo iz zraka na površini (Giller in Malmqvist, 1998). Dejavniki, ki vplivajo na koncentracijo kisika so temperatura, atmosferski tlak, slanost, turbulence, fotosintezna aktivnost primarnih producentov in stopnja dihanja (Urbanič in Toman, 2003). Topnost kisika v vodi je negativno povezana s temperaturo vode. Turbulentnost vodnega toka pomembno vpliva na koncentracijo kisika v vodotoku. Majhni potočki s hitrim tokom so nasičeni s kisikom, počasi tekoči zalivi v spodnjem toku reke pa imajo nizko koncentracijo kisika. Ker kisik nastaja v fotosintezi, lahko prisotnost makrofitov vrednosti kisika močno povečaja. Čez dan lahko zaradi

biogenega prezračevanja nasičenost vode s kisikom preseže 100 %, čez noč pa vrednosti zaradi intenzivnega dihanja upadejo, pride torej do dnevno nočnega spreminjanja vsebnosti kisika v vodotoku (Giller in Malmqvist, 1998). V neobremenjenem vodotoku je dnevno-nočno nihanje vsebnosti kisika manjše kot v obremenjenem vodotoku (Wetzel, 2001). Na koncentracijo raztopljenega kisika lahko vpliva tudi večja količina podtalnice, ki ponavadi vsebuje le manjše količine kisika. Najnižje koncentracije kisika lahko izmerimo v močno organsko onesnaženih vodotokih, v vodotokih z zelo visoko temperaturo vode in gosto vodno vegetacijo. V splošnem pa velja, da je koncentracija kisika v zgornjem toku vodotokov višja zaradi večje turbulence, nižjih temperatur in večje izmenjevalne površine z zrakom in se niža po toku navzdol (Giller in Malmqvist, 1998). V celinskih vodah se koncentracije kisika gibajo med 8 mg/L in 15 mg/L (odvisno od temperature), v primerih velikega biogenega prezračevanja do 20 mg/L. Vrednosti pod 5 mg/L negativno vplivajo na preživetje organizmov in povzročajo spremembe v združbah (Urbanič in Toman, 2003).

#### 2.5.1.1.4 Vpliv vsebnosti kisika na makroinvertebrate

Makroinvertebrati v tekočih vodah imajo višjo stopnjo metabolizma in večjo potrebo po kisiku kot nevretenčarji v stoječih vodah. Stopnja dihanja je povezana s temperaturo in lahko naraste za 10 % pri povišanju temperature za 1°C. Povišanje temperature torej ne zniža le razpoložljivost kisika, ampak tudi poveča potrebo po njemu, kar še dodatno prispeva k fiziološkemu stresu organizmov ob dvigu temperature. Vrste se med seboj močno razlikujejo v zahtevi po kisiku. Nekatere taksonomske skupine naseljujejo le vode z nizko temperaturo in posledično visoko vsebnostjo kisika (Giller in Malmqvist, 1998). Takšne so vrbnice, ki se zaradi njihovih visokih zahtev po kisiku, v vodah s temperaturo nad 25°C večinoma ne pojavljajo (Hynes, 1970). Druge skupine makroinvertebratov, kot so trzače (Chironomidae) in maloščetinci (Oligochaeta), ki v razmerah z nizko koncentracijo kisika ali v anoksiji, ob eliminaciji vseh ostalih bentoških organizmov, dosegajo visoke gostote (Wetzel, 2001).

#### 2.5.1.5 Kemizem voda

##### 2.5.1.1.5 Elektroprevodnost

Elektroprevodnost je sposobnost vode, da prevaja električni tok. Odvisna je od temperature vode, stopnje disociacije snovi v ione, električnega naboja posameznih ionov in mobilnosti ionov. Elektroprevodnost se viša s stopnjo obremenitve s hranili. Vrednosti so najvišje jeseni, zaradi intenzivne razgradnje odpadlega listja, hranilne snovi pa se zaradi nizkih temperatur in posledične nizke stopnje produkcije porabljajo počasi. Vrednosti elektroprevodnosti se zmanjšujejo s padavinami, ki redčijo koncentracijo ionov v vodnem telesu. V celinskih vodah se vrednosti gibajo od 10 do 1000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , v močno obremenjenih vodah je ta vrednost presežena (Urbanič in Toman, 2003). Spremembe v združbi makroinvertebratov so odvisne od spreminjanja koncentracij različnih ionov v vodi. Giller in Malmqvist (1998) omenjata trdoto vode in koncentracijo aluminija kot pomembna faktorja pri razporejanju makroinvertebratov. Pomanjkanje kalcija ( $\text{Ca}^{2+}$  ion) lahko povzroča težave z osmozo pri številnih vrstah mehkužcev in ostalih makroinvertebratov.

#### 2.5.1.1.6 pH

Velik vpliv na kemizem voda imajo okoliške prsti in geološka podlaga po kateri vodotok teče. Vzrok kislosti v vodah so vodikovi ioni, ki so nevtralizirani s raztopino karbonatnih kamenin ali hidrolizo silikatnih kamenin, ko voda teče čez kamenine in prsti. Puferska sposobnost kamenin je torej odvisna od vsebnosti karbonata ali silikata (Giller in Malmqvist, 1998). V neonesnaženih vodah je pH pretežno odvisen od ravnotežja med anorganskimi oblikami ogljika  $\text{CO}_2$ ,  $\text{HCO}_3^-$  in  $\text{CO}_3^{2-}$  in prisotnosti drugih naravnih spojin, ki nižajo pH (npr. huminske kisline). Na naravno karbonatno ravnotežje lahko vplivajo industrijski efluenti in atmosfersko onesnaževanje s kislimi snovmi. Dnevno pH niha zaradi fotosintetske aktivnosti in dihanja primarnih producentov. Ob povečani fotosintetski aktivnosti se zaradi pomanjkanja  $\text{CO}_2$  lahko karbontano ravnotežje poruši. Slovenske vode tečejo večinoma po apnenčasti podlagi, njihov pH se giblje med 6 in 8,5 (Urbanič in Toman, 2003). Hildrew in Townsend (1987) sta ugotovila, da vrstna pestrost vodnih organizmov narašča z višanjem pH. Med tem ko se številne vrste izogibajo mest z nizkim pH (mladoletnice, mehkužci), so nekatere (npr. vrbnice, črne mušice) tam dobro zastopane. Tudi nekateri ekološki dejavniki so povezani z vrednostjo pH. V vodotokih z višjim pH je na primer vrstna diverziteteta pogosto višja, kar pomeni tudi večjo pestrost hrane (Giller in Malmqvist, 1998).

#### 2.5.1.1.7 Suspendirane snovi

Skupne suspendirane snovi so snovi, ki jih s filtracijo skozi stekleni filter odstranimo iz vode. Sestavljene so iz organske in anorganske komponente. Anorganske suspendirane snovi se spirajo iz površin ob nalivih, večji viri so kamnolomi in rudniške odplake. Večje količine anorganskih suspendiranih snovi negativno vplivajo na vodne organizme. Med organizmi in delci prihaja do trenja in posledično do poškodb vitalnih delov ter hitrega razširjanja glivičnih obolenj. Anorganske suspendirane snovi imajo posreden vpliv na organizme s povečanjem kalnosti voda in usedanjem, zaradi česar se zmanjša primarna produkcija – izraba hranil, kar vodi v evtrofnost vodnega telesa. Organske suspendirane snovi predstavljajo vir hrane za številne vodne makroinvertebrate, ki se prehranjujejo s filtracijo (Urbanič in Toman, 2003).

#### 2.5.1.1.8 Nitrati in fosfati

Kroženje dušika in fosforja je opisano v poglavju 2.1.2. Na koncentracije hranil v celinskih vodah ima poleg naravnih virov danes velik vpliv tudi človek s kmetovanjem, industrijo in komunalnimi odplakami. Hranila so pomembni limitirajoči dejavniki primarne produkcije (Giller in Malmqvist, 1998).

Nitratni ioni ( $\text{NO}_3^-$ ) so končni produkt aerobne razgradnje dušikovih skupin. V neonesnaženih vodah so sezonske spremembe nitratov posledica primarne produkcije in odmiranja organizmov. V takšnih sistemih vrednosti ne presegajo 1 mg/L. Koncentracije

do 10 mg/L so posledica spiranja kmetijskih zemljišč. Ob prisotnosti industrijskih odpadnih voda in komunalnih odplak vrednosti ponavadi ne presegajo 25 mg/L (Urbanič in Toman, 2003).

Fosfor je omejujoč dejavnik primarne produkcije v vodnem okolju in je zaradi aktivnega privzemanja primarnih producentov redko prisoten v višjih koncentracijah. V neobremenjenih sistemih so njegove vrednosti pod 0,1 mg/L. Na območjih intenzivnega kmetovanja se vrednosti zaradi izpiranja zemljišč povzpnejo do 0,25 mg/L. Višje vrednosti so posledica industrijskega in komunalnega onesnaževanja (Urbanič in Toman, 2003).

Bogatenje voda s hranili, še posebej z nitrati in fosfati, povzroča spremembe vodnih združb. Biomasa nitastih alg, cianobakterij in makrofitov se močno poveča. Koncentracija raztopljenega kisika se čez dan zaradi intenzivne fotosinteze poviša, ponoči pa se zaradi intenzivnega dihanja močno zniža. V takšnih razmerah se poveča številčnost vrst makroinvertebratov, ki so prilagojene na nizke koncentracije kisika in zmanjša številčnost občutljivejših vrst (Parr in Mason, 2003).

## **2.5.2 Vpliv biotskih dejavnikov na združbo makroinvertebratov**

Interakcije med organizmi vključujejo plenilstvo, tekmovalnost, parazitizem in bolezni.

Organizmi tekmujejo za različne dobrine; prostor, hrano, partnerja za reprodukcijo ipd. Interspecifična kompeticija za prostor je med bentičnimi makroinvertebrati prisotna pri organizmih, ki so manj mobilni (npr. mladoletnice, ki gradijo hiške, črne mušice). Številne vrste vodnih nevretenčarjev so teritorialne in agresivno branijo svoj teritorij. Obstaja pa tudi kompeticija med bolj mobilnimi organizmi. Ti tekmujejo za hrano npr. kompeticija med mobilnimi strgalci, kot so trzače, nekatere enodnevnice in mladoletnice (Giller in Malmqvist, 1998).

Plenilci vodnih nevretenčarjev, kot so ribe in velike plenilske žuželke, zaužijejo znaten delež makroinvertebratov. Nevretenčarski plenilci prevladujejo na vodni gladini (vodni drsalci Gerromorpha, hrošči družine Gyrinidae in dvokrilci družine Empididae) in v plitvini ob bregovih (ličinke vrbic, mladoletnic družine Rhyacophilidae, nekateri dvokrilci). V vodnem stolpcu so edini plenilci ribe. (Giller in Malmqvist, 1998). V mnogih primerih je produkcija nevretenčarskih plenilcev večja od produkcije vretenčarskih plenilcev (Wetzel, 2001). V nekaterih vodnih telesih igra plenilstvo pomembno vlogo, med tem, ko je v drugih popolnoma nepomembno. Raziskave vpliva vodnih plenilcev na populacije plena so pokazale, da plenilci nimajo bistvenega vpliva na združbe plena, razen če je plenilec močno specializiran, kar pa ni značilno za vodne plenilce, ki so večinoma polifagni. Prisotnost plenilcev vpliva na vedenje plena tako, da plen spremeni svojo dnevno aktivnost, se premika na daljše razdalje in poje manjše količine hrane (Giller in Malmqvist, 1998).

Parazitizem in različne bolezni imajo lahko močan vpliv na distribucijo organizmov. Številni organizmi v tekočih vodah so gostitelji različnih parazitov; gliv, glist, pršic in

žuželk. Paraziti pogosto vplivajo na vedenje gostiteljev, njihovo dolžino življenja in smrtnost, plodnost, velikost ter ontogenetski razvoj (Giller in Malmqvist, 1998).

### 3 MATERIAL IN METODE

#### 3.1 IZBIRA VZORČNIH MEST IN OBDOBJE VZORČENJ

Raziskave so potekale na 7,2 km dolgem odseku reke Savinje, znotraj katerega je iztok iz Centralne čistilne naprave Celje. Z namenom, da bi ugotovili vpliv čistilne naprave na reko Savinjo, smo izbrali tri vzorčna mesta. Prvo vzorčno mesto z imenom Polule se nahaja za mestom Celje in izlivom reke Voglajne, a pred iztokom čistilne naprave. S tem vzorčnim mestom smo želeli zajeti stanje reke, ko zapusti mesto Celje, se vanjo izlije reka Voglajna in je še brez vpliva čistilne naprave. Drugo vzorčno mesto Tremerje se nahaja približno 1 km za iztokom Centralne čistilne naprave Celje v Tremerjih. Tu reka že prejme iztok iz čistilne naprave, vsebina iztoka pa se do vzorčnega mesta z reko Savinjo ustrezno premeša. Tretje vzorčno mesto, ki smo ga poimenovali Laško, se nahaja 3 km za iztokom iz čistilne naprave. Vzorčno mesto je bilo izbrano z namenom ugotoviti samočistilno sposobnost reke Savinje.

Vzorčili smo v obdobju devetih mesecev, od julija 2007 do aprila 2008. V tem obdobju smo izvedli tri vzorčenja; poletno 18.7.2007, jesensko-zimsko 14.11.2007 in pomladansko 27.4.2008. Pomladansko vzorčenje je bilo prvotno načrtovano v mesecu marcu, a smo ga zaradi visokih vodostajev, v katerih je bilo vzorčenje nemogoče, izvedli mesec kasneje. Dne 18.9.2007 so bile visoke vode; merilna postaja na reki Savinji pri Laškem je takrat izmerila kar dvajsetkrat večji pretok od povprečnega (vir: [http://www.arso.gov.si/vode/podatki/stanje\\_voda.html](http://www.arso.gov.si/vode/podatki/stanje_voda.html)).

## 3.2 OPIS VZORČNIH MEST

### 3.2.1 Vzorčno mesto Polule

Lokacija: 300 m pred mostom čez Savinjo v Polulah

Razdalja do izliva: 23,3 km

Ravninske koordinate v Gauss-Krügerjevi projekciji: Y=520812; X=119588



**Slika 2:** Ortofoto posnetek z označeno lokacijo vzorčnega mesta Polule  
(Vir: [http://gis.arso.gov.si/atlasokolja/profile.aspx?id=Atlas\\_Okolja\\_AXL@Arso](http://gis.arso.gov.si/atlasokolja/profile.aspx?id=Atlas_Okolja_AXL@Arso))

Prvo vzorčno mesto se nahaja tik pred naseljem Polule, kjer reka Savinja že zapusti mesto Celje in teče po cca. 200 m široki ravnici, ki jo na obeh straneh omejujejo strma, gozdnata pobočja. Približno 150 m pred vzorčnim mestom se vanjo izliva reka Voglajna. Na vzorčnem mestu so bregovi Savinje na obeh straneh utrjeni s kamnometom. Širina reke je ob vzorčenjih 18.7.2007 in 14.11.2007 znašala 27 m, dne 27.4.2008 pa 30 m. Večina vode teče po desni strani struge, na levi strani je prodišče. Globina se enakomerno povečuje od levega proti desnemu bregu. Na odseku ni izrazitih brzic in tolmunov. V reki so prisotni redki posamezni primerki vrste klasasti rmanec (*Myriophyllum spicatum*). Po površini reke so plavale posamezne nekonsistentne pene, prisotni so bili tudi posamezni kosovni odpadki (kovina, plastika). Levi breg porašča nizko rastlinje, ki je redno košeno. Približno 20 m od levega brega, vzporedno z reko poteka cesta. V zaledju prevladujejo travniki, 120 m od levega brega je gozdni rob. Desni breg poraščajo nizke vrbe. 20 m od brega poteka cesta, gozdni rob se nahaja na razdalji 40 m od reke. Senčenje je zanemarljivo.



**Slika 3:** Vzorčno mesto Savinja, Polule



### 3.2.2 Vzorčno mesto Tremerje

Lokacija: 1,2 km za železniškim mostom v Tremerjih

Razdalja do izliva: 18,0 km

Ravninske koordinate v Gauss-Krügerjevi projekciji: Y=518203; X=116698



**Slika 4:** Ortofoto posnetek z označeno lokacijo vzorčnega mesta Tremerje in Centralne čistilne naprave Celje (CČNC) (Vir: [http://gis.arso.gov.si/atlasokolja/profile.aspx?id=Atlas\\_Okolja\\_AXL@Arso](http://gis.arso.gov.si/atlasokolja/profile.aspx?id=Atlas_Okolja_AXL@Arso))

Tukaj Savinja začne močnejše meandrirati in ravnica ob reki se razširi. Vzorčno mesto se nahaja približno 1 km za iztokom Centralne čistilne naprave Celje v Tremerjih, tik preden reka zavije močno v levo. Kljub temu, da so bregovi utrjeni s kamnometom, je rečna dinamika ohranjena bolje, kot na preostalih dveh vzorčnih mestih. Širina glavne struge je dne 18.7. 2007 merila 35 m, dne 14.11.2007 je znašala 38 m in dne 27.4.2008 34 m. Večina vode teče po levi strani struge. Na desni se nahaja prodišče, ki od glavnega toka ločuje manjši rokav. Po poplavih 18.9.2007 je nastalo večje prodišče tudi na levi strani struge. Odsek je hidrološko pester, na kar nakazuje tudi pestrost substrata. Prisotne so brzice in tolmeni, globina je precej neenakomerna, a se v splošnem povečuje od levega proti desnemu bregu. Tako v glavni strugi, kot tudi v stranskih rokavih, se pojavlja makrofit klasasti rmanec (*Myriophyllum spicatum*) v gostih sestojih. Levi breg poraščajo nizke vrbe, katerih veje segajo do vodne gladine. Zaledje desnega brega se nadaljuje v travnike, ki hitro prehajajo v gozd, ki porašča pobočja rečne doline. Desni breg poraščajo večinoma visoke steblikle (množično je prisoten japonski dresnik (*Fallopia japonica*)) in nizke vrbe. V oddaljenosti 30 m od desnega brega potekata cesta in železnica. V zaledju je le malo

travnatih površin, saj se v oddaljenosti 70 m od reke že začne dvigovati gozdnato pobočje. Senčenje je zanemarljivo. Vzorčno mesto Tremerje je bilo po poplavih septembra 2007 najbolj spremenjeno. Glavni tok struge se je prestavil iz leve strani reke na desno stran, razporeditev substrata je bila popolnoma spremenjena. Ob vzorčenju 14.11.2007 so bile živali prisotne le na majhnih zaplatah starega substrata, na novo prinesenem substratu je bilo prisotnih zelo malo makroinvertebratov.



**Slika 5:** Vzorčno mesto Savinja, Tremerje.

### 3.2.3 Vzorčno mesto Laško

Lokacija: 2 km pred mostom čez Savinjo pod vasjo Jagoče v Laškem

Razdalja do izliva: 16,0 km

Ravninske koordinate v Gauss-Krügerjevi projekciji: Y=518822; X=114891



**Slika 6:** Ortofoto posnetek z označeno lokacijo vzorčnega mesta Laško  
(Vir: [http://gis.arso.gov.si/atlasokolja/profile.aspx?id=Atlas\\_Okolja\\_AXL@Arso](http://gis.arso.gov.si/atlasokolja/profile.aspx?id=Atlas_Okolja_AXL@Arso))

Tretje vzorčno mesto se nahaja preden Savinja priteče v mesto Laško, približno 3 km za iztokom iz čistilne naprave. Bregovi so obloženi s kamnometom, reka nima izrazitih zavojev, substrat v strugi je zelo monoton, večinoma ga sestavlja mezolital. Globina je po celotni strugi enakomerna, le ob levem bregu je prisotna močna poglobitev, po kateri teče večina vode. Na odseku ni izrazitih brzic in tolmunov. Širina struge je dne 18.7. in 14.11.2007 znašala 38 m, ob vzorčenju 27.4.2008 smo izmerili 41 m. Na levem bregu reke je prisotno le malo obrežne vegetacije, območje namreč redno kosijo. V zaledju prevladujejo pašniki in gozdnate površine. Desni breg poraščajo visoke steblike (prevladuje japonski dresnik (*Fallopia japonica*)) in vrbe. V zaledju so prisotne tako travnate površine, kot gozd. V oddaljenosti 40 m od reke potekata cesta in železnica. V reki je bilo na vseh vzorčenjih prisotnih precej odpadlega rastlinskega materiala (listja, vejic). Vzorčno mesto se je od ostalih dveh razlikovalo tudi po veliki količini finih usedlin (mulja), ki so pokrivalo substrat na dnu reke. Po poplavih septembra 2007 so bile spremembe v sestavi substrata na tem vzorčnem mestu najmanjše. Vzrok lahko iščemo v večji velikosti kamnov, ki so sestavljali substrat na tem vzorčnem mestu.



**Slika 7:** Vzorčno mesto Savinja, Laško

### 3.3 MERITVE HIDROMORFOLOŠKIH PARAMETROV

Ob vsakem vzorčenju smo na vseh treh vzorčnih mestih izmerili hitrost vodnega toka na površini in opisali substrat na rečnem dnu.

#### 3.3.1 Hitrost vodnega toka na površini in pretok

Dobljene vrednosti smo preračunali na 6/10 globine po enačbi (2), kar je povprečna hitrost vodnega toka. Za preračun smo uporabili koeficient  $K_p = 0,70$  in globino 1m (preglednica 2).

Na reki smo z metrom izmerili dolžino 10 m in na štirih točkah s štoparico izmerili čas, ki ga plovec potrebuje, da prepotuje to razdaljo. Povprečno hitrost vodnega toka na površini smo izračunali po naslednji enačbi (Urbanič in Toman, 2003):

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

kjer je:

$V_{por}$  – hitrost vodnega toka na površini (m/s)

$l$  – dolžina potovanja plovca (m)

$t$  – trajanje potovanja plovca (s)

Povprečno hitrost vodnega toka smo dobili tako, da smo povprečne vrednosti površinske hitrosti (enačba 1) preračunali na 6/10 globine (enačba 2). Pri izračunu smo uporabili koeficient 0,70 m, ki odgovarja globini 1 m (Urbanič in Toman, 2003):

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

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 ?)

**Preglednica 2:** Vrednost 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

Pretok Savinje smo poiskali na internetni strani Agencije republike Slovenije za okolje ([http://www.arso.gov.si/vode/podatki/stanje\\_voda.html](http://www.arso.gov.si/vode/podatki/stanje_voda.html)), kjer so objavljeni podatki avtomatske merilne postaje Savinje – Laško.

### 3.3.2 Substrat

Substrat na rečnem dnu smo opisali po metodi, prilagojeni po AQEM consortium (2002). Anorganski in organski substrat smo glede na vrsto in velikost delcev razdelili v kategorije ter ocenili površinske deleže, ki jih posamezne kategorije substrata zajemajo na rečnem dnu (Urbanič in Toman, 2003).

**Preglednica 3:** Razvrstitev anorganskega substrata po velikosti delcev (prilagojeno po AQEM 2002)

Kategorija	Opis	Premer delcev (cm)
megalital	skale, živa skala	>40
makrolital	veliki kamni	20 – 40
mezolital	majhni kamni	6 – 20
mikrolital	veliki prodniki	2 – 6
akal	majhni in srednji prodniki	0,2 – 2
psamal	pesek in blato	0,006 – 0,2
agrilal	mulj, glina	<0,0006

**Preglednica 4:** Razvrstitev organskih substratov (prilagojeno po AQEM 2002)

Kategorija	Opis
alge	nitaste alge, kosmi alg
potopljeni makrofiti	cvetnice, hare, mahovi
emergentni makrofiti	šiški, 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

### 3.4 MERITVE FIZIKALNIH IN KEMIJSKIH PARAMETROV

Na vseh treh vzorčnih mestih na reki Savinji smo ob vsakem vzorčenju izmerili naslednje fizikalne in kemijske parametre: temperatura, koncentracija raztopljenega kisika, nasičenost vode s kisikom, elektroprevodnost, pH, koncentracija nitratnih ionov ( $\text{NO}_3^-$ ), koncentracijo ortofosfatnih ionov ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) in skupne suspendirane snovi.

#### 3.4.1 Temperatura, koncentracija raztopljenega kisika in nasičenost vode s kisikom

Na terenu smo z oksimetrom (WTW Multi 340i/Cell Ox 325) izmerili temperaturo vode ( $^{\circ}\text{C}$ ), koncentracijo raztopljenega kisika (mg/L) in nasičenost vode s kisikom (%).

#### 3.4.2 Elektroprevodnost in pH

Obe meritvi smo izvedli na terenu. Elektroprevodnost ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) smo izmerili s konduktometrom (WTW Multi 340i/TetraConR 325) in pH s pH-metrom (WTW Multi 340i/SenTix 41-3).

#### 3.4.3 Nitrati

Vsebnost nitratov smo določali na terenu odvzetim vzorcem vode v laboratoriju. Uporabili smo metodo z natrijevim salicilatom, pri kateri nitratni ioni v mediju brezvodne žveplene kisline z natrijevim salicilatom tvorijo rumeno obarvano nitrosalicilno kislino, koncentracijo katere določamo na spektrofotometru pri valovni dolžini 430 nm. Koncentracijo nitratov (mg/L) izračunamo tako, da povprečno vrednost ekstinkcije množimo s koeficientom 9,63 (Urbanič in Toman, 2003).



**Slika 8:** Po dodatku reagentov za določanje koncentracije nitratnih ionov se vzorci vode, ki vsebujejo nitrate, obarvajo rumeno

#### 3.4.4 Fosfor

Tudi vsebnosti ortofosfatnih ionov smo določali v laboratoriju. Pri delu smo uporabili metodo s kositrovim (II) kloridom. Amonmolibdat namreč s fosforjem v kislem mediju tvori fosfomolibdat, ki ga s kositrovim (II) kloridom pretvorimo v intenzivno modro obarvan kompleks, katerega vsebnost ugotavljamo na spektrofotometru pri valovni dolžini 690 nm. Koncentracijo ortofosfatnih ionov izračunamo tako, da povprečno ekstinkcijo množimo s koeficientom 1,38 (Urbanič in Toman, 2003).

#### 3.4.5 Skupne suspendirane snovi

Vsebnost skupnih suspendiranih snovi smo določali laboratorijsko. 1 L vode smo prefiltrirali skozi sušen in stehtan stekleni filter in ga sušili pri temperaturi 105 °C. Razlika v suhi masi filtra pred in po filtraciji predstavlja maso skupnih suspendiranih snovi (mg) (Urbanič in Toman, 2003).



### 3.5 BIOLOŠKE ANALIZE

#### 3.5.1 Določanje količine klorofila *a*

Vzorce perifitona smo postrgali iz enako velikih površin kamnov, ki so merile  $2 \times 2,5$  cm. Količino klorofila *a* smo določali na terenu odvzetim vzorcem perifitona v laboratoriju. Uporabili smo ekstrakcijsko metodo, po kateri merimo vsebnost klorofila v primarnih producentih po ekstrakciji z metanolom. Vzorec smo prefiltrirali in ekstrahirali z metanolom v vodni kopeli. S spektrofotometrom smo izmerili absorpcijo pri valovnih dolžinah 665 nm in 750 nm. Vsebnost klorofila v vzorcih smo nato izračunali po enačbi (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*...koncentracija klorofila *a* (mg/ cm<sup>2</sup>),
- A<sub>665</sub>...absorpcija pri 665 nm,
- A<sub>750</sub>...absorpcija pri 750 nm,
- V<sub>m</sub>...volumen metanola (ml),
- P<sub>p</sub>...površina postrganega perifitona (cm<sup>2</sup>),
- I...širina kivete v spektrofotometru (cm).

#### 3.5.2 Vzorčenje makroinvertebratov

Makroinvertebrate smo vzorčili semikvantitativno. Takšno vzorčenje ima namen zajeti čim večje število mikrohabitata in je omejeno s številom podvzorcev. Na ta način lahko izračunamo deleže vrst, ne moremo pa določiti števila osebkov na površinsko enoto (Urbanič in Toman, 2003). Na vsakem vzorčnem mestu smo odvzeli deset podvzorcev na približni površini  $25 \times 25$  cm. Pred samim vzorčenjem smo ocenili deleže velikostnih kategorij substrata na 10 m dolgem odseku reke. V desetih podvzorcih smo zajeli vse velikostne kategorije substrata, ki so zavzemale več kot 10 % površine rečnega dna. Število podvzorcev, ki smo jih odvzeli na posamezni kategoriji substrata je bilo sorazmerno z deležem površine, ki ga je ta kategorija zavzemala na rečnem dnu. Vzorčili smo po metodi »kick sampling« (Dall et al., 1995). Uporabljali smo standardno ročno mrežo, velikosti okvirja  $25 \times 25$  cm in odprtinami  $0,5 \times 0,5$  mm. Z vzorčenjem smo začeli na točki, ki leži najnižje po toku navzdol in se pomikali navzgor. Ročno mrežo smo pod pravim kotom trdno pritisnili na rečno dno tako, da je bila odprtina obrnjena proti toku. Stoječ pred mrežo smo nogo postavili tik pred mrežo in s peto brcnili približno 25 cm nazaj proti toku. Na ta način je tok dvignjene živali in sediment odnesel v mrežo. Postopek smo ponavljali na isti točki ne da bi mrežo premaknili, dokler celotno polje velikosti  $25 \times 25$  cm ni bilo razbrčano. Vzorcem smo na terenu dodali 4 % formalin za fiksacijo. V laboratoriju smo formalin iz vzorcev sprali in iz njih pobrali makroinvertebrate. Te smo shranili v 70 % etanolu.

### 3.5.3 Določanje makroinvertebratov

Ob prebiranju vzorcev smo posamezne osebke ločili glede na višje taksonomske skupine (Ephemeroptera, Plecoptera, Diptera...), čemur je sledila natančnejša določitev. Pri določanju smo uporabljali naslednjo literaturo:

Gastropoda, Bivalvia: Bole J. (1969)  
 Oligochaeta: Brinkhurst R. O. (1971)  
 Hirudinea: Neseemann H. (1997), Elliot J. M., Mann K. H. (1979)  
 Crustacea: Karaman G. S. (1996), Eggers T. O., Martens A. (1991)  
 Ephemeroptera: Bauernfeind E., Humpesch U. H. (2001), Tachet H. (2000)  
 Plecoptera: Zwick P. (2005), Tachet H. (2000)  
 Odonata: Askew R. R. (2004)  
 Heteroptera: Savage A. A. (1989)  
 Coleoptera: Tachet H. (2000)  
 Trichoptera: Urbanič G. (2003), Tachet H. (2000)  
 Diptera: Sundermann A., Lohse S. (2005), Tachet H. (2000)

### 3.5.4 Statistične analize

Združbo velikih vodnih nevretenčarjev reke Savinje smo predstavili kot seznam taksonov z abundanco taksonov. Izračunali smo deleže osebkov posameznih višjih taksonomskih skupin. Izračunali smo tudi deleže, prehranskih skupin na posameznih vzorčnih mestih ob različnih časih vzorčenja.

Za prikaz sprememb v biomasi, strukturi in vrstni sestavi združbe med posameznimi vzorčnimi mesti ob različnih vzorčenjih smo uporabili Shannon – Wienerjev diverzitetni indeks, saprobni indeks in klustersko analizo združbe makroinvertebratov.

#### 3.5.4.1 Deleži osebkov posameznih višjih taksonomskih skupin

Makroinvertebrate v naših vzorcih smo razvrstili v 14 višjih taksonov: Gastropoda, Bivalvia, Oligochaeta, Hirudinea, Amphipoda, Isopoda, Hydracarina, Ephemeroptera, Plecoptera, Odonata, Heteroptera, Coleoptera, Trichoptera in Diptera. Izračunali smo deleže posameznih višjih taksonov (enačba 4).

Delež osebkov višjih taksonomskih skupin smo izračunali po enačbi:

$$p_i = \frac{n_i}{n} \quad \dots(4)$$

kjer je:

$p_i$ ...delež osebkov i-tega višjega taksona  
 $n_i$ ...število osebkov i-tega višjega taksona  
 $n$ ...skupno število vseh osebkov v vzorcu

### 3.5.4.2 Prehranske skupine

Po knjigi Fauna Aquatica Austriaca (Moog, 1995) smo taksone uvrstili v desetih prehranskih skupin, ki smo jih združili pod imeni: detritivori (DET), strgalci (WEI), drobilci (ZKL, HOL, MIN), filtratorji (AFIL, PFIL) in plenilci (RÄU, PAR). Izračunali smo deleže posameznih prehranskih skupin v vzorcih.

### 3.5.4.3 Shannon – Wienerjev diverzitetni indeks

Diverzitetne indekse uporabljamo za ovrednotenje združb na podlagi diverzitete. Najpogosteje je v rabi Shannon – Wienerjev diverzitetni indeks (Washington, 1984) (enačba 5). Prednost tega indeksa je, da ni odvisen od površine s katere smo nabirali vzorce, saj pri izračunu upoštevamo relativne abundance taksonov. Pomanjkljivost Shannon – Wienerjevega diverzitetnega indeksa je v njegovi odvisnosti od sezone, pestrosti mikrohabitatov in taksonomske ravni določevanja. Pri vrednotenju na podlagi diverzitetnih indeksov izhajamo iz predpostavke, da vrstna diverziteta v ekosistemu v stresnih razmerah upada. Vendar je predpostavka v nekaterih vodnih okoljih napačna; neobremenjeni izvorni deli vodotokov imajo zaradi pomanjkanja hranil in temperaturnih razmer pogosto zelo nizke vrednosti  $H'$ . Zaradi naštetih pomanjkljivosti, Shannon – Wienerjev diverzitetni indeks najpogosteje uporabljamo le kot dodatno mero za opis združbe (Urbanič in Toman, 2003).

$$H' = - \sum p_i \times \log_2 p_i \quad \dots(5)$$

kjer je:

$H'$ ...diverziteta

$p_i$ ...delež i-tega taksona

**Preglednica 5:** Kakovost vodnega okolja v odvisnosti od vrednosti Shannon – Wienerjevega diverzitetnega indeksa (po Wilhm & Dorris, 1966, v: Washington 1984)

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

### 3.5.4.4 Saprobni indeks

Saprobni indeks (enačba 6) vrednoti organsko obremenjenost voda na podlagi prisotnosti indikatorskih organizmov. S pomočjo saprobnega indeksa lahko tekoče vode razdelimo v štiri osnovne kakovostne razrede (preglednica 6). Pojem saprobnost predstavlja metabolne procese, ki so obratni primarni produkciji. Ti procesi v kombinaciji z vnesenim kisikom določajo saprobno stopnjo vodnega telesa.

Za vsako vrsto je določena saprobna vrednost  $s_i$ ; ocena ekološkega pojavljanje nekga taksona. Indikatorska vrednost  $G$  daje težo taksonom z ozkim ekološkim pojavljanjem. Vrednosti  $s$  in  $G$  smo povzeli po Prilagoditvi saprobnega indeksa zahtevam Vodne direktive (direktiva 2000/60/ES) za vrednotenje ekološkega stanja rek v Sloveniji na podlagi bentoških nevretenčarjev (Urbanič in sod., 2006). Pri izračunu smo upoštevali le takšne taksoni, ki imajo vrednost  $G$  večjo ali enako 3. Vrednosti saprobnega indeksa smo izračunali po naslednji enačbi:

$$SI = \frac{\sum_{i=1}^n (h_i \times G_i \times s_i)}{\sum_{i=1}^n (h_i \times G_i)} \quad \dots(6)$$

$h_i$ ...absolutna ali relativna abundanca  $i$ -tega taksona

$G_i$ ...indikatorska vrednost  $i$ -tega taksona

$s_i$ ...saprobna vrednost  $i$ -tega taksona

$n$ ...število taksonov

Prednost saprobnega indeksa je v primernosti uporabe za vse tipe tekočih voda in v upoštevanju večjega števila taksonov, pomanjkljivost pa v zahtevnem določanju organizmov, saj morajo biti v večini primerov ti določeni do vrste.

**Preglednica 6:** Razvrstitev vodotokov v kakovostne razrede glede na vrednosti saprobnega indeksa (po Sladečku, 1973)

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

### 3.5.4.5 Klastrska analiza združbe makroinvertebratov

S klustersko analizo smo prikazali podobnost med vzorčnimi mesti ob različnih časih vzorčenja. Za mero podobnosti smo uporabili Bray – Curtisov indeks podobnosti (enačba 7), ki podobnost med dvema vzorcema vrednoti na podlagi abundance in števila taksonov, ki so vzorcema skupni – so hkrati prisotni v obeh obravnavanih vzorcih. Enačba Bray – Curtisovega indeksa podobnosti:

$$S_{BC} = \frac{2w}{(A+B)} \quad \text{ali} \quad S_{BC} = 1 - \frac{\sum |y_{ij} - y_{ik}|}{\sum (y_{ij} + y_{ik})} \quad \dots(7)$$

$S_{BC}$ ...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

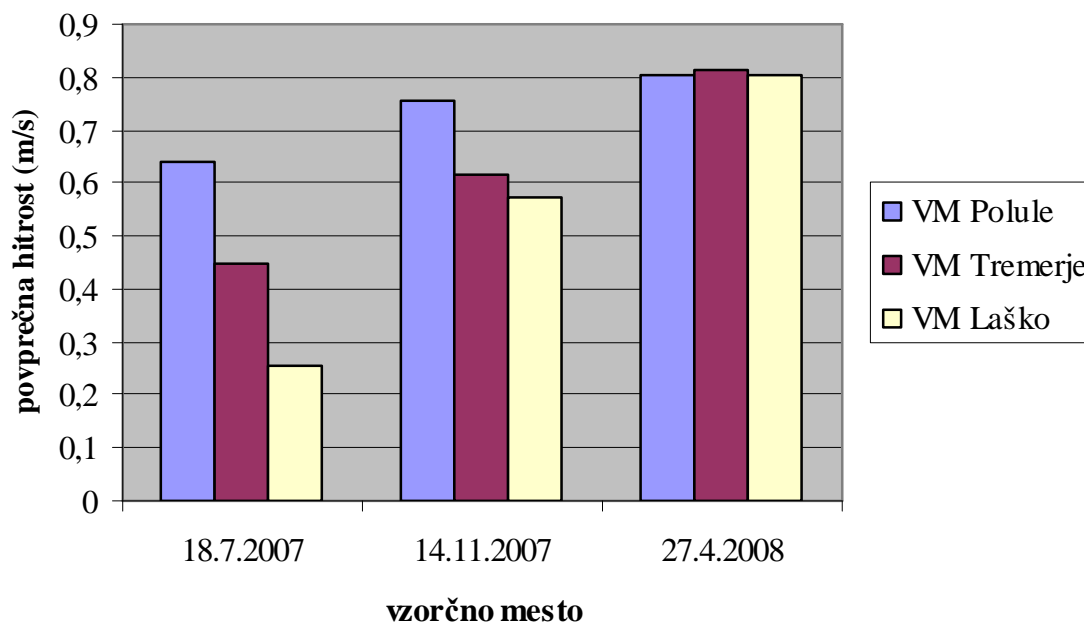
Vrednosti indeksa znašajo med 0 in 1. Pri vrednosti 0 sta si vzorca različna, pri vrednosti 1 pa sta si podobna.

Rezultate smo predstavili z dendrogramom različnosti, kjer vrednost 1 pomeni največjo različnost in vrednost 0 najmanjšo različnost med posameznimi vzorčnimi mesti ob različnih časih vzorčenja.

## 4 REZULTATI

### 4.1 MERITVE ABIOTSKIH PARAMETROV

#### 4.1.1 Hitrost vodnega toka



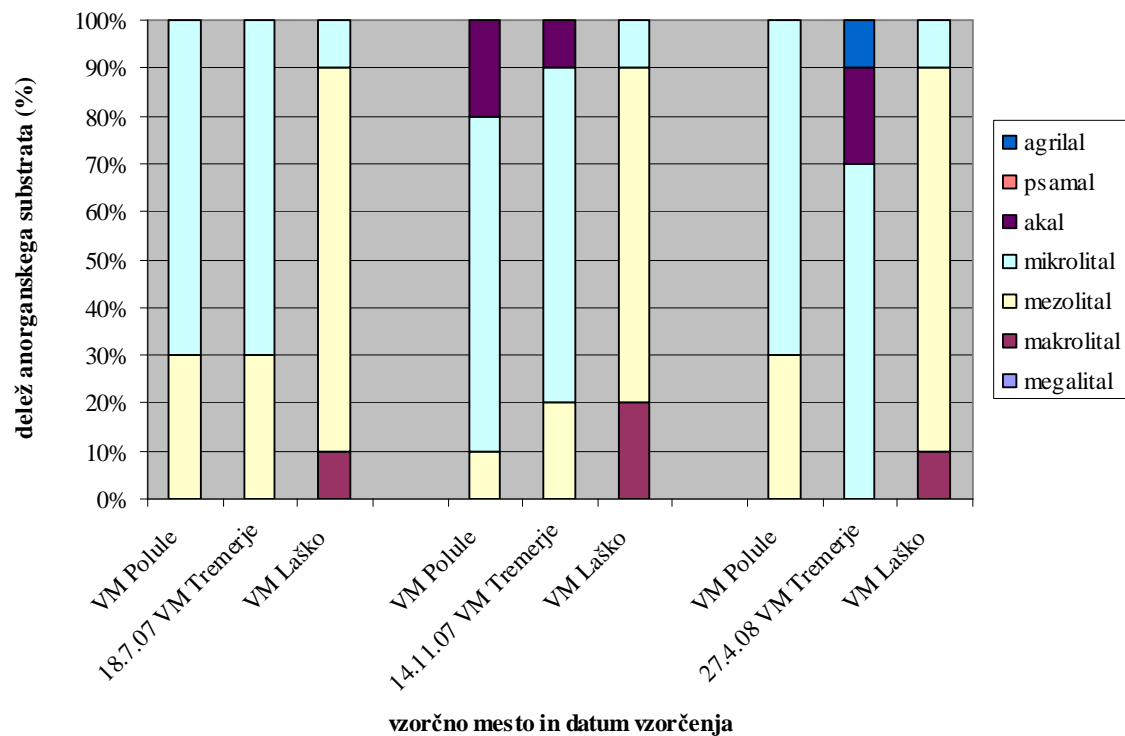
**Slika 9:** Rezultati meritev hitrosti vodnega toka na površini na treh vzorčnih mestih na reki Savinji ob treh različnih datumih vzorčenja

Ob vsakem vzorčenju smo zapisali tudi pretok Savinje, ki je bil ob 8h zjutraj izmerjen na merilni postaji v Laškem. Ta je dne 18.7.2007 znašal  $9,7 \text{ m}^3/\text{s}$ , dne 14.11.2007 smo zabeležili  $20,0 \text{ m}^3/\text{s}$  in dne 27.4.2008 je meritev znašala  $34,6 \text{ m}^3/\text{s}$ . Najnižjo hitrost vodnega toka smo izmerili poleti, 18.7.2007, na vzorčnem mestu Laško, ko je ta znašala  $0,26 \text{ m/s}$  in najvišje spomladi, 27.4.2008, na vzorčnem mestu Tremerje, ko smo izmerili hitrost  $0,81 \text{ m/s}$ .

Najmanjše hitrosti vodnega toka smo izmerili na poletnem vzorčenju in najvišje spomladi.

Rezultati meritev hitrosti vodnega toka so 18.7. in 14.11.2007 pokazali upadanje hitrosti vodnega toka od Polul proti Laškem. Ob spomladanskem vzorčenju 27.4.2008 so si bile hitrosti vodnega toka med posameznimi vzorčnimi mesti zelo podobne.

#### 4.1.2 Anorganski in organski substrat



**Slika 10:** Deleži anorganskega substrata na treh vzorčnih mestih na reki Savinji ob treh različnih datumih vzorčenja

**Preglednica 7:** Deleži organskega substrata na treh vzorčnih mestih na reki Savinji ob treh različnih datumih vzorčenja

DATUM	18.7.2007			14.11.2007			27.4.2008		
VZORČNO MESTO	VM1	VM2	VM3	VM1	VM2	VM3	VM1	VM2	VM3
makroalge [%]	0	0	0	0	0	0	0	0	0
potopljeni makrofiti [%]	+	20*	+	0	+	0	0	0	0
emergenetni makrofiti [%]	0	0	0	0	0	0	0	0	0
živi deli kopenskih rastlin [%]	0	0	0	0	0	0	+	+	+
ksilal (les) [%]	0	0	+	+	+	+	+	+	+
večji organski delci (CPOM) [%]	+	0	0	0	0	0	0	+	+
manjši organski delci (FPOM) [%]	0	0	0	0	0	0	0	0	0
"Sewage fungus" [%]	0	0	0	0	0	0	0	0	0

VM1 – VM Polule, VM2 – VM Tremerje, VM3 – VM Laško

+ - substrat zajema manj kot 5 % površine rečnega dna

\* - klasasti rmanec (*Myriophyllum spicatum*)

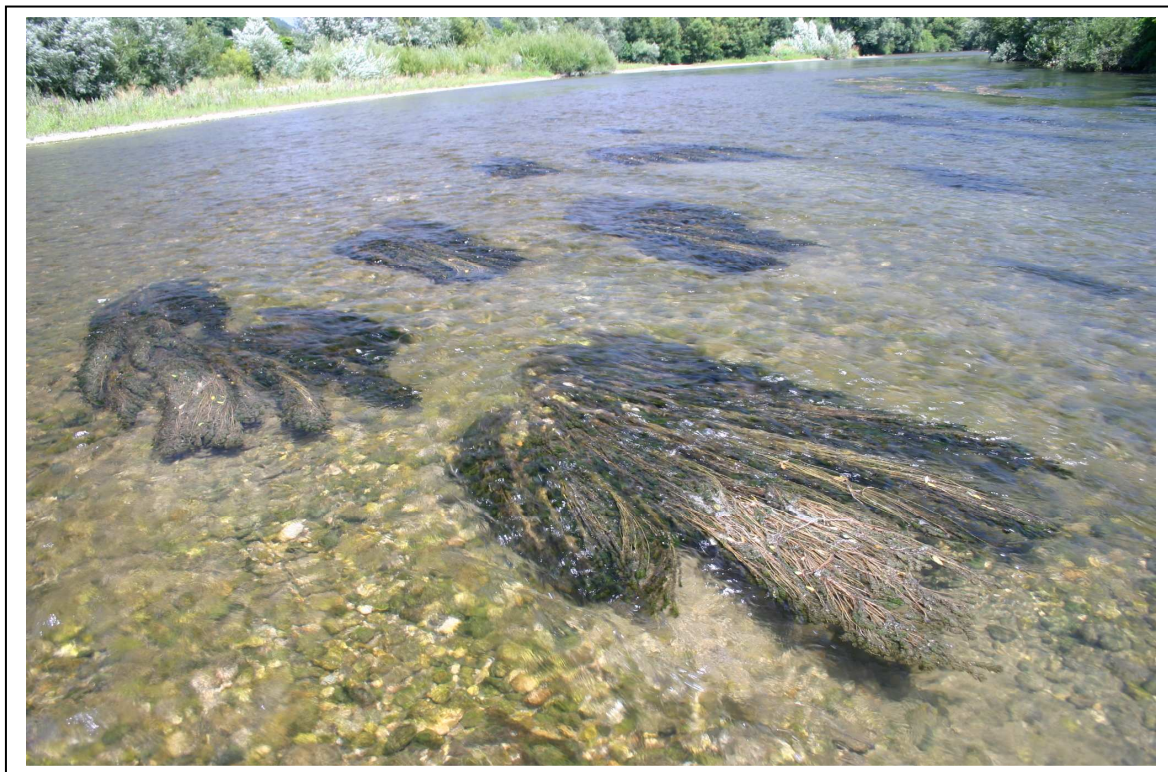
Sestava anorganskega substrata je bila na vzorčnih mestih v Polulah in Tremerjah podobna. Na obeh vzorčnih mestih je prevladoval mikrolital, prisotni so bili tudi mezolital, akal in agrilal. Vzorčno mesto v Laškem je odstopalo od ostalih dveh. Tu je prevladoval mezolital, v manjših deležih sta bila prisotna tudi mikrolital in makrolital.

Sezonsko se je sestava anorganskega substrata najmanj spreminjala na vzorčnem mestu Laško, kjer so bile spremembe minimalne. Največje razlike v sestavi substrata med posameznimi vzorčenji so bile opazne na vzorčnem mestu Tremerje.

Deleži organskega substrata so bili relativno nizki. Posamezne kategorije organskega substrata so bile večinoma prisotne v manj kot 5 %.

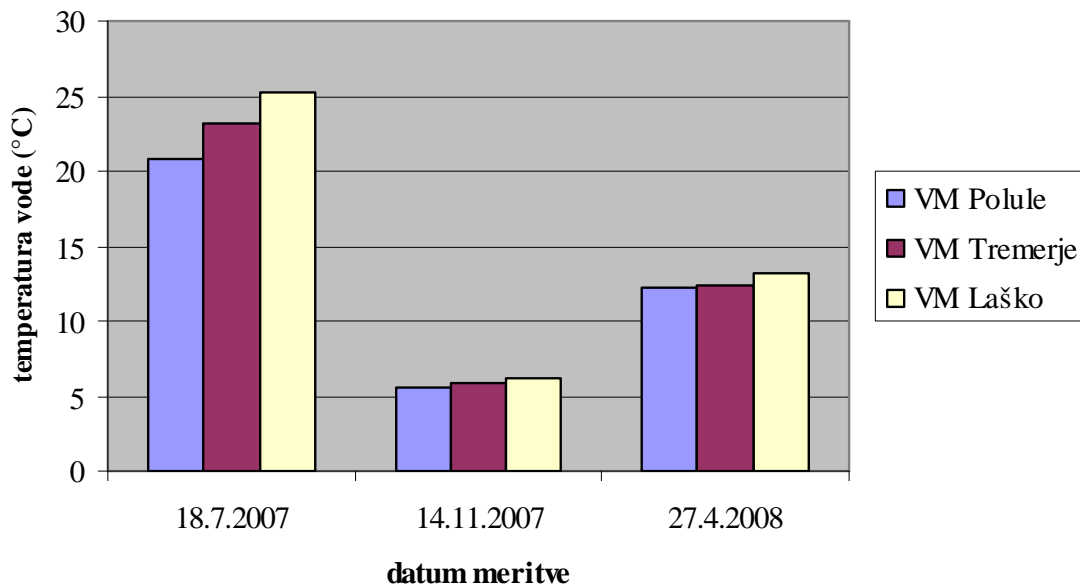
Razlike v sestavi organskega substrata so bile večje med sezonami, kot znotraj njih. Ob poletnem vzorčenju je bil na vseh treh vzorčnih mestih prisoten potopljen makrofit klasasti rmanec (*Myriophyllum spicatum*), ki je na vzorčnem mestu Tremerje poraščal 20 % površine. Ksilal (les) je bil splošno prisoten. Ob pomladanskem vzorčenju so bili v reki na vseh treh vzorčnih mestih prisotni živi deli kopenskih rastlin, pojavili so se tudi večji organski delci.





**Slika 11:** Rečno dno, ki ga porašča klasasti rmanec (*Myriophyllum spicatum*) na vzorčnem mestu Tremerje dne 18.7.2007

### 4.1.3 Temperatura vode



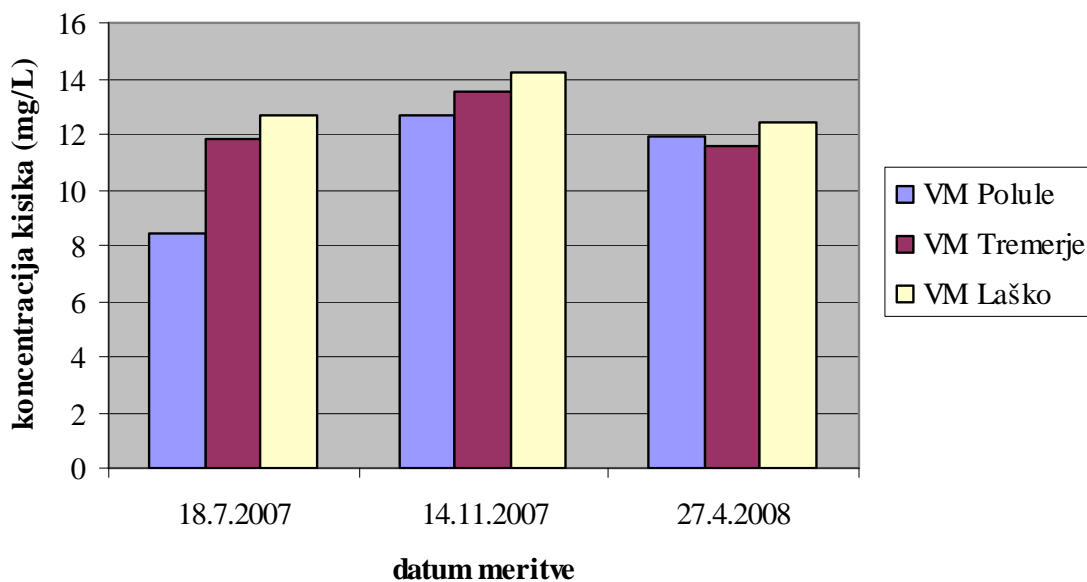
**Slika 12:** Rezultati meritev temperature vode na treh vzorčnih mestih na reki Savinji ob treh različnih datumih vzorčenja

Temperature vode so nihale med 5,6 °C in 25,2 °C. Najnižjo temperaturo smo izmerili dne 14.11.2007 na vzorčnem mestu Polule, najvišjo pa 18.7.2007 v Laškem.

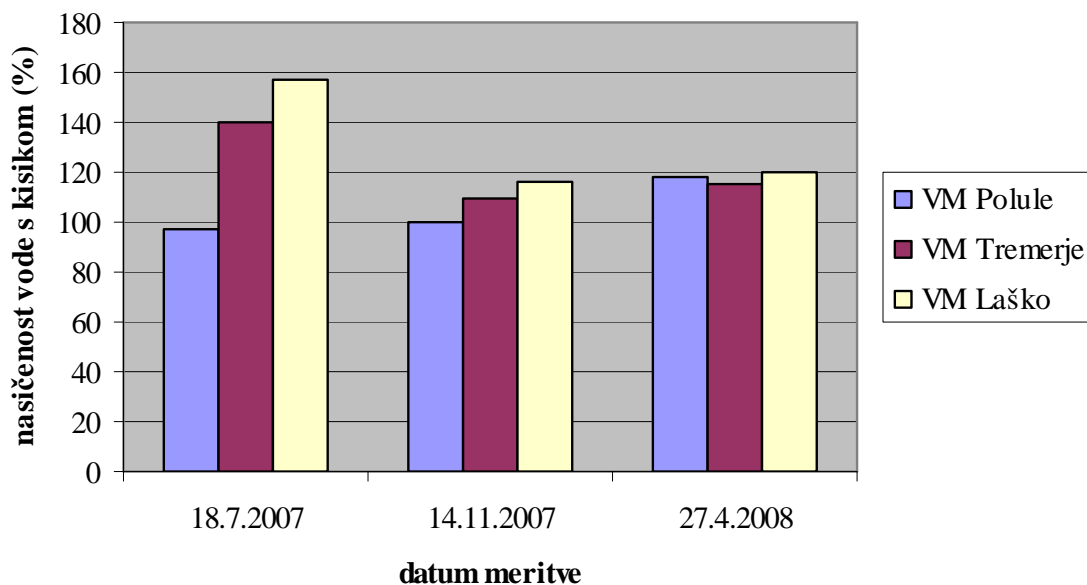
Rezultati meritev temperature vode kažejo sezonsko dinamiko. Najvišje temperature smo na vseh treh vzorčnih mestih na reki Savinji izmerili v poletnih meritvah 18.7.2007. Najnižje temperature smo na vseh treh vzorčnih mestih izmerili v jesensko – zimskih meritvah 14.11.2007.

Temperature so si bile ob istem vzorčenju med posameznimi vzorčnimi mesti precej podobne. Ob vseh treh časih meritev smo najnižjo temperaturo vedno izmerili v Polulah, najvišjo pa v Laškem. Temperatura vode je torej vedno naraščala po toku navzdol od Polul proti Laškem.

#### 4.1.4 Koncentracija raztopljenega kisika in nasičenost vode s kisikom



**Slika 13:** Rezultati meritev koncentracije kisika na treh vzorčnih mestih na reki Savinji ob treh različnih datumih vzorčenja



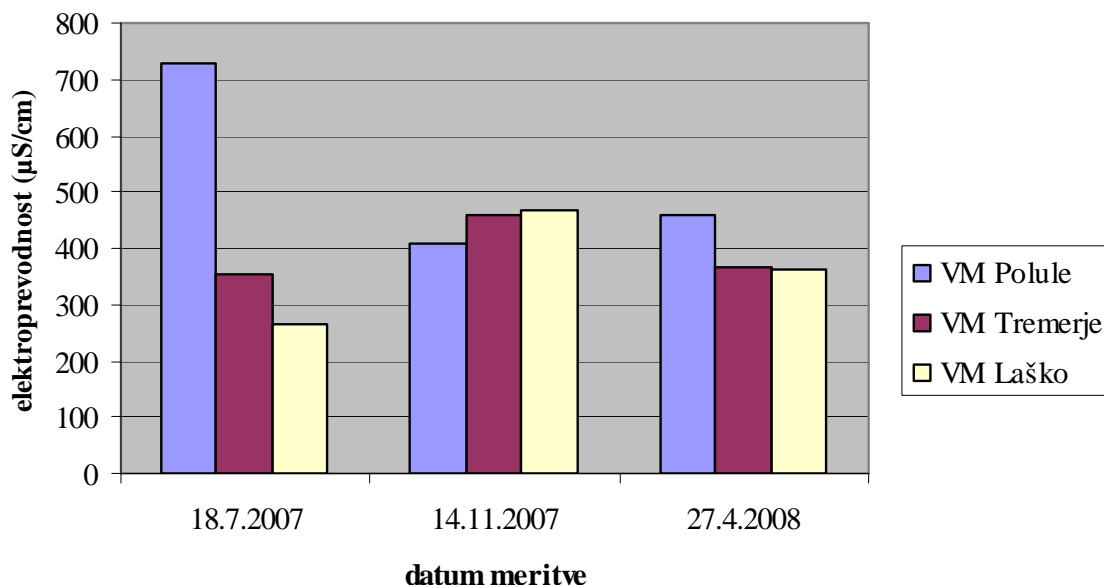
**Slika 14:** Rezultati meritev temperature vode na treh vzorčnih mestih na reki Savinji ob treh različnih datumih vzorčenja

Vrednosti koncentracije kisika in nasičenosti vode s kisikom so bile relativno visoke. Izmerjene vrednosti koncentracije kisika so nihale med 8,4 mg/L in 14,2 mg/L. Nasičenost vode s kisikom je nihala med 97 % in 157 %.

Izmerjena koncentracija kisika je bila na vseh vzorčnih mestih najnižja poleti in najvišja jeseni. Nasprotno je bila nasičenost vode s kisikom najvišja poleti, in najnižja jeseni. Razlike v koncentraciji kisika in v nasičenosti vode s kisikom med posameznimi vzorčnimi mesti so bile največje poleti in najmanjše spomladi.

Koncentracija kisika je praviloma naraščala od Polul proti Laškem, z najnižjo vrednostjo 18.7.2007 v Polulah in najvišjo 14.11.2007 v Laškem. Tudi nasičenost vode s kisikom je naraščala od Polul proti Laškem. Najnižjo vrednost smo izmerili 18.7.2007 v Polulah, najvišjo pa isti dan v Tremerjah.

#### 4.1.5 Elektroprevodnost



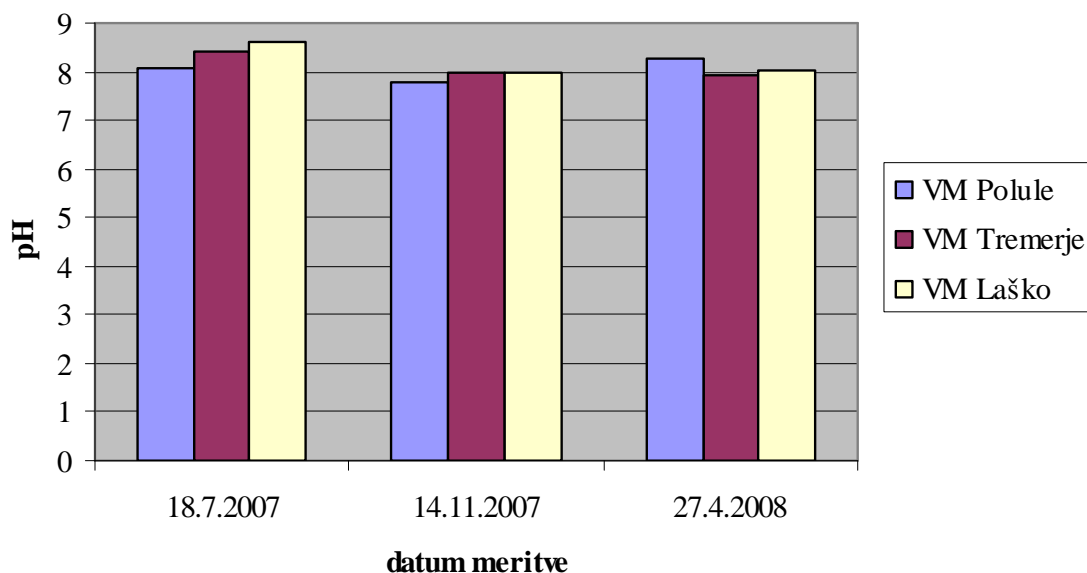
**Slika 15:** Rezultati meritev elektroprevodnosti na treh vzorčnih mestih na reki Savinji ob treh različnih datumih vzorčenja

Vrednosti električne prevodnosti so nihale med 266  $\mu\text{S}/\text{cm}$  in 730  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Od ostalih močno odstopa meritev 18.7.2007 v Polulah, ko je elektroprevodnost znašala kar 730  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Najnižja vrednost elektroprevodnosti je bila izmerjena 18.7.2007 v Laškem.

Na sliki ni opaznega izrazitega sezonskega spreminjanja elektroprevodnosti.

Vrednosti so bile poleti in spomladi najvišje na vzorčnem mestu v Polulah in so padale proti Laškem. V nasprotju z ostalimi meritvami, pa smo 14.11.2007 izmerili najnižjo elektroprevodnost v Polulah in višjo v Tremerjah in Laškem.

#### 4.1.6 pH



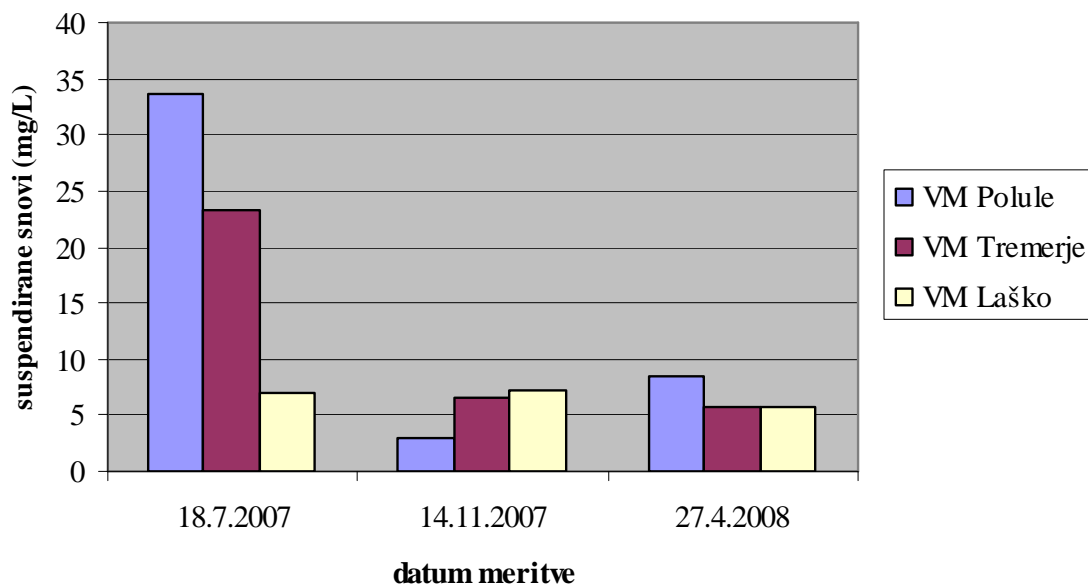
**Slika 16:** Rezultati meritev pH na treh vzorčnih mestih na reki Savinji ob treh različnih datumih vzorčenja

Vrednosti pH so nihale v bazičnem področju med 7,8 in 8,6. Najnižjo pH vrednost smo izmerili 14.11.2007 v Polulah, najvišjo pa 18.7.2007 v Laškem.

Najnižje vrednosti pH smo izmerili na jesensko – zimskem vzorčenju (14.11.2007), najvišje pa poleti (18.7.2007), vendar so bile razlike v vrednostih pH med obema vzorčenjema zelo majhne. Razlike med vzorčnimi mesti so bile največje poleti, ko je razlika med najnižjo in najvišjo vrednostjo pH znašala 0,5. Najmanjše razlike v pH posameznih vzorčnih mest smo zabeležili jeseni, razlika med najmanjšo in največjo vrednostjo je znašala 0,2.

Poleti in jeseni je pH naraščal po toku navzdol; najnižje vrednosti smo izmerili v Polulah in najvišje v Laškem. V nasprotju z ostralima dvema vzorčenjima smo na spomladanskem vzorčenju izmerili najvišjo vrednost pH v Polulah in najnižjo v Tremerjah. Poudariti velja, da so bile razlike v vrednostih pH med posameznimi vzorčnimi mesti zelo majhne, znašale so od 0 do 0,5.

#### 4.1.7 Skupne suspendirane snovi (TSS)



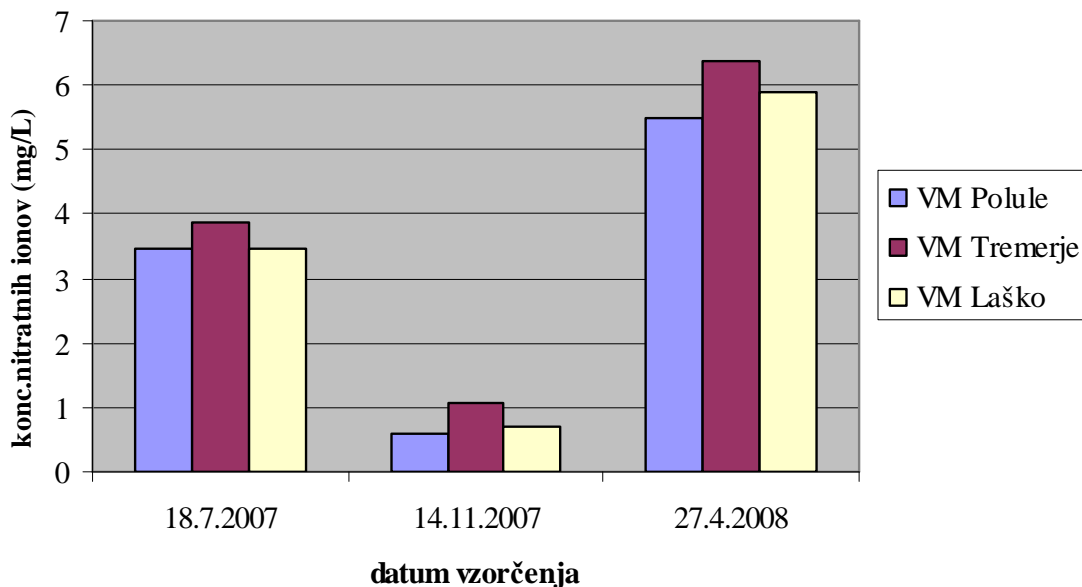
**Slika 17:** Rezultati meritev skupnih suspendiranih snovi na treh vzorčnih mestih na reki Savinji ob treh različnih datumih vzorčenja

Meritve skupnih suspendiranih snovi so pokazale vrednosti med 3,0 mg/L in 33,6 mg/L. Najvišja vrednost skupnih suspendiranih snovi je bila izmerjena poleti, 18.7.2007, na vzorčnem mestu Polule, najnižja pa na jesensko – zimskem vzorčenju, 14.11.2007, na istem vzorčnem mestu.

Vrednosti, ki smo jih izmerili ob poletnem vzorčenju so bile na vseh treh vzorčnih mestih višje od izmerjenih jeseni in spomladi, medtem ko so si bile vrednosti skupnih suspendiranih snovi, izmerjene 14.11.2007 in 27.4.2008 podobne.

Ob poletnih in pomladanskih meritvah je bila količina suspendiranih snovi najvišja na vzorčnem mestu v Polulah in je padala proti Laškem. Na jesensko – zimskem vzorčenju smo v nasprotju s poletnim in spomladanskim, zabeležili najvišjo količino suspendiranih snovi v Laškem in najnižjo v Polulah.

#### 4.1.8 Koncentracija nitratnih ionov ( $\text{NO}_3^-$ )



**Slika 18:** Rezultati meritev koncentracije nitratnih ionov ( $\text{NO}_3^-$ ) na treh vzorčnih mestih na reki Savinji ob treh različnih datumih vzorčenja

Izmerjene vrednosti koncentracije nitratnih ionov so nihale med 0,6 in 6,4 mg/L. Najnižja koncentracija nitratnih ionov je bila izmerjena jeseni, 14.11.2007, na vzorčnem mestu Polule, najvišja pa spomladi, 27.4.2008, na vzorčnem mestu Tremerje.

Na sliki je opazno sezonsko nihanje koncentracije nitratnih ionov. Najnižje vrednosti so bile izmerjene ob jesensko – zimskem vzorčenju, najvišje pa spomladi.

Ob vseh treh vzorčenjih je bila koncentracija nitratnih ionov najvišja na vzorčnem mestu Tremerje, najnižja pa na vzorčnem mestu Polule.

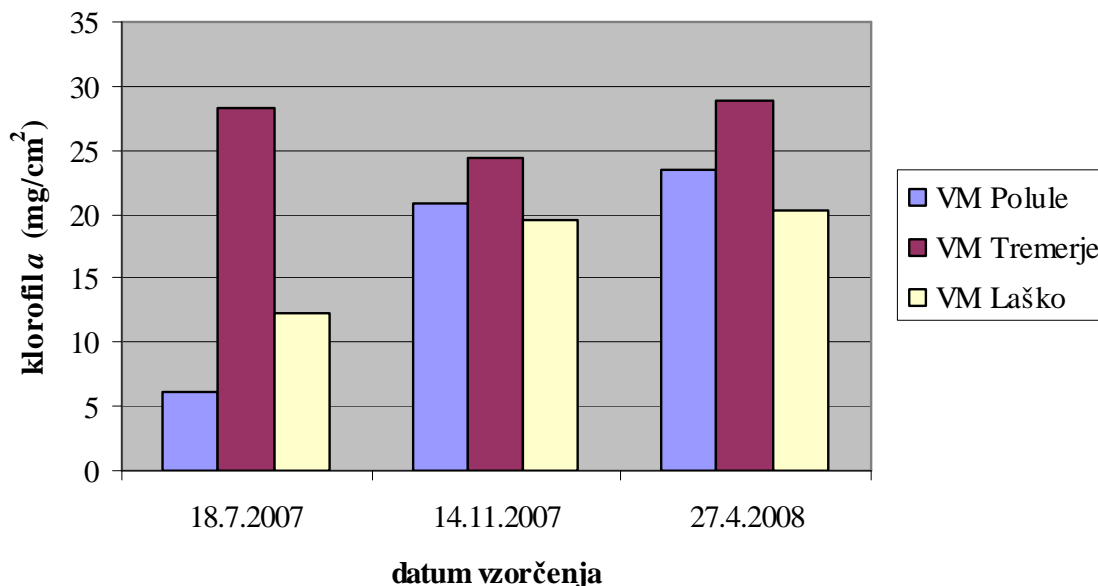


#### **4.1.9 Koncentracija ortofosfatnih ionov ( $\text{PO}_4^{3-}$ )**

Vse izmerjene vrednosti koncentracije ortofosfatnih ionov v reki Savinji so bile pod 0,1 mg/L. Ker smo uporabljali metodo, ki omogoča le meritve vrednosti med 0,1 in 1,5 mg/L, so bile vse izmerjene vrednosti koncentracije ortofosfatnih ionov pod mejo detekcije.

## 4.2 BIOLOŠKE ANALIZE

### 4.2.1 Količina klorofila *a*



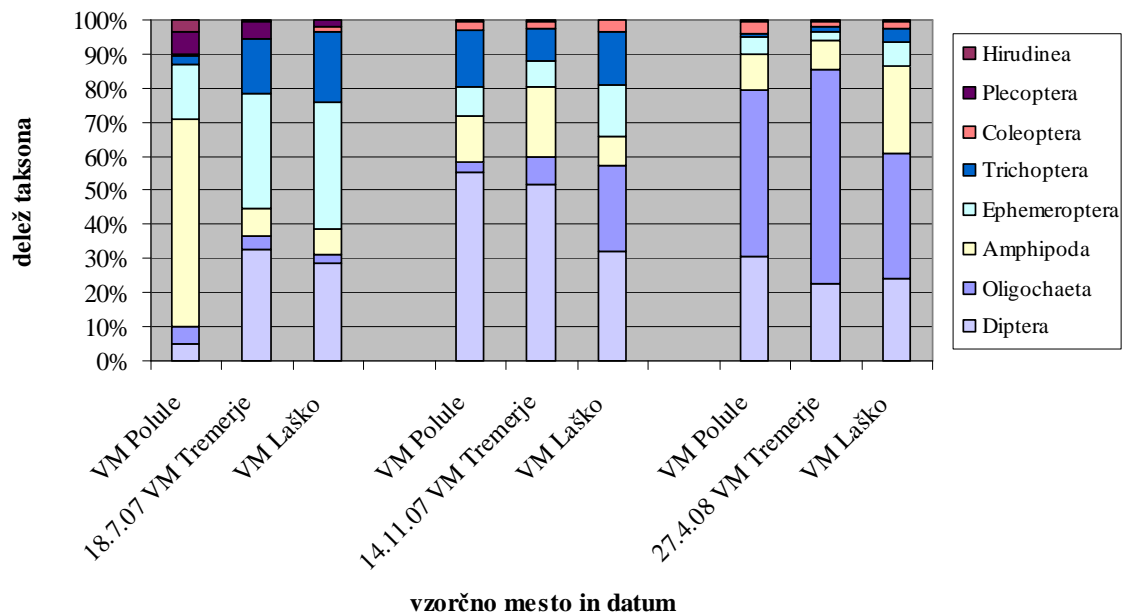
**Slika 19:** Koncentracija klorofila *a* v perifitonu na treh vzorčnih mestih na reki Savinji ob treh različnih datumih vzorčenja

Izmerjene koncentracije klorofila *a* so nihale med 6,01 in 28,94 mg/cm<sup>2</sup>. Najnižja vrednost je bila izmerjena 18.7.2007 na vzročnem mestu Polule, najvišja pa 27.4.2008 v Tremerjah.

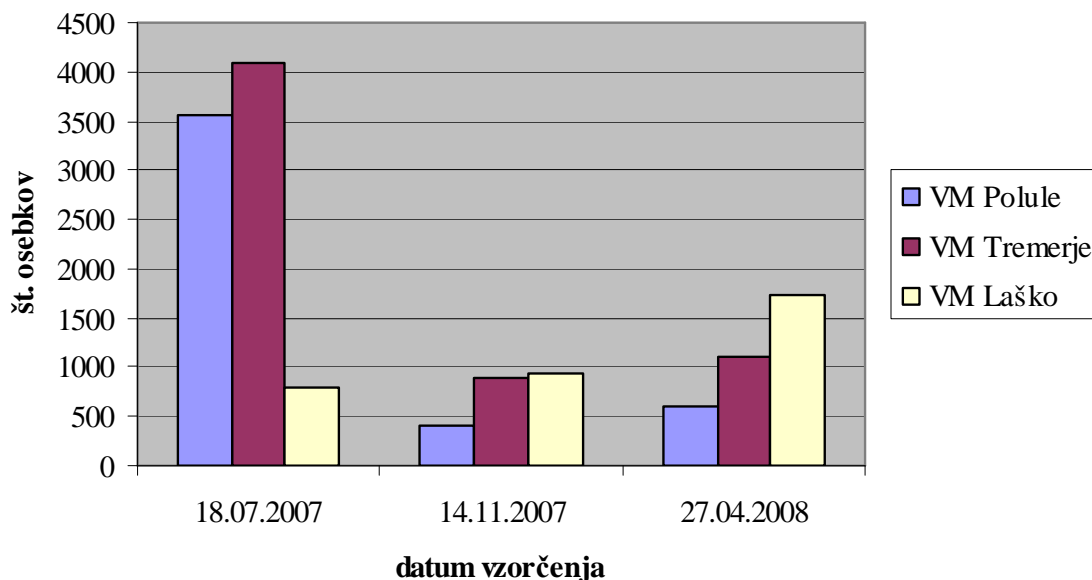
Na sliki ni opaznega izrazitega sezonskega nihanja koncentracij klorofila *a*. Vrednosti so bile poleti v primerjavi z jesensko – zimskim in pomladanskim vzorčenjem nekoliko nižje. Največje razlike v koncentracijah so bile poleti, ko je vrednost na vzorčnem mestu Tremerje močno izstopala.

Koncentracija klorofila *a* je bila ob vseh treh časih vzorčenja najvišja na vzorčnem mestu Tremerje. Najnižjo koncentracijo smo jeseni in spomladi izmerili v Laškem, poleti pa je bilo najmanj klorofila *a* v Polulah.

#### 4.2.2 Analiza sestave združbe makroinvertebratov



**Slika 20:** Delež osebkov posameznih višjih taksonomskih skupin na treh vzorčnih mestih na reki Savinji ob treh različnih datumih vzorčenja



**Slika 21:** Število osebkov na treh vzorčnih mestih na reki Savinji ob treh različnih datumih vzorčenja

Določili smo 80 taksonov makroinvertebratov, ki so s seznamom vrst predstavljeni v prilogi C. Višji taksoni so si po velikosti deležev od največjega do najmanjšega sledili v naslednjem vrstnem redu; dvokrilci (Diptera), maloščetinci (Oligochaeta), postranice (Amphipoda), enodnevnice (Ephemeroptera), mladoletnice (Trichoptera), vrbnice (Plecoptera), hrošči (Coleoptera) in pijavke (Hirudinea). Polži (Gastropoda), pijavke (Bivalvia), enakonožci (Isopoda), vodne pršice (Hydracarina), kačji pastirji (Odonata) in stenice (Heteroptera) so skupine, ki so bile v vzorcih zastopane v manj kot 1 % združbe in zato niso predstavljene na sliki 20. Iz slike 21 je razvidno, da je bilo število osebkov najvišje poleti v Tremerjah, kjer smo našli 4098 osebkov in najnižje jeseni v Polulah, kjer smo našli 419 osebkov (priloga C). Jeseni in spomladi je število osebkov makroinvertebratov naraščalo od vzorčnega mesta v Polulah proti vzorčnemu mestu v Laškem, med tem ko je bilo poleti v Laškem prisotnih najmanj osebkov. Makroinvertebrati v vzorcih, nabranih na vzorčnih mestih Polule in Tremerje, so bili najštevilčnejši poleti. Na vzorčnem mestu Laško je bilo število makroinvertebratov ob vseh treh datumih vzorčenja podobno.

Na vzorčnem mestu Polule smo določili 54 taksonov makroinvertebratov. Po velikosti so si deleži višjih taksonomskih skupin na vzorčnem mestu Polule sledili (od večjega proti manjšemu): dvokrilci (Diptera), postranice (Amphipoda), maloščetinci (Oligochaeta), enodnevnice (Ephemeroptera), mladoletnice (Trichoptera), vrbnice (Plecoptera), hrošči (Coleoptera) in pijavke (Hirudinea). V primerjavi z ostalima vzorčnima mestoma je bil v Polulah delež postranic in vrbnic večji, delež maloščetincev, enodnevnice in mladoletnic pa manjši. Deleži ostalih višjih taksonomskih skupin so bili podobni preostalim vzorcem. Vse postranice so pripadale vrsti *Gammarus fossarum* (priloga C). Med dvokrilci so prevladovali predstavniki poddružine Orthoclaadiinae, med maloščetinci takson *Nais* sp., med enodnevnici *Baetis* sp., med mladoletnicami *Hydropsyche* sp., med vrbnicami *Leuctra* sp., med hrošči *Esolus* sp. in med pijavkami *Erpobdella testacea* (priloga C).

Delež postranic je bil na vzorčnem mestu Polule največji 18.7.2007, ko je vrsti pripadalo kar 61 % določenih osebkov (slika 20). Delež dvokrilcev (5,2 %) in maloščetincev (4,6 %) je bil 18.7.2007 manjši kot ob ostalih vzorčenjih, delež vrbnic (6,7 %) pa je bil takrat med vsemi vzorci največji (slika 20). V vzorcih, zbranih na jesensko – zimskem vzorčenju (14.11.2007) so prevladovali dvokrilci (55,4 %), nekoliko povečan je bil tudi delež mladoletnic (16,7 %). Delež postranic je znašal le 13,6 %. V primerjavi z ostalimi vzorci, sta bila manjša tudi deleža maloščetincev (3,1 %) in vrbnic (0,7%). Dne 27.4.2008 so v vzorcih številčno prevladovali maloščetinci (48,7 %) in dvokrilci (30,6 %). Deleži preostalih taksonov so bili majhni (postranice 10,6 %, enodnevnice 5 %).

Na vzorčnem mestu Tremerje smo določili 63 nižjih taksonov makroinvertebratov. Deleži višjih taksonomskih skupin so si od večjega proti manjšemu sledili: dvokrilci, maloščetinci, enodnevnice, postranice, mladoletnice, vrbice, hrošči in pijavke. V primerjavi z ostalima dvema vzorčnima mestoma je bil delež dvokrilcev in maloščetincev večji in delež postranic manjši. Deleži preostalih višjih skupin so podobni deležem v drugih vzorcih. Znotraj dvokrilcev je prevladoval takson *Simulim* sp., številčni so bili tudi predstavniki poddružine trzač Orthoclaadiinae, Chironominae in Tanypodinae. Med maloščetinci je močno prevladoval takson *Nais* sp., med enodnevnici *Baetis* sp., med

postranicami *Gammarus fossarum*, med mladoletnicami *Hydropsyche* sp., med vrbnicami *Leuctra* sp., med hrošči *Esolus* sp. in med pijavkami *Erpobdella testacea* (priloga C).

V vzorcih iz Tremerj, nabranih na poletnem vzorčenju, 18.7.2007, sta prevladovali dve skupini makroinvertebratov: enodnevnice (33,5 %) in dvokrilci (32,5 %). Nekoliko večji, kot na ostalih dveh vzorčenjih je bil tudi delež mladoletnic (15,8 %) in vrbnic (4,8 %). V primerjavi z ostalima dvema vzorčnima mestoma je bil delež postranic (8,2 %) in dvokrilcev (5,2 %). V vzorcih, nabranih 14.11.2007 so prevladovali dvokrilci (51,2 %). Sledile so jim postranice (20 %), mladoletnice (9,5 %), maloščetinci (8,5 %) in enodnevnice (7,8 %). Deleži ostalih višjih taksonomskih skupin so bili manjši. V vzorcih nabranih na pomladanskem vzorčenju, 27.4.2008, so prevladovali maloščetinci (62,8 %). Znatno je bil tudi delež dvokrilcev (22,6 %) in postranic (8,5 %). Deleži ostalih višjih taksonomskih skupin so bili manjši.

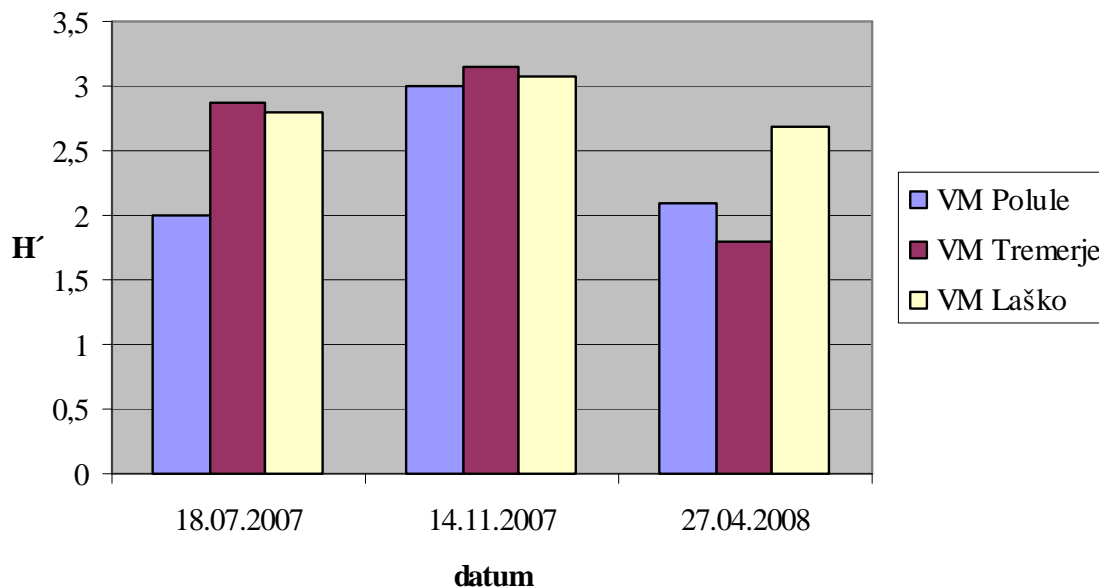
Na vzorčnem mestu Laško smo določili 58 nižjih taksonov makroinvertebratov. Deleži višjih taksonov so si od večjega proti manjšemu sledili: dvokrilci, maloščetinci, enodnevnice, postranice, mladoletnice, hrošči, vrbnice in pijavke. V primerjavi z ostalima dvema vzorčnima mestoma je bil delež enodnevnice in mladoletnic večji, delež dvokrilcev in vrbnic pa manjši. Deleži ostalih višjih taksonomskih skupin so bili podobni deležem na drugih vzorčnih mestih. Med dvokrilci prevladujejo predstavniki poddružine Orthocladiinae, med maloščetinci sta bila dominantna taksona *Nais* sp. in *Stylodrilus* sp., med enodnevnicami *Baetis* sp., med postranicami *Gammarus fossarum*, med mladoletnicami *Hydropsyche* sp., med hrošči *Esolus* sp., med vrbnicami *Leuctra* sp. in med pijavkami *Erpobdella octoculata* (priloga C).

Na vzorčnem mestu Laško so na poletnem vzorčenju, 18.7.2007, prevladovale enodnevnice (37,2 %). Med večjimi sta bila tudi deleža dvokrilcev (28,8 %) in mladoletnic (20,6 %). Deleža enodnevnice in mladoletnic sta bila večja kot v drugih vzorcih, nabranih istega dne, deleža postranic (7,5 %) in maloščetincev (2,4 %) pa manjša. V vzorcih, nabranih na jesensko – zimskem vzorčenju, 14.11.2007, so prevladovali dvokrilci (32,1 %), sledili so maloščetinci (25,1 %), mladoletnice (15,5 %), enodnevnice (15,0 %), postranice (8,7 %) in hrošči (3,3 %). Spomladi, 27.4.2008, so prevladovali maloščetinci (36,8 %). Delež maloščetincev in postranic (25,3 %) je bil večji kot na drugih dveh vzorčnih mestih, delež mladoletnic (4,3 %) pa manjši. Deleži ostalih skupin so bili podobni deležem na drugih vzorčnih mestih.

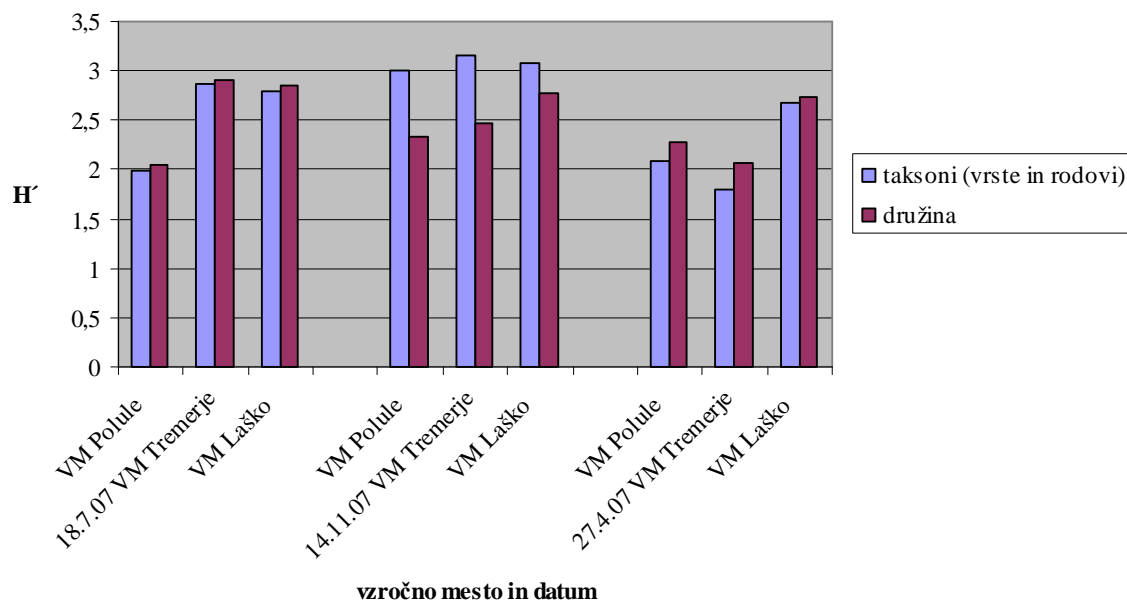


**Slika 22:** Nekateri predstavniki tipične združbe vodnih nevretenčarjev v reki Savinji, med Polulami in Laškimi; mladoletnica *Hydropsyche* sp. (levo zgoraj), dvokrilec iz družine trzač, poddružine Orthocladiinae (desno zgoraj), enodnevnica *Baetis* sp. (levo spodaj) in postranica *Gammarus fossarum* (desno spodaj)

### 4.2.3 Shannon – Wienerjev diverzitetni indeks



**Slika 23:** Izračunane vrednosti Shannon – Wienerjevega diverzitetnega indeksa na podlagi upoštevanja taksonov (vrst in rodov), prisotnih na treh vzorčnih mestih na reki Savinji ob treh različnih datumih vzorčenja



**Slika 24:** Izračunane vrednosti Shannon – Wienerjevega diverzitetnega indeksa na podlagi upoštevanja nižjih taksonov (vrst in rodov) ter na podlagi upoštevanja družin na treh vzorčnih mestih na reki Savinji ob treh različnih datumih vzorčenja

Vrednosti Shannon – Wienerjevega diverzitetnega indeksa so nihale med 1,8 (VM Tremerje 27.4.2008) in 3,2 (VM Tremerje 14.11.2007). Na podlagi izračunanih vrednosti  $H'$  lahko kakovost vode na vzorčnih mestih opišemo kot neobremenjeno, srednje obremenjeno in malo obremenjeno. Kakovost vode je bila neobremenjena jeseni, 14.11.2007, na vzorčnih mestih Tremerje in Laško. Srednje obremenjena je bila kakovost vode na vzorčnem mestu Polule poleti, 18.7.2007 in na vzorčnem mestu Tremerje spomladi, 27.4.2008. Kakovost vseh ostalih vzorcev lahko uvrstimo med malo obremenjene.

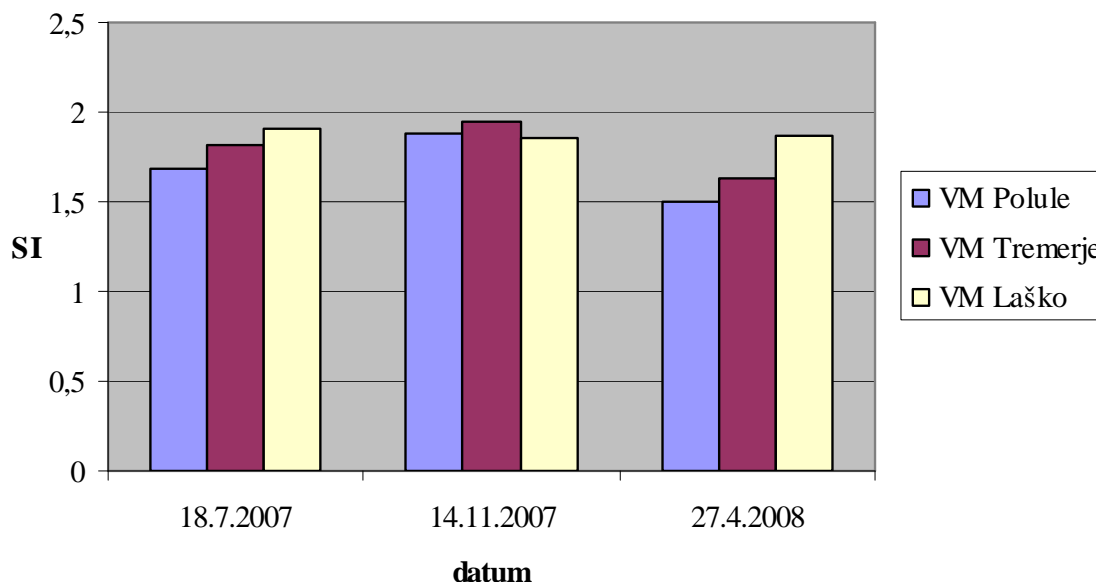
Na sliki 23 lahko opazimo, da so bile vrednosti  $H'$  ob jesensko – zimskem vzorčenju nekoliko višje od vrednosti poletnega vzorčenja, te pa so bile višje kot vrednosti ob pomladanskem vzorčenju.

Rezultati poletnega in jesensko - zimskega vzorčenja so pokazali najvišjo vrednosti Shannon – Wienerjevega diverzitetnega indeksa na vzorčnem mestu Tremerje in najnižjo v Polulah. Od tega trenda odstopajo le rezultati spomladanskega vzorčenja, kjer je nasprotno z ostalimi rezultati izračun pokazal najnižjo vrednost  $H'$  prav v Tremerjah.

Slika 24 prikazuje vrednosti  $H'$ , ki so bile izračunane na podlagi upoštevanja različnih taksonomskih nivojev: nižjih taksonov (vrst in rodov) ter družin. Kljub temu, da so vrednosti  $H'$  izračunane na podlagi različnih taksonomskih nivojev, kažejo isti trend upadanja in naraščanja vrednosti  $H'$ .



#### 4.2.4 Saprobni indeks



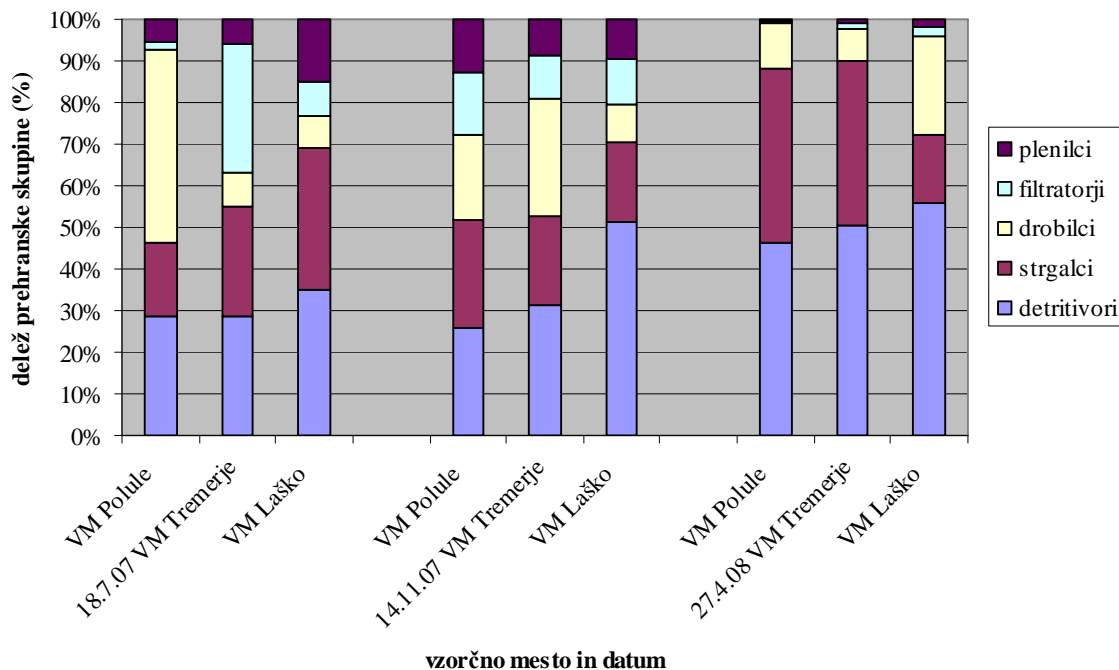
**Slika 25:** Vrednosti saprobnega indeksa na treh vzorčnih mestih na reki Savinji ob treh različnih datumih vzorčenja

Glede na kakovostne razrede po Sladečku (1973) lahko Savinjo med Polulami in Laškim uvrstimo v 1. – 2. in v 2. kakovostni razred. V 1. – 2. kakovostni razred smo na poletnem vzorčenju, 18.7.2007, uvrstili vzorčno mesto Polule in na pomladnem vzorčenju, 27.4.2008, vzorčni mesti Polule in Tremerje. V 2. kakovostni razred smo uvrstili preostale vzorce. Najnižjo vrednost saprobnega indeksa (1,7) smo izračunali pomladi na vzorčnem mestu Polule. Najvišja vrednost SI je znašala 1,9 na vzorčnem mestu Tremerje, 14.11.2007.

Vrednosti saprobnega indeksa so bile praviloma najnižje spomladi in najvišje ob jesensko – zimskem vzorčenju 14.11.2007, vendar so bile razlike v vrednosti SI med posameznimi časi vzorčenja zelo majhne.

Med posameznimi vzorčnimi mesti ni bilo večjih razlik v vrednosti saprobnega indeksa. V splošnem lahko trdimo, da so bile vrednosti SI nekoliko višje na vzorčnem mestu Laško, in nekoliko nižje na vzorčnem mestu Polule. Vrednosti v Laškem so si bile ob vseh časih vzorčenja zelo podobne (med 1,85 in 1,9). Vrednosti SI v Polulah so bile nekoliko nižje kot v Tremerjah, vendar se niso bistveno razlikovale.

#### 4.2.5 Deleži prehranskih skupin



**Slika 26:** Deleži prehranskih skupin na treh vzorčnih mestih na reki Savinji ob treh različnih datumih vzorčenja

Na večini vzorčnih mest so prevladovali detritivori. Sledili so jim strgalci, drobilci, filtratorji in plenilci.

Delež detritivorov je bil ob različnih časih vzorčenja najmanjši na vzorčnem mestu Polule in se je večal po toku navzdol.

Delež strgalcev se je 18.7.2007 večal po toku navzdol, 14.11.2007 je bil na vseh treh vzorčnih mestih podoben, 27.4.2008 pa je bil delež strgalcev v Laškem bistveno manjši kot na ostalih dveh vzorčnih mestih. V splošnem lahko trdimo, da je bil delež strgalcev na vseh treh vzorčnih mestih precej podoben.

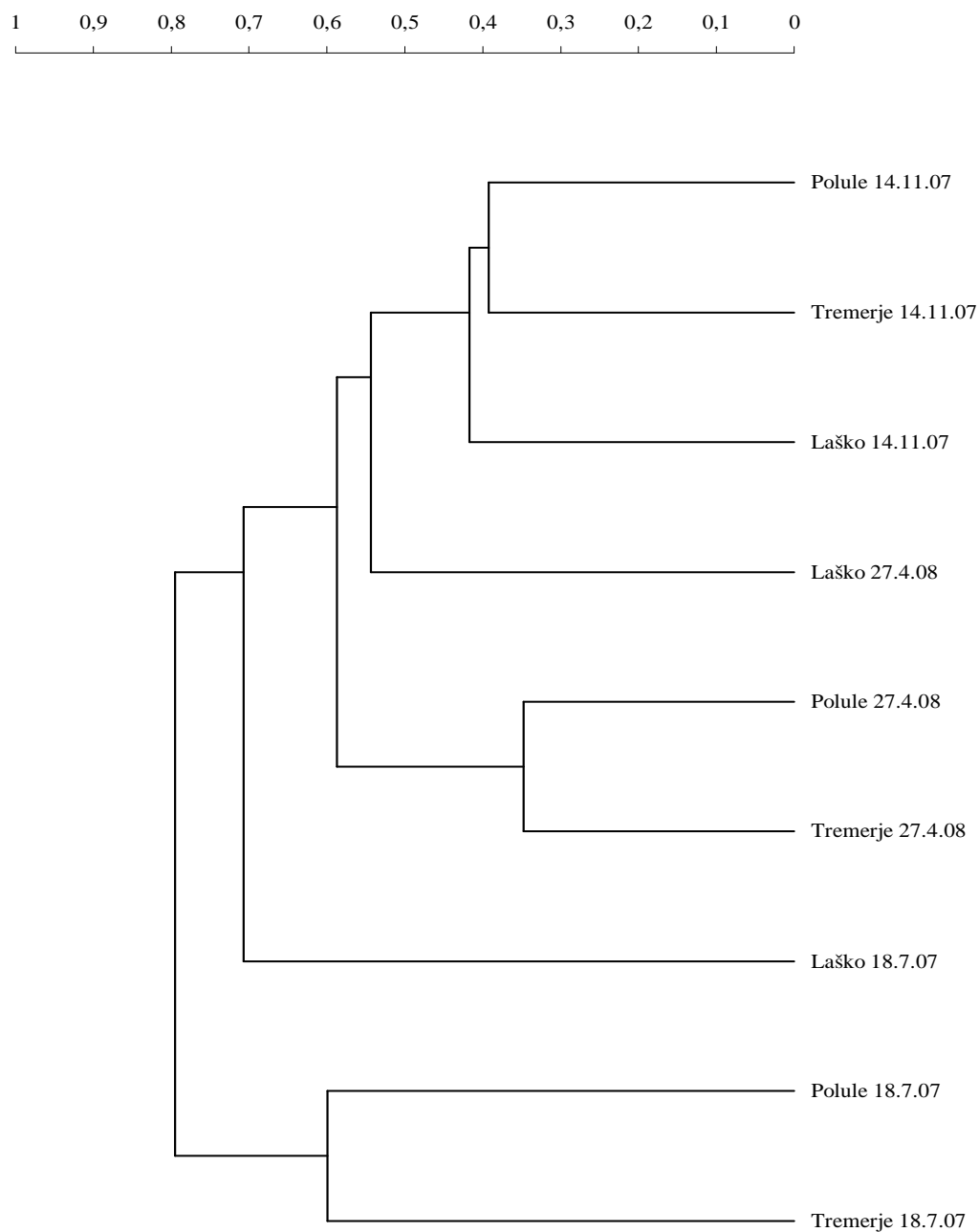
Spreminjanje deleža drobilcev ni pokazalo jasnih sezonskih nihanj. 18.7.2004 je bil delež drobilcev v Polulah bistveno višji od deleža drobilcev v Tremerjah in Laškem. 14.11.2007 je bil njihov delež v Tremerjah rahlo višji od deleža v Polulah in v Laškem, 27.4.2008 pa je bil delež drobilcev najvišji v Laškem. Skupno je bil delež drobilcev na vzorčnem mestu Polule nekoliko višji od deležev v Tremerjah in Laškem, ki sta si bila podobna.

Filtratorji so bili prisotni 18.7. in 14.11.2007, 27.4.2008 pa je bil njihov delež neznamen. Medtem, ko so si bili deleži filtratorjev 14.11.2007 med posameznimi vzorčnimi mesti

podobni, so rezultati 18.7.2007 pokazali v Tremerjah znatno večji delež filtratorjev, kot na vzorčnih mestih Polule in Laško.

Delež plenilcev je bil na vseh vzorčnih mestih med najmanjšimi. Rezultati pomladnega vzorčenja kažejo komaj zaznaven delež plenilcev. Poleti je bil delež plenilcev največji v Laškem, jeseni pa v Polulah. V splošnem je bil delež plenilcev na vzorčnem mestu v Laškem nekoliko višji od tistega v Polulah in Tremerjah.

#### 4.2.6 Klastrska analiza združbe makroinvertebratov



**Slika 27:** Dendrogram različnosti devetih vzorcev makroinvertebratov, nabranih na treh vzorčnih mestih na reki Savinji ob treh različnih datumih vzorčenja

Iz slike 27 je razvidno, da je bila podobnost vzorcev združbe makroinvertebratov, nabranih na različnih vzorčnih mestih ob enakem času vzorčenja večja, kot podobnost vzorcev iz istega vzorčnega mesta, nabranih ob različnih časih vzorčenja. Najbolj podobni so si bili vzorci iz jesensko – zimskega vzorčenja, 14.11.2007, najmanj podobni pa so si bili vzorci, nabrani 18.7.2007. Ob vseh treh časih vzorčenja sta si bili združbi makroinvertebratov najbolj podobni na vzorčnih mestih Polule in Tremerje, vzorci iz vzorčnega mesta Laško so bili v primerjavi z ostalima dvema vzorčnima mestoma vedno najbolj različni.

## 5 RAZPRAVA IN SKLEPI

### 5.1 RAZPRAVA

Abiotski dejavniki so odvisni od naravnih značilnosti vodotoka, vplivnega območja, časa meritve in človekovega vpliva. So le odraz trenutnega stanja v vodotoku, saj se lahko posamezne fizikalne in kemijske značilnosti vodotoka hitro spreminjajo (Urbanič in Toman, 2003) in omogočajo boljše razumevanje sprememb v združbi makroinvertebratov.

**Hitrost vodnega toka** pomembno vpliva na makroinvertebrate v vodotoku. Od vodnega toka so odvisni distribucija hrane, dotok kisika, struktura substrata in vedenje organizmov (Giller in Malmqvist, 1998). V naši raziskavi smo hitrosti vodnega toka merili s plovci na vodni površini. Iz izmerjenih vrednosti hitrosti vodnega toka na površini smo izračunali povprečne hitrosti vodnega toka, ki so enake hitrostim na 6/10 globine (Urbanič in Toman, 2003). Hitrost toka na posameznem vzorčnem mestu je odvisna od oblike struge, globine in substrata (Giller in Malmqvist, 1998). Izmerjene hitrosti vodnega toka reke Savinje so bile zaradi relativno velikega strmca reke razmeroma visoke, znašale so od 0,26 do 0,81 m/s. Posledično lahko pri makroinvertebratih v reki pričakujemo morfološke in vedenjske prilagoditve na visoko hitrost vodnega toka. Rezultati meritev na vzorčenjih dne 18.7.2007 in 14.11.2007 so pokazali trend upadanja hitrosti vodnega toka od Polul proti Laškem. Trend je mogoče razložiti s širino struge na vzorčnih mestih; struga je bila namreč najožja v Polulah in najširša v Laškem. Na spomladanskem vzorčenju 27.4.2008 so bile hitrosti vodnega toka na vseh treh vzorčnih mestih podobne, kar je mogoče razložiti z velikim pretokom reke Savinje tistega dne. Hitrost v vodotokih se spreminja skozi leta, v različnih sezonah in dnevno v odvisnosti od hidrometeoroloških vplivov in narave prispevnega območja (Giller in Malmqvist, 1998). Sezonsko spreminjanje hitrosti vodnega toka v naši raziskavi, je bilo v večji meri odvisno od hidrometeoroloških vplivov. Najnižje vrednosti smo izmerili na poletnem vzorčenju 18.7.2007, ko je bila količina padavin najmanjša. Najvišje hitrosti vodnega toka smo izmerili na spomladanskem vzorčenju 27.4.2008, v času obilnih pomladanskih padavin.

Od hitrosti vodnega toka je odvisna tudi razporeditev **substrata** v reki; praviloma se z večanjem hitrosti vodnega toka večajo tudi mineralni delci anorganskega substrata (Giller in Malmqvist, 1998). Večina velikih vodnih nevretenčarjev poseljuje prav substrat. Organizmi se v substratu premikajo, počivajo, razmnožujejo, se nanj pritrjujejo in substrat uporabljajo za zatočišče pred plenilci in vodnim tokom (Giller in Malmqvist, 1998). Sestava anorganskega substrata je bila na vzorčnih mestih v Polulah in Tremerjah podobna, prevladoval je mikrolital. Vzorčno mesto v Laškem je odstopalo od ostalih dveh, prevladoval je mezolital. Substrat je bil najbolj pester na vzorčnem mestu Tremerje, kjer je bila tudi pestrost hidroloških razmer največja. Na tem odseku reke so bile prisotne številne brzice in tolmuni, tok reke je potekal v velikih zavojih. Med parametri, ki vplivajo na razširjenost makroinvertebratov je tudi stabilnost substrata, ki je odvisna od velikosti mineralnih delcev. Sezonsko se večji premiki substrata pojavijo ob povečanih pretokih (Giller in Malmqvist, 1998). Na vzorčnih mestih Polule in Laško se razporeditev anorganskega substrata ni bistveno spreminjala, na vzorčnem mestu Tremerje pa so bile

razlike v razporeditvi substrata opazne, saj je bila tu rečna dinamika ohranjena boljše, kot na preostalih dveh vzorčnih mestih. Največje spremembe smo opazili med poletnim (18.7.2007) in jesenskim vzorčenjem (14.11.2007), ko se je glavni tok reke prestavil iz leve na desno stran struge. Velike spremembe v razporeditvi substrata v jeseni 2007 so najverjetneje posledica visokih vod 18.9.2007.

Deleži organskega substrata so bili relativno nizki. Posamezne kategorije organskega substrata so bile večinoma prisotne v manj kot 5 %. Izjema je bil le makrofit klasasti rmanec (*Myriophyllum spicatum*), ki je na vzorčnem mestu Tremerje dne 18.7.2007 poraščal 20 % površine rečnega dna.

Na **temperaturo** vodotoka vplivajo osončenost, klima in hidrološke značilnosti. Temperatura vode vpliva na dihanje, prebavo, stopnjo rasti, produktivnost, dolžino življenjskega cikla, hitrost razvoja jajčec, hitrost rasti ličink, čas preobrazbe, velikost odraslih in parjenje makroinvertebratov. Posledično temperaturni režim vpliva na razporeditev in število prisotnih taksonov makroinvertebratov v vodotoku (Giller in Malmqvist, 1998). Temperaturni režim vodotoka ima letno, ponekod pa tudi dnevno periodičnost (Urbanič in Toman, 2003). Izmerjene temperature vode so si bile med posameznimi vzorčnimi mesti precej podobne. Na vseh treh vzorčenjih smo najnižjo temperaturo vedno izmerili v Polulah, najvišjo pa v Laškem. Ker smo z meritvami vedno pričeli zjutraj in to v Polulah, je naraščanje temperature od Polul proti Laškemu mogoče pripisati tudi času dneva v katerem smo meritve izvajali; zjutraj so bile temperature vode najnižje, proti poldnevu pa so zaradi sončevega sevanja naraščale. S tem je mogoče tudi pojasniti rezultate, ki so pokazali največje razlike med temperaturami vode na posameznih vzorčnih mestih prav v času poletnih meritev, ko je bilo tudi sončevo sevanje najintenzivnejše.

**Koncentracija raztopljenega kisika** je negativno povezana s temperaturo vode (Giller in Malmqvist, 1998). Na koncentracijo kisika in **nasičenost vode s kisikom** poleg temperature vode vplivajo tudi temperatura zraka, atmosferski tlak, slanost, turbulenca, fotosintezna aktivnost primarnih producentov in stopnja dihanja (Urbanič in Toman, 2003). Posamezne vrste makroinvertebratov se med seboj močno razlikujejo v zahtevi po kisiku, kar povzroča razlike v razporeditvi vrst (Giller in Malmqvist, 1998). Meritve koncentracije kisika in nasičenosti vode s kisikom so pokazale dobro prezračeno reko Savinje. Koncentracije kisika so nihale med 8,4 in 14,2 mg/L, nasičenost vode s kisikom je bila med 97 % in 157 %. Visoko vsebnost kisika lahko pojasnimo z visokimi hitrostmi vodnega toka, ki smo jih izmerili na vzorčnih mestih. Zaradi visoke hitrosti vodnega toka se pojavljajo turbulence, ki pospešujejo raztapljanje atmosferskega kisika v vodi.

Koncentracija raztopljenega kisika se je ob vseh treh vzorčevanjih višala od Polul proti Laškem. Višanje koncentracije kisika po toku navzdol se ujema z meritvami temperatur, ki so bile v Polulah najnižje, najvišje pa v Laškem.

Tudi nasičenost vode s kisikom je naraščala od Polul proti Laškem. V Polulah smo merili vedno zjutraj, v Laškem pa opoldne. Ker ponoči poteka le dihanje organizmov, je vsebnost kisika zjutraj nizka in proti poldnevu narašča. Torej se je razmerje med procesi razgradnje oz. respiracijo in fotosintezno aktivnostjo spreminjalo od Polul proti Laškem v korist

fotosintezne aktivnosti. Na naraščanje vsebnosti kisika po toku navzdol sta torej vplivala dva dejavnika; temperatura vode in dnevno-nočno nihanje vsebnosti kisika.

Koncentracija kisika je bila najnižja poleti in najvišja jeseni. Nasprotno je bila nasičenost vode s kisikom najvišja poleti in najnižja jeseni. Razlike v koncentraciji kisika in v nasičenosti vode s kisikom med posameznimi vzorčnimi mesti so bile največje poleti. Vzrok lahko najdemo v povečani fotosintezni aktivnosti primarnih producentov poleti, ko so bili v reki tudi prisotni potopljeni makrofiti, ki ob ostalih dveh vzorčenjih niso bili prisotni. Najmanjše razlike med vsebnostmi kisika na posameznih vzorčnih mestih so bile spomladi, ko je bil pretok reke največji.

Visoka **elektroprevodnost** lahko nakazuje, da je vodotok obremenjen s hranili. Vrednosti so najvišje jeseni, zaradi intenzivne razgradnje odpadlega listja in se nižajo s padavinami, ki redčijo koncentracijo ionov v vodotoku (Urbanič in Toman, 2003). Poleti in spomladi je bila elektroprevodnost najvišja na vzorčnem mestu Polule in najmanjša v Laškem. Od ostalih vrednosti je močno izstopala meritev 18.7.2007 v Polulah, ko je elektroprevodnost znašala kar 730  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Nad merilnim mestom v Polulah se v reko Savinjo izliva reka Voglajna. Analize na reki Voglajni so pokazale visoko električno prevodnost (Toman, 2007). Možno je, da smo za meritve zajeli vodo, ki je večinsko izvirala iz reke Voglajne in se še ni popolnoma premešala s Savinjo, posledica česar so izstopajoče visoke vrednosti elektroprevodnosti. Tudi ob ostalih meritvah je bila višja elektroprevodnost vode na vzorčnem mestu Polule verjetno rezultat vpliva reke Voglajne in bližnjega mesta Celje. Na jesensko – zimskem vzorčenju, dne 14.11.2007, smo v nasprotju z ostalimi meritvami izmerili najnižjo elektroprevodnost v Polulah, v Tremerjah in Laškem pa je bila ta povišana. Tistega dne so tik za vzorčnim mestom v Polulah utrjevali rečni breg, pri čemer so se rečni nanosi na bregu usipali v vodo, kar je verjetno povzročilo povišano elektroprevodnost na nižjeležečih vzorčnih mestih.

**Skupne suspendirane snovi** delimo na organske in anorganske. Organske suspendirane snovi predstavljajo vir hrane za filtratorje, anorganske suspendirane snovi pa v velikih količinah negativno vplivajo na vodne nevretenčarje (Urbanič in Toman, 2003). Poleti (18.7.2007) in spomladi (27.4.2008) je bila količina suspendiranih snovi najvišja na vzorčnem mestu Polule in najnižja v Laškem. Vzrok povišane količine skupnih suspendiranih snovi v Polulah, je prav tako kot pri povišani elektroprevodnosti na tej lokaciji, reka Voglajna, ki se tik pred vzorčnim mestom v Polulah izliva v reko Savinjo in s seboj prinaša velike količine suspendiranih snovi (Toman, 2007). Na jesensko – zimskem vzorčenju smo zabeležili povišano večjo količino suspendiranih snovi na vzorčnih mestih Tremerje in Laško. Vzrok za večjo količino suspendiranih snovi na teh dveh vzorčnih mestih je verjetno utrjevanje brega, ki je tistega dne potekalo tik za vzorčnim mestom v Polulah. Količina suspendiranih snovi, ki smo jo izmerili spomladi, je bila višja od vrednosti poleti in jeseni. Vzrok visokih poletnih vrednosti je verjetno neznan vir suspendiranih snovi, ki ga tekom naše raziskave nismo opazili in zabeležili.

Na **pH** imajo velik vpliv okoliška tla in geološka podlaga po kateri vodotok teče. Na naravno karbonatno ravnotežje lahko vplivajo tudi industrijski iztoki in atmosfersko onesnaževanje s kislimi snovmi. Dnevno pH niha zaradi fotosintetske aktivnosti in dihanja primarnih producentov (Urbanič in Toman, 2003). V vodotokih z višjim pH je praviloma



vrstna diverziteteta višja, kar pomeni tudi večjo pestrost hrane (Giller in Malmqvist, 1998). pH so je gibal med 7,8 in 8,6, kar je v skladu s pričakovanji za vodotok, ki teče po apnenčasti podlagi. Vrednosti pH se dnevno spreminjajo. Zjutraj, ko je zaradi intenzivnih nočnih respiratornih procesov v vodi manj prostega CO<sub>2</sub>, je pH nižji in narašča čez dan, ko rastline v procesu fotosinteze proizvajajo prosti CO<sub>2</sub>. Ker smo z meritvami začeli vedno zjutraj v Polulah, smo pričakovali naraščanje pH od Polul proti Laškemu. Ta trend se je najizraziteje pokazal na poletnem vzorčenju, dne 18.7.2007. Poleti so bile tudi razlike v vrednostih pH največje, kar je bila verjetno posledica visoke aktivnosti rastlin zaradi intenzivnega sončnega sevanja in visokih temperatur vode. Kljub temu so bile razlike v vrednostih pH med posameznimi vzorčnimi mesti zelo majhne, znašale so od 0 do 0,5.

Poleg naravnih virov dušika v vodnem telesu (vezava atmosferskega dušika, podtalnica in izviri, spiranje zemljišč in razgradnja z dušikom bogatih organskih snovi), obstaja danes velik vnos dušika tudi zaradi človekovega delovanja (precipitacija, spiranje kmetijskih zemljišč, odpadne vode in izpusti čistilnih naprav) (Linegaard, 1995). Povišane koncentracije hranil (še posebej nitratov in fosfatov) povzročajo spremembe združb v vodnem telesu. Zaradi večje količine hranil se poveča rast primarnih producentov, katerih velika odmrla biomasa povzroči intenzifikacijo razgradnih procesov. Zaradi povečanega dihanja v vodnem telesu začne primanjkovati kisika, kar povzroči smrt občutljivejših vrst ter omogoči boljše uspevanje vrstam, ki so prilagojene na veliko količino organskih snovi in nizko koncentracijo kisika. **Koncentracije nitratnih ionov** na reki Savinji so bile med 0,6 in 6,4 mg/L, kar nakazuje na spiranje kmetijskih zemljišč, saj se koncentracije v vodah ob spiranju kmetijskih zemljišč običajno znašajo med 1 in 10 mg NO<sub>3</sub><sup>-</sup> /L. Spiranje gnojnih kmetijskih zemljišč v Savinjo, ki teče čez Savinjsko ravan, kjer prevladujejo kmetijska zemljišča, ni presenetljivo. Predpostavko, da so izmerjene koncentracije nitratnih ionov posledica spiranja kmetijskih zemljišč lahko potrdimo še z dejstvom, da so bile koncentracije najvišje spomladi, ko je bilo spiranje s precipitacijo, zaradi obilnih pomladnih padavin najintenzivnejše in ko je bilo najintenzivnejše tudi gnojenje kmetijskih površin. Kajti v vodotokih, ki dušik pridobivajo le iz naravnih virov, je največja koncentracija nitratnih ionov prisotna jeseni, ko se odpadlo listje intenzivno razgrajuje. V naši raziskavi smo jeseni, dne 14.11.2007, izmerili najnižjo vrednost. Najvišjo koncentracijo nitratnih ionov smo ob vseh treh časih vzorčenja izmerili na vzorčenem mestu Tremerje in najnižjo na vzorčnem mestu Polule. K višji koncentraciji v Tremerjah je verjetno prispeval izpust iz Centralne čistilne naprave Celje – Tremerje, ki se 1 km pred vzorčnim mestom izliva v Savinjo. Poleg čistilne naprave je možen vzrok najvišjih koncentracij nitratnih ionov v Tremerjah tudi spiranje kmetijskih zemljišč, ki so v primerjavi z ostalima vzorčnima mestoma, v zaledju vzorčnega mesta Tremerje zavzemala bistveno večji delež površine. Vendar, ker je bila koncentracija nitratnih ionov povišana v vseh letnih časih – tudi jeseni, ko je bil učinek spiranja kmetijskih zemljišč minimalen, torej je verjetno k najvišji vrednosti v Tremerjah v največji meri prispeval prav izpust iz Centralne čistilne naprave Celje. Kljub temu so bile vrednosti relativno nizke.

Fosfor se v vodna telesa sprošča iz matične podlage in prsti in ob razgradnji s fosforjem bogatih organskih snovi, danes pa se zaradi človekovega delovanja vnaša s precipitacijo, spiranjem kmetijskih zemljišč, odpadnimi vodami in izpusti čistilnih naprav (Linegaard 1995). Ker je fosfor naravno prisoten v zelo majhnih količinah in ker ga rastline zelo dobro privzemajo, je v tekočih vodah prisoten v nizkih koncentracijah in je dejavnik, ki limitira

produkcijo vodnih teles (Wetzel, 2001). Na reki Savinji smo na vseh treh vzorčnih mestih izmerili **koncentracije ortofosfatnih ionov** pod 0,1 mg PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>/L. Ker smo v naši raziskavi uporabljali metodo, ki omogoča določanje koncentracije ortofosfatnih ionov nad 0,1 mg/L, so bile vse vrednosti pod mejo detekcije. Na spiranje kmetijskih zemljišč in vpliv komunalnih odplak lahko sklepamo, ko se koncentracija ortofosfatnih ionov dvigne nad 0,25 mg/L. Glede na izmerjene vrednosti torej ne moremo sklepati na zgoraj navedene vplive in lahko zaključimo, da je bila koncentracija ortofosfatnih ionov v reki Savinji nizka in da Centralna čistilna naprava Celje na koncentracijo ortofosfatnih ionov v reki Savinji bistveno ne vpliva. Vpliv čistilne naprave Celje bi lahko bolje ovrednotili z natančnejšo metodo ter z ovrednotenjem skupnega fosforja v reki, ki je pravo merilo trofije v vodnih telesih. Skupni fosfor je sestavljen iz treh komponent: ortofosfat, raztopljen organski fosfor in neraztopljen organski fosfor v organizmih in sedimentih (Wetzel, 2001).

**Perifiton ali združba obrasti** je združba avtotrofnih in heterotrofnih, predvsem mikroskopskih organizmov v vodah, ki so stalno ali občasno pritrjeni na substrat v vodnih telesih. Na njihovo prisotnost in razporeditev vplivajo številni dejavniki: tip substrata, hitrost vodnega toka, svetloba, temperatura, toksičnost, kemijska sestava vode, stopnja organske obremenitve (Urbanič in Toman, 2003). Biomasa primarnih producentov perifitona je dober pokazatelj trofičnega stanja vodnega telesa, saj ob povečanem dotoku hranil, kot sta dušik in fosfor, biomasa primarnih producentov hitro naraste. Biomasa primarnih producentov v perifitonu merimo z določanjem količine klorofila *a*. Združba obrasti predstavlja vir hrane vodnim nevretenčarjem, ki spadajo v prehransko skupino strgalcev (npr. polži, večina enodnevnice ter nekatere vrbnice, hroščevi, mladoletnice in dvokrilci). Najvišje količine klorofila *a* smo ob vseh časih vzorčenja izmerili na vzorčnem mestu Tremerje. Iz rezultatov lahko sklepamo, da je bilo na vzorčnem mestu Tremerje prisotnih več hranil, kot na ostalih vzorčnih mestih, kar smo ugotovili že z meritvami koncentracije nitratnih ionov, ki so bile na tem vzorčnem mestu najvišje. Ali so bile v Tremerjah višje tudi koncentracije ortofosfatnih ionov, zaradi premajhne občutljivosti metode, nismo mogli potrditi. Na vzorčnem mestu Laško smo ob vseh časih vzorčenja izmerili nižje količine klorofila *a* kot v Tremerjah. Verjetno so se hranila, ob privzemanju perifitonske združbe, med vzorčnim mestom Tremerje in Laško že deloma porabila. Poleti in spomladi je bila količina klorofila *a* v Polulah višja od vrednosti v Laškem. Večjo rast perifitona v Polulah je verjetno povzročila večja količina hranil, ki izvirajo iz reke Voglajne ali mesta Celje. Za ovrednotenje, kateri od dveh virov je bil pomembnejši, bi bilo potrebno opraviti dodatna vzorčenja na reki Voglajni ter na Savinji pred Celjem. Največje razlike v koncentracijah med posameznimi vzorčnimi mesti so bile poleti, dne 18.7.2007. Razlike so morda posledica visoke aktivnosti primarnih producentov v poletnih mesecih.

Združba makroinvertebratov je kazalnik celotnih ekoloških razmer posameznega vzorčnega mesta, vključno s fizikalnimi lastnostmi (tip substrata, hitrost vodnega toka, pretok...) in odraža različne strese: organsko obremenjevanje, anorgansko onesnaževanje, toksičnost, kislost, morfološke spremembe vodnih habitatov in zmanjšanje količine vode (Urbanič in Toman, 2003). V **analizi sestave združbe makroinvertebratov** na treh vzorčnih mestih na reki Savinji smo našli 80 taksonov makroinvertebratov, ki so pripadali naslednjim višjim taksonomskim skupinam (od najbolj proti najmanj številčni skupini): dvokrilci (Diptera), maloščetinci (Oligochaeta), postranice (Amphipoda), enodnevnice (Ephemeroptera), mladoletnice (Trichoptera), vrbnice (Plecoptera), hrošči

(Coleoptera) in pijavke (Hirudinea). Polži (Gastropoda), pijavke (Bivalvia), enakonožci (Isopoda), vodne pršice (Hydracarina), kačji pastirji (Odonata) in stenice (Heteroptera) so skupine, ki so bile v vzorcih zastopane v manj kot 1 % združbe. Na vzorčnem mestu Polule smo določili 54 nižjih taksonov makroinvertebratov, na vzorčnem mestu Tremerje 63 taksonov in na vzorčnem mestu Laško 58 nižjih taksonov makroinvertebratov. Vrsta pestrost makroinvertebratov je na heterogenih substratih večja (Giller in Malmqvist, 1998). Dejstvo, da je bilo število taksonov makroinvertebratov najvišje v Tremerjah, lahko povezujemo z največjo pestrostjo anorganskega substrata na tem vzorčnem mestu. Razlike v številu osebkov na posameznih vzorčnih mestih in med posameznimi vzorčenji so bile velike. Najvišje število osebkov smo našli poleti v Tremerjah (4089), najnižje pa jeseni v Polulah (419). Število osebkov je bilo najvišje poleti in najnižje jeseni. Možen vzrok za nižje število makroinvertebratov jeseni so verjetno visoke vode septembra 2007, ki so povzročile obsežno premeščanje substrata v reki, ki neugodno vpliva na tiste taksone, ki se niso sposobni umakniti v zatočišča.

V Polulah je bil v primerjavi z ostalima dvema vzorčnima mestoma večji delež rakov postranic (Amphipoda), ki so pripadale vrsti *Gammarus fossarum*. Vrsta se prehranjuje večinoma z odmrlim organskim materialom kot drobilec, občasno pa tudi kot detritivor in strgalec. Za postranice je značilno, da lahko v glavnih tokovih vodotokov, kjer je substrat stabilen in so na voljo velike količine hrane, dosegajo visoke gostote (Wetzel, 2001). Na vzorčnem mestu Polule je bila vrsta najštevilčnejša na poletnem vzorčenju, dne 18.7.2007, ko je vrsti pripadalo 61 % določenih osebkov. Takrat je bila v reki verjetno prisotna večja količina odmrlega organskega materiala, ki je bil vir hrane postranicam. V Polulah je bil delež maloščetincev (Oligochaeta), mladoletnic (Trichoptera) in enodnevnice (Ephemeroptera) manjši kot na ostalih vzorčnih mestih. Maloščetinci dobro uspevajo na mestih, kjer se kopičijo organske snovi in je vsebnost kisika v vodi nizka. Zato so dobri indikatorji organske onesnaženosti. Med maloščetinci v Polulah je prevladoval takson *Nais* sp., takson *Stylogdrilus* sp. pa je bil manj številčen kot v Tremerjah in Laškem. Predstavniki taksona *Nais* sp. se prehranjujejo deloma kot detritivori in deloma kot strgalci, predstavniki taksona *Stylogdrilus* sp. pa le kot detritivori. Manjši delež maloščetincev na vzorčnem mestu Polule je bil verjetno posledica manjše količine detrita, s katerim se prehranjujejo. Večina mladoletnic v naših vzorcih je tako v Polulah, kot na ostalih dveh vzorčnih mestih pripadla rodu *Hydropsyche* sp.. Predstavniki tega rodu so večinoma filtratorji, občutljivi na nizke vsebnosti kisika in toksikante. Glede na to, da je bila količina suspendiranih snovi v vodi na vzorčnem mestu Polule najvišja in vsebnost kisika visoka, nam vzrok odsotnosti mladoletnic na tem vzorčnem mestu ostaja neznan. Tudi enodnevnic, ki so na vzorčnem mestu Polule zavzemale nekoliko manjši delež, kot na ostalih dveh vzorčnih mestih. Velika večina enodnevnice je pripadala rodu *Baetis* sp., ki so tolerantni na vrsto stresov, vse od anorganskega onesnaževanja do višjih hitrosti vodnega toka (Hall in sod., 2006). Delež ostalih višjih taksonomskih skupin je bil na vzorčnem mestu Polule podoben kot na preostalih dveh vzorčnih mestih na reki Savinji.

V primerjavi z ostalima dvema vzorčnima mestoma sta bila na vzorčnem mestu Tremerje deleža dvokrilcev (Diptera) in maloščetincev (Oligochaeta) večja. Med dvokrilci sta prevladovala dva taksona: predstavniki rodu *Simulim* sp. in trzače (Chironomidae). Za rod *Simulim* sp. velja, da lahko ob ugodnih razmerah dosega visoke gostote (Wetzel, 2001). Na vzorčnem mestu Tremerje je bil takson v velikem številu prisoten le na poletnem

vzorčenju, dne 18.7.2007, ko je veliko število osebkov poraščalo površino klasastega rmanca (*Myriophyllum spicatum*). Trzače so tolerantne na širok spekter okoljskih dejavnikov in zato prisotne v mnogih okoljih. Njihova dominantnost je med drugim lahko tudi posledica organskega obremenjevanja ali večje količine hranil v vodi. Med maloščetinci je prevladoval takson *Nais* sp., katerega visoko število je najverjetneje posledica velike količine perifitona, s katerim se takson prehranjuje. Parr in Mason (2003) sta v raziskavi ugotovila, da se je tik za izpusti iz čistilnih naprav povečal delež maloščetincev, pogosti pa so bili tudi taksoni, odporni na nizke količine kisika, kot so izopodni raki in trzače. Vendar ima Savinja kot hudourniški vodotok razmeroma visoke hitrosti vodnega toka in je posledično dobro prezračena, zato o pomanjkanju kisika v našem primeru ne moremo govoriti. Posledično, na vzorčnem mestu Tremerje, kjer smo izmerili povišano koncentracijo nitratov in večje količine perifitona, niso dominirali na pomanjkanje kisika tolerantni organizmi, ki se hranijo z odmrlim organskim materialom, pač pa so dobro uspevali tako taksoni, ki se hranijo z odmrlim organskim materialom, kot tudi taksoni, ki so občutljivejši na pomanjkanje kisika.

Na vzorčnem mestu Laško je bil v primerjavi z ostalima dvema vzorčnima mestoma nekoliko večji delež enodnevnice in mladoletnic. Enodnevnice so bile zelo številčne poleti, ko je takson *Baetis* sp. prevladoval nad ostalimi makroinvertebrati. Zaradi široke tolerance tega taksona do vrste ekoloških dejavnikov, je vzrok za prisotnost večjega števila tega taksona težko opredeliti. Tudi delež mladoletnic je bil večji kot na ostalih dveh vzorčnih mestih. Večina mladoletnic je pripadala taksonu *Hydropsyche* sp.. Ker so mladoletnice občutljive na organsko onesnaženje in toksikante, lahko sklepamo, na vzorčnem mestu Laško količine teh snovi niso bile visoke. Na vzorčnem mestu Laško je bil delež dvokrilcev jeseni in spomladi manjši v primerjavi z ostalima dvema vzorčnima mestoma. Med dvokrilci so močno prevladovali trzače, ki so poznane kot indikatorji povečane količine organskih in anorganskih snovi v vodi. Manjše število trzač v Laškem je verjetno posledica nižje koncentracije nitratov in posledično manjše količine perifitona, ki smo ju izmerili na tem vzorčnem mestu, kar nakazuje na dobro samočistilno sposobnost reke Savinje.

Vrednosti **Shannon – Wienerjevega diverzitetnega indeksa** so bile relativno visoke, od 1,8 do 3,2, kar kakovost reke Savinje na obravnavanem odseku opisuje kot srednje obremenjeno, malo obremenjeno in neobremenjeno. Zaradi pomanjkljive determinacije nekaterih skupin makroinvertebratov (npr. trzače (Chironomidae) in enodnevnice iz družine Baetidae) smo Shannon – Wienerjev diverzitetni indeks izračunali na podlagi različnih taksonomskih nivojev (nižjih taksonov (Vrst in rodov) ter družin). Kljub upoštevanju različnih taksonomskih nivojev ob izračunu, so zračunane vrednosti indeksa pokazale isti sezonski trend in isti trend upadanja in naraščanja med posameznimi vzorčnimi mesti. Visoke vrednosti diverzitetnega indeksa so bolj kot posledica dobre kvalitete vode, verjetno posledica raznovrstnosti habitatov, ki jih makroinvertebrati v reki poseljujejo. V raziskavi smo namreč zabeležili pester anorganski substrat, ki je omogočal obstoj velikega števila mikrohabitatov z različnimi hitrostmi vodnega toka, različnim dotokom hrane, različnim kisikovimi razmerami ipd. Shannon – Wienerjev diverzitetni indeks je bil poleti in jeseni najvišji na vzorčnem mestu Tremerje. Glede na to, da smo na vzorčnem mestu Tremerje izmerili najvišje koncentracije nitratov, lahko sklepamo, da zaradi heterogenosti habitatov, anorgansko onesnaženje ni imelo znatnega vpliva na

diverziteto makroinvertebratov. Do enake ugotovitve sta prišla tudi Parr in Mason (2003), ko sta opazila, da se diverziteta makroinvertebratov za izpusti iz čistilnih naprav ne zmanjša. Visoka vrednost diverzitetnega indeksa v Tremerju je bila posledica velike heterogenosti substrata na tem vzorčnem mestu. Spomladi je bila vrednost diverzitetnega indeksa v Tremerju iz nam neznanih vzrokov manjša, kot na ostalih dveh mestih. Vrednosti diverzitetnega indeksa v Polulah so bile najnižje. Možen vzrok nižje diverzitetne makroinvertebratov je lahko manjša heterogenost substrata v primerjavi z Laškim ali pa v večja obremenjenost vode z različnimi snovmi, ki jih je tik pred vzorčnim mestom Polule v reko Savinjo prinašala Voglajna. Tu smo namreč izmerili višjo elektroprevodnost in večjo količino suspendiranih snovi kot na ostalih dveh vzorčnih mestih.

Izračunane vrednosti **saprobnege indeksa** so se gibale med 1,7 in 1,9. Na podlagi kakovostnih razredov po Sladečku (1973) lahko reko Savinjo na tem odseku uvrstimo v 1. – 2. in 2. kakovostni razred. Vrednosti saprobnege indeksa nakazujejo na neobremenjenost oz. majhno obremenjenost reke. Nizke vrednosti saprobnege indeksa so verjetno posledica dobre prezračenosti reke Savinje zaradi njenega hitrega in turbulentnega toka. Prav tako je treba upoštevati, da so izračunane vrednosti SI nižje od dejanskih, saj zaradi pomanjkljive determinacije večine trzač (Chironomidae) teh v izračunu SI nismo upoštevali. Trzače so namreč družina vodnih nevretenčarjev z izrazito nizko saprobno vrednostjo s. Saprobní indeks uporabljamo za ovrednotenje organske obremenitve vodotokov na podlagi prisotnosti občutljivih vrst, ki ne morejo preživeti v okolju z nizko vsebnostjo kisika, ki je posledica intenzivnih procesov razgradnje večje količine organskih snovi in na podlagi prisotnosti vrst, ki v okolju z mnogo organske snovi in nizko koncentracijo kisika dobro uspevajo. V naši raziskavi smo na treh vzorčnih mestih na reki Savinji določili taksone z višjo saprobno vrednostjo s, (npr. nekateri maloščetinci in trzače), kar kaže na prisotnost organskih snovi v vodotoku. Poleg indikatorjev organskega onesnaženja smo v raziskavi določili tudi taksone, ki jih zaradi njihove občutljivosti na pomanjkanje kisika v organsko obremenjenih vodah ne bi pričakovali, pa je njihovo preživetje omogočila zadostna količina kisika, ki se je v vodo dovajala s turbulencami. Taksoni z nizko saprobno vrednostjo so na primer nekatere vrbnice in mladoletnice. Razlike v vrednostih saprobnege indeksa med posameznimi vzorčnimi mesti so bile majhne. Poleti in spomladi lahko opazimo trend naraščanja SI od Polul proti Laškem, kar nakazuje na rahlo povečevanje organske obremenjenosti v tej smeri.

Na treh vzorčnih mestih na reki Savinji so si **deleži prehranskih skupin** od največjega proti najmanjšemu sledili; detritivori, strgalci, drobilci, filtratorji in plenilci. Delež detritivorov se je povečeval od Polul proti Laškem, kar sovпада tudi z vrednostmi saprobnege indeksa, ki so se večale po toku navzdol. Iz navedenih rezultatov lahko sklepamo, da se je količina detrita večala proti Laškem.

Kljub temu, da rezultati meritev količine klorofila *a* nakazujejo na največje količine perifitona v Tremerjih, izrazitega trenda upadanja ali naraščanja deleža strgalcev med posameznimi vzorčnimi mesti nismo ugotovili. Delež strgalcev je bil poleti največji v Laškem, jeseni v Polulah ter poleti v Polulah in Tremerjah. Na grafu je opazen jesenski upad deleža strgalcev, ki je verjetno posledica manjše količine perifitona zaradi velikega premeščanja substrata med jesenskimi poplavami.

Drobilci so največji delež zavzemali na poletnem vzorčenju v Polulah, ko je takson *Gammarus fossarum* predstavljal večino ulovljenih makroinvertebratov. Številčnost taksona je bila verjetno posledica večjega lokalnega vira odmrle organske snovi, s katero se prehranjuje. Jeseni je bilo največ drobilcev prisotnih na vzorčnem mestu Tremerje, spomladi pa smo jih največ našli v Laškem. V splošnem lahko zaključimo, da je bilo med tremi vzorčnimi mesti največ drobilcev prisotnih v Polulah, kar nakazuje na večjo količino odmrle organske snovi.

Poleti je bilo največ filtratorjev prisotnih v Tremerjah, nekoliko manj v Laškem in najmanj v Polulah. Povečan delež filtratorjev poleti sovpada z meritvami suspendiranih snovi. V Polulah smo poleti izmerili veliko količino suspendiranih snovi. Možen vzrok za visoke koncentracije suspendiranih snovi v Polulah je reka Voglajna, ki se izliva v Savinjo tik nad vzorčnim mestom in s seboj nosi velike količine suspendiranih snovi (Toman, 2007). Ker so bile suspendirane snovi prisotne v večjih količinah le na manjšem delu struge, so bile večini filtratorjev nedostopne. Verjetno so se suspendirane snovi v vodi do vzorčnega mesta Tremerje že razporedile po celotni širini reke in tako predstavljale vir hrane za filtratorje, ki so bili v manjših množinah prisotni tudi v Laškem. Jeseni so si bili deleži filtratorjev na vseh treh vzorčnih mesti podobni, spomladi pa je bil delež filtratorjev zelo majhen.

Plenilci so bili najmanj številčna prehranska skupina. Poleti je bil njihov delež največji v Laškem, jeseni pa v Polulah. Spomladi je bil njihov delež na vseh treh vzorčnih mestih zelo majhen.

Rezultati **klastrske analize združbe makroinvertebratov** so pokazali večjo podobnost med vzorci, nabranimi ob istem vzorčenju, kot med vzorci iz istega vzorčnega mesta. Sklepamo lahko, da je bil sezonski vpliv na združbo makroinvertebratov večji od razlik v združbi na posameznih vzorčnih mestih. Med vzorčnimi mesti so si bili najbolj podobni vzorci iz vzorčnega mesta Polule in Tremerje, vzorci iz vzorčnega mesta Laško, pa so se od ostalih dveh vedno najbolj razlikovali. Različnost združbe makroinvertebratov na vzorčnem mestu Laško je bila verjetno posledica nekoliko drugačne sestave anorganskega substrata, kjer je v nasprotju z ostalima dvema vzorčnima mestoma prevladoval mezolital.

## 5.2 SKLEPI

Na sezonsko spreminjanje hitrosti vodnega toka so imeli največji vpliv hidrometeorološki pojavi. Vzrok za upadanje hitrosti vodnega toka od Polul proti Laškem je bila širina rečne struge. Struktura anorganskega substrata v Polulah in Tremerjah je bila podobna, substrat na vzorčnem mestu Laško se je od ostalih dveh najbolj razlikoval. Anorganski substrat je bil najbolj pester na vzorčnem mestu Tremerje, kjer so bile tudi sezonske spremembe v sestavi substrata največje. Oboje je mogoče pripisati ohranjeni rečni dinamiki na tem vzorčnem mestu. Deleži organskega substrata so bili nizki.

Spreminjanje izmerjenih temperatur vode med posameznimi vzorčnimi mesti je sovpadalo z intenzivnostjo sončevega sevanja. Ker smo z meritvami vedno začeli zjutraj v Polulah in končali opoldne v Laškem, so meritve pokazale naraščanje temperature po toku navzdol. Vsebnost kisika v vodi je bila zaradi turbulentnosti rečnega toka visoka. Izmerjena koncentracija in nasičenost vode s kisikom sta naraščali po toku navzdol, kar lahko razložimo z dnevno-nočnim nihanjem vsebnosti kisika zaradi intenzivne fotosinteze podnevi in intenzivnejšega dihanja ponoči. Tudi naraščanje pH od Polul proti Laškem je bilo verjetno posledica dnevno-nočnega spreminjanja razmerja med fotosintezo in dihanjem.

Elektroprevodnost in količina skupnih suspendiranih snovi sta bili domnevno zaradi vpliva reke Voglajne najvišji v Polulah. Reka Voglajna, katere voda ima visoko elektroprevodnost in vsebuje večje količine suspendiranih snovi (Toman, 2007), se namreč izliva v Savinjo tik pred vzorčnim mestom Polule. Od ostalih so odstopale jesenske meritve, ko sta bili izmerjeni elektroprevodnost in količina suspendiranih snovi v Tremerjih in Laškem povišani. Vzrok je bil verjetno usipanje rečnih nanosov v vodo ob gradbenih delih na rečnem bregu, ki so tistega dne potekala tik za Polulami.

Meritve koncentracij nitratnih ionov so pokazale najvišje vrednosti spomladi. Ker je spomladi najintenzivnejše tudi gnojenje in spiranje zemljišč lahko sklepamo, da je med drugim, na spomladanske vrednosti vplivalo tudi spiranje kmetijskih zemljišč ob reki. Najvišje koncentracije nitratnih ionov smo izmerili na vzorčnem mestu Tremerje, kar je lahko posledica izpustov Centralne čistilne naprave Celje. Kljub temu so bile koncentracije nitratnih ionov na vseh treh vzorčnih mestih relativno nizke, saj niso presegle 6,4 mg/L. Koncentracije ortofosfatnih ionov so bile pod mejo detekcije, iz česar sklepamo, da izpust čistilne naprave na koncentracije ortofosfatnih ionov v reki ne vpliva bistveno.

Količina klorofila *a* je bila najvišja v Tremerjah, kar skupaj z najvišjimi izmerjenimi koncentracijami nitratnih ionov na tem vzorčnem mestu, nakazuje višjo obremenjenost tega vzorčnega mesta s hranilnimi snovmi v primerjavi z ostalima vzorčnima mestoma.

V analizi sestave združbe makroinvertebratov smo našli 80 taksonov makroinvertebratov, največ v Tremerjah in najmanj v Polulah. Na vzorčnem mestu Polule je bil povečan delež postranic (Amphipoda), na vzorčnem mestu Tremerje je bil večji delež dvokrilcev (Diptera) in maloščetincev (Oligochaeta), na vzorčnem mestu Laško pa je bil povečan delež enodnevnice (Ephemeroptera) in mladoletnic (Trichoptera).

Visoke vrednosti Shannon – Wienerjevega diverzitetnega indeksa kažejo na veliko pestrost makroinvertebratske združbe na tem odseku Savinje. Indeks je bil najvišji v Tremerjah in najnižji v Polulah, kar se ujema s pestrostjo substrata na obeh vzorčnih mestih.

Izračunane vrednosti saprobnega indeksa nakazujejo neobremenjenost oz. majhno obremenjenost vodotoka. Zaradi dobre prezračenosti reke Savinje so bili na odseku prisotni tako taksoni, ki so občutljivi na pomanjkanje kisika, kot taksoni, ki so prisotni ob povečani količini organskih snovi. SI je rahlo naraščal od Polul proti Laškemu, kar nakazuje na rahlo povečevanje količine organskih snovi v tej smeri, vendar so bile razlike v vrednostih SI med posameznimi vzorčnimi mesti zelo majhne.

Deleži prehranskih skupin so si na treh vzorčnih mestih na reki Savinji od največjega proti najmanjšemu sledili; detritivori, strgalci, drobilci, filtratorji in plenilci. Delež detritivorov se je povečeval od Polul proti Laškemu. Deleži strgalcev so bili med posameznimi vzorčnimi mesti podobni. Največ drobilcev je bilo prisotnih v Polulah. Delež filtratorjev je bil največji v Polulah, kar lahko povežemo z izmerjenimi količinami suspendiranih snovi.

Rezultati klastrske analize združbe makroinvertebratov so pokazali večjo podobnost med vzorci, nabranimi ob istem vzorčenju, kot med vzorci iz istega vzorčnega mesta, iz česar lahko sklepamo, da je bil sezonski vpliv večji od vpliva spremenljivk, ki so na posameznih vzorčnih mestih delovale na združbo makroinvertebratov. Med vzorčnimi mesti sta si bili najbolj podobni mesti Polule in Tremerje, kar lahko razlagamo s podobno strukturo substrata na teh dveh vzorčnih mestih.



## 6 POVZETEK

Človek ima danes velik vpliv na vodotoke, saj težko najdemo vodno telo, ki še ni bilo deležno človekovih posegov. Med ostalimi spremembami, ki jih človek povzroča na tekočih vodah, je tudi povečanje količine hranil v vodotokih, na katerega smo se osredotočili v naši raziskavi. Povečana količina hranil, še posebej dušika in fosforja, ima velik vpliv na vodne združbe, saj sta dušik in fosfor v vodnih ekosistemih limitirajoča dejavnika primarne produkcije. Eden izmed načinov vnašanja hranil v vodno telo so tudi izpusti čistilnih naprav. V raziskavi smo želeli ovrednotiti vpliv Centralne čistilne naprave Celje na reko Savinjo z analizo makroinvertebratske združbe. Savinja je hudourniška reka z dežno – snežnim režimom, ki izvira v Kamniško-Savinjskih Alpah. Na svoji poti reka teče skozi mesto Celje, ki predstavlja vir obremenitve za reko. Da bi vpliv mesta zmanjšali, je leta 2004 začela obratovati Centralna čistilna naprava Celje, ki je po načinu delovanja klasična biološka čistilna naprava, ki odstranjuje organsko breme brez terciarnega čiščenja. V naši raziskavi smo predvidevali, da iztok zaradi vsebnosti hranil vpliva na prisotno združbo velikih vodnih nevretenčarjev tako, da povzroča spremembe v številčnosti, pestrosti in strukturi združbe makroinvertebratov v reki.

Na reki Savinji smo določili tri vzorčna mesta; eno pred iztokom iz čistilne naprave in dve vzorčni mesti za njim. Vzorčenje je potekalo v obdobju devetih mesecev, od julija 2007 do aprila 2008. V tem obdobju smo izvedli tri vzorčenja; poletno, jesensko-zimsko in pomladansko. Na vzorčnih mestih smo izmerili in opisali hidromorfološke parametre (hitrost vodnega toka na površini, pretok in substrat), fizikalno-kemijske parametre (temperatura, koncentracija raztopljenega kisika, nasičenost s kisikom, pH, elektroprevodnost, koncentracija nitratnih ionov, koncentracija ortofosfatnih ionov in skupne suspendirane snovi) ter izvedli biološke analize (količina klorofila *a* v perifitonu in vzorčenje makroinvertebratov). Makroinvertebrate smo vzorčili tako, da smo na vsakem vzorčnem mestu, z vodno mrežo na površini 25 × 25 cm, odvzeli deset podvzorcev. Izračunali smo deleže osebkov posameznih taksonomskih skupin, deleže prehranskih skupin, Shannon-Wienerjev diverzitetni indeks, saprobni indeks in naredili klastersko analizo združbe makroinvertebratov.

Izmerjene hitrosti vodnega toka reke Savinje so bile zaradi velikega strmca razmeroma visoke, upadale so od Polul proti Laškem. Sestava substrata je bila na vzorčnih mestih v Polulah in Tremerjah podobna, vzorčno mesto v Laškem je nekoliko odstopalo od ostalih dveh. Substrat je bil najbolj pester na vzorčnem mestu Tremerje. Temperature vode so si bile med posameznimi vzorčnimi mesti precej podobne. Meritve koncentracija kisika in nasičenosti vode s kisikom so pokazale dobro prezračenost reke Savinje. Meritve elektroprevodnosti in količine skupnih suspendiranih snovi so pokazale povišano vrednost v Polulah, kar kaže na vpliv reke Voglajne, ki se tik nad vzorčnim mestom izliva v Savinjo. Koncentracije nitratnih ionov na reki Savinji so se gibale med 0,6 in 6,4 mg/L. Vrednosti so bile najvišje spomladi, kar nakazuje na spiranje kmetijskih zemljišč. Najvišje koncentracije smo izmerili na vzorčnem mestu Tremerje, kar kaže na vpliv Centralne čistilne naprave Celje na tem mestu. Izmerjene koncentracije ortofosfatnih ionov so bile na vseh treh vzorčnih mestih pod mejo detekcije.

Najvišje količine klorofila *a* smo ob vseh treh vzorčenjih izmerili na vzorčnem mestu Tremerje. Iz rezultatov lahko sklepamo, da je bilo na vzorčnem mestu Tremerje prisotnih več hranil, kot na ostalih vzorčnih mestih, kar smo ugotovili prav tako z meritvami koncentracije nitratnih ionov. V analizi sestave združbe makroinvertebratov na treh vzorčnih mestih na reki Savinji smo našli 80 taksonov makroinvertebratov. Številčnejske skupine makroinvertebratov so bile (od najbolj proti najmanj številčni skupini): dvokrilci (Diptera), maloščetinci (Oligochaeta), postranice (Amphipoda), enodnevnice (Ephemeroptera), mladoletnice (Trichoptera), vrbnice (Plecoptera), hrošči (Coleoptera) in pijavke (Hirudinea). Polži (Gastropoda), pijavke (Bivalvia), enakonožci (Isopoda), vodne pršice (Hydracarina), kačji pastirji (Odonata) in stenice (Heteroptera) so skupine, ki so bile v vzorcih zastopane v manj kot 1 % združbe. Največ taksonov smo določili na vzorčnem mestu Tremerje (63) in najmanj v Polulah (54). Vrednosti Shannon – Wienerjevega diverzitetnega indeksa so bile relativno visoke, kakovost reke Savinje na obravnavanem odseku opisujejo kot srednje obremenjeno, malo obremenjeno in neobremenjeno. Visoke vrednosti diverzitetnega indeksa so verjetno posledica raznovrstnosti habitatov, ki jih makroinvertebrati v reki poseljujejo. Anorganski substrat je bil pester na vseh treh vzorčnih mestih. Največjo pestrost substrata smo zabeležili v Tremerjah, kjer so bile tudi vrednosti diverzitetnega indeksa najvišje. Vrednosti saprobnega indeksa so bile dokaj nizke (med 1,7 in 1,9) in nakazujejo na neobremenjenost oz. majhno obremenjenost reke na proučevanem odseku. Nizke vrednosti saprobnega indeksa so verjetno posledica dobre prezračenosti reke Savinje zaradi njenega hitrega in turbulentnega toka. V naši raziskavi smo na treh vzorčnih mestih na reki Savinji določili tako indikatorje organskega onesnaženja (taksoni z višjo vrednostjo *s*), kot tudi taksone, ki jih zaradi njihove občutljivosti na pomanjkanje kisika, v organsko obremenjenih vodah ne bi pričakovali. Sklepamo lahko, da je so bile v vodotoku prisotne tako organske snovi s katerimi se prvi hranijo, kot tudi dovolj visoka koncentracija kisika, ki jo drugi potrebujejo za preživetje. Vrednosti saprobnega indeksa so v splošnem naraščale od Polul proti Laškem, kar nakazuje na rahlo večanje organske obremenjenosti po toku navzdol. Deleži prehranskih skupin na treh vzorčnih mestih na reki Savinji so si od največjega proti najmanjšemu sledili; detritivori, strgalci, drobilci, filtratorji in plenilci. Delež detritivorov se je povečeval od Polul proti Laškem, iz česar lahko sklepamo, da se je količina detrita večala v isti smeri, kar sovpada tudi z vrednostmi saprobnega indeksa. Deleži strgalcev so bili med posameznimi vzorčnimi mesti podobni, opazne so bile večje sezonske razlike. Največji delež drobilcev smo izračunali v Polulah, kar nakazuje na večjo količino odmrle organske snovi v Polulah. Deleži filtratorjev so se močno sezonsko spreminjali in se razlikovali tudi med posameznimi vzorčnimi mesti. Rezultati klastrske analize združbe makroinvertebratov so pokazali večjo podobnost med vzorci, nabranimi ob istem času vzorčenja, kot med vzorci na istem vzorčnem mestu. Torej so bili sezonski vplivi na združbo makroinvertebratov večji od razlik v združbi na posameznih vzorčnih mestih. Združbi makroinvertebratov na vzorčnem mestu Polule in Tremerje sta si bili bolj podobni med sabo, kot z združbo na vzorčnem mestu Laško, kar lahko razlagamo s sestavo anorganskega substrata, ki je bila v Laškem različna od ostalih dveh vzorčnih mest.

## 7 LITERATURA

Allan J. D. 1995. Stream ecology, structure and function of running waters. London, Chapman and Hall.

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

Bat M., Zych M. 2004. Narava Slovenije. Ljubljana, Mladinska knjiga: 231 str.

Bauernfeind E., Humpesh U. H. 2001. Die Eintagsfliegen Zentraleuropas (Insecta: Ephemeroptera): Bestimmung und Ökologie. Wien, Naturhistorischen Museum Wien: 240 str.

Bedjanič M. 2003. Kačji pastirji – Odonata. V: Živalstvo Slovenije, Sket B., Gogala M., Kuštor V. Ljubljana, Tehniška založba Slovenije: 281 – 289 str.

Bole J. 1969. Ključi za določevanje živali; mehkužci Mollusca. Društvo biologov Slovenije, Inštitut za biologijo Univerze v Ljubljani: 115 str.

Brinkhurst R. O. 1971. A Guide to the Identification of British Aquatic Oligochaeta. Freshwater Biological Association Scientific Publication, 22: 55

Couceiro S. R. M., Hamada N., Luz S. L., Forsberg B. R., Pimentel T. P. 2007. Deforestation and sewage effects on aquatic macroinvertebrates in urban streams in Manaus, Amazonas, Brazil. Hydrobiologia, 575: 271 – 284.

Dall P. C., Frieberg N., Lindegaard C., Toman M. J. 1995. A practical guide of biological assessment of stream water quality. V: Biological Assessment of Stream Water Quality (theory, application and comparison of methods). Toman M. J., Steinman F. Ljubljana, University of Ljubljana: 97 – 113 str.

Dobnikar Tehovnik M., Ambrožič Š., Cvitanich I., Gacin M., Grbovič 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.

Direktiva evropskega parlamenta in sveta 2000/60/ES z dne 23. oktobra 2000 o določitvi okvira za ukrepe skupnosti na področju vodne politike. Ur. l. Evropske unije št. L 327/1, 22.12.2000, 275 - 246 str.

Eggers T. O., Martens A. 2001. A Key to the Freshwater Amphipoda (Crustacea) of Germany. Lauterbornia, 42: 1-68.

- Elliot J. M., Mann K. H. 1979. A Key to the British Freshwater Leeches with Notes on Their Life Cycles and Ecology. Freshwater Biological Association Scientific Publication, 40: 72
- Giller P. S., Malmqvist B. 2005. The Biology of Streams and Rivers. Oxford, Oxford Press: 296 str.
- Hall L. W. JR, Killen W. D., Andersen R. D. 2006. Characterization of benthic communities and physical habitat in the Stanislaus, Tuolumne and Merced rivers, California. Environmental Monitoring and Assessment, 155: 223-264.
- Hart D. D. 1978. Diversity in stream insects: regulation by rock size and microspatial complexity. Internationale Vereinigung für Theoretische und angewandte Limnologie Verhandlungen. 20: 1376 – 1381.
- Hynes H. B. N. 1970. The ecology of running waters. Liverpool University Press.
- Jacobsen D., Shultz R., Encalada A. 1997. Structure and diversity of stream invertebrate assemblages: the influence of temperature with altitude and latitude. Freshwater Biology, 38: 247 – 261.
- Kereži V. 2007. Makroinvertebratska združba potoka Glinščica. Diplomsko delo. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo: 91 str.
- Kunaver J., Drobnjak B., Klemenčič M. M., Lovrenča F., Luževič M., Pak M., Senegačnik J., Vrhovec V. 1998. Obča geografija za 1. letnik srednjih šol. Ljubljana, DZS: 265 str.
- Linegaard C. 1995. The Faunas Response on Human Impacts in Running Waters with special Reference to Lowland Conditions. V: Biological Assessment of Stream Water Quality (theory, application and comparison of methods). Toman M. J., Steinman F. Ljubljana, University of Ljubljana: 11 – 48 str.
- Mason C. F. 2002. Biology of freshwater pollution, 4th ed. Prentice – Hall, Harlow: 353 str.
- Murphy J. F., Davy – Bowker J. 2005. Spatial structure in lotic macroinvertebrate communities in England and Wales: relationship with physical, chemical and anthropogenic stress variables. Hydrobiologia 534: 151 - 164
- Nesemann H. 1997. Egel und Krebsgegel Österreichs. Sonderheft der Ersten Vorarlberger Malakologischen Gesellschaft. Wien: 104 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. 1998. Slovenija – pokrajine in ljudje. Ljubljana, Mladinska knjiga: 735 str.

- Rejic M. 1988. Sladkovodni ekosistemi in varstvo voda. Ljubljana, VTOZD za gozdarstvo Biotehniške fakultete: 225 str.
- Savage A. A. 1989. Adults of the British aquatic Hemiptera Heteroptera: A key with ecological notes. Freshwater Biological Association Scientific Publication, 50: 173
- Sever M. 2007. Vpliv hidroloških značilnosti na združbo vodnih nevretenčarjev. Diplomsko delo. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo: 85 str.
- Sivec I. 2003a. Vrbnice – Plecoptera. V: Živalstvo Slovenije. Sket B., Gogala M., Kuštor V. (ur.). Ljubljana, Tehniška založba Slovenije: 290 – 294 str.
- Sivec I., Horvat B., Trilar T. 2003b. Dvokrilci – Diptera. V: Živalstvo Slovenije. Sket B., Gogala M., Kuštor V. (ur.). Ljubljana, Tehniška založba Slovenije: 419 – 432 str.
- Sundermann A., Lohse S. 2005. Bestimmungsschlüssel für die aquatischen Zweiflüger (Diptera) in Anlehnung an die Operationelle Taxaliste für Fließgewässer in Deutschland. V: Standardisierung der Erfassungs- und Auswertungsmethoden von Makrozoobenthosuntersuchungen in Fließgewässern. Haase P., Sundermann A. Gutachten im Auftrag der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser: 20
- Sweeney B. W., Vannote R. L. 1982. Population synchrony in mayflies; a predator satiation hypothesis. *Evolution*, 36: 810 - 281
- Tachet H. 2000. Invertébrés d' eau douce; systématique, biologie, écologie. Paris, CNRS Éditions: 587 str.
- Tarman K. 1992. Osnove ekologije in ekologija živali. Ljubljana, DZS: 547 str.
- Toman J. M. 1987. Spoznajmo naše vode. Ljubljana, prirodoslovno društvo Slovenije.
- Toman J. M. 1996 Odpadne vode – snovno in energetska 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 ter ministrstvo za kulturo: 39 – 46 str.
- Toman T. 2007. Ocena ekološkega stanja reke Savinje po izgradnji Centralne čistilne naprave Celje – Tremerje. Diplomsko delo. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo: 56 str.
- Toman M. J. 2008. Zapiski iz predmeta Limnologija. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo (neobjavljeno)
- Urbanič G., Toman M. J. 2003. Varstvo celinskih voda. Ljubljana, Študentska založba: 94 str.

Urbanič G. 2003. Ključ za določanje družin ličink mladoletnic (Insecta: Trichoptera) v Sloveniji. Spremenjeno po Atlas der Österreichischen Köcherfliegenlarven. (Waringer, Graf, 1997).

Urbanič G., Ambrožič Š., Toman M. J., Rotar B., Grbovič J. 2006. Prilagoditev saprobnega indeksa zahtevam vodne direktive (2000/60/ES) za vrednotenje ekološkega stanja rek v Sloveniji na podlagi bentoških nevretenčarjev. Projektna naloga. Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo

Zabrc D. 2003. Enodnevnice – Ephemeroptera. V: Živalstvo Slovenije, Sket B., Gogala M., Kuštor V. Ljubljana, Tehniška založba Slovenije: 276 – 280 str.

Zwick P. 2004. Key to the West Palearctic genera of stoneflies (Plecoptera) in the larval stage. *Limnologica*, 34: 315 – 348

Ward J. V. 1992. Aquatic insect ecology. 1. Biology and habitat. New York, Wiley.

Washington H. G. 1984. Diversity, biotic and similarity indices. A review with special relevance to aquatic ecosystems. *Water Research*, 18: 653 – 694

Wetzel R. G. 2001. *Limnology. Lake and River Ecosystems*. 3rd Edition. San Diego, Academic Press: 980 str.

[http://gis.arso.gov.si/atlasokolja/profile.aspx?id=Atlas\\_Okolja\\_AXL@Arso](http://gis.arso.gov.si/atlasokolja/profile.aspx?id=Atlas_Okolja_AXL@Arso) (15.6.2008)

[http://www.arso.gov.si/vode/podatki/stanje\\_voda.html](http://www.arso.gov.si/vode/podatki/stanje_voda.html) (18.7.2007, 20.9.2007, 14.11.2007, 28.4.2007)

[http://www.vo-ka-celje.si/podjetje/dejavnost/cistilna\\_Celje.htm](http://www.vo-ka-celje.si/podjetje/dejavnost/cistilna_Celje.htm) (20.9.2008)

## **ZAHVALA**

Prof. dr. Mihaelu J. Tomanu, ki je zmeraj našel čas zame, se zahvaljujem za mentorstvo in vsestransko pomoč.

Zahvaljujem se tudi predsednici komisije prof. dr. Alenki Gabršček za dobro voljo in koristne nasvete. Recenzentu doc. dr. Gorazdu Urbaniču se zahvaljujem za koristne pripombe.

Maji Sever se najlepše zahvaljujem za pomoč pri določanju velikih vodnih nevretenčarjev in številne strokovne nasvete, ki so mi pri izdelavi diplomske naloge zelo koristili.

Ani in Simonu se zahvaljujem za številne zabavne urice, ki so mi krajšale čas med študijem.

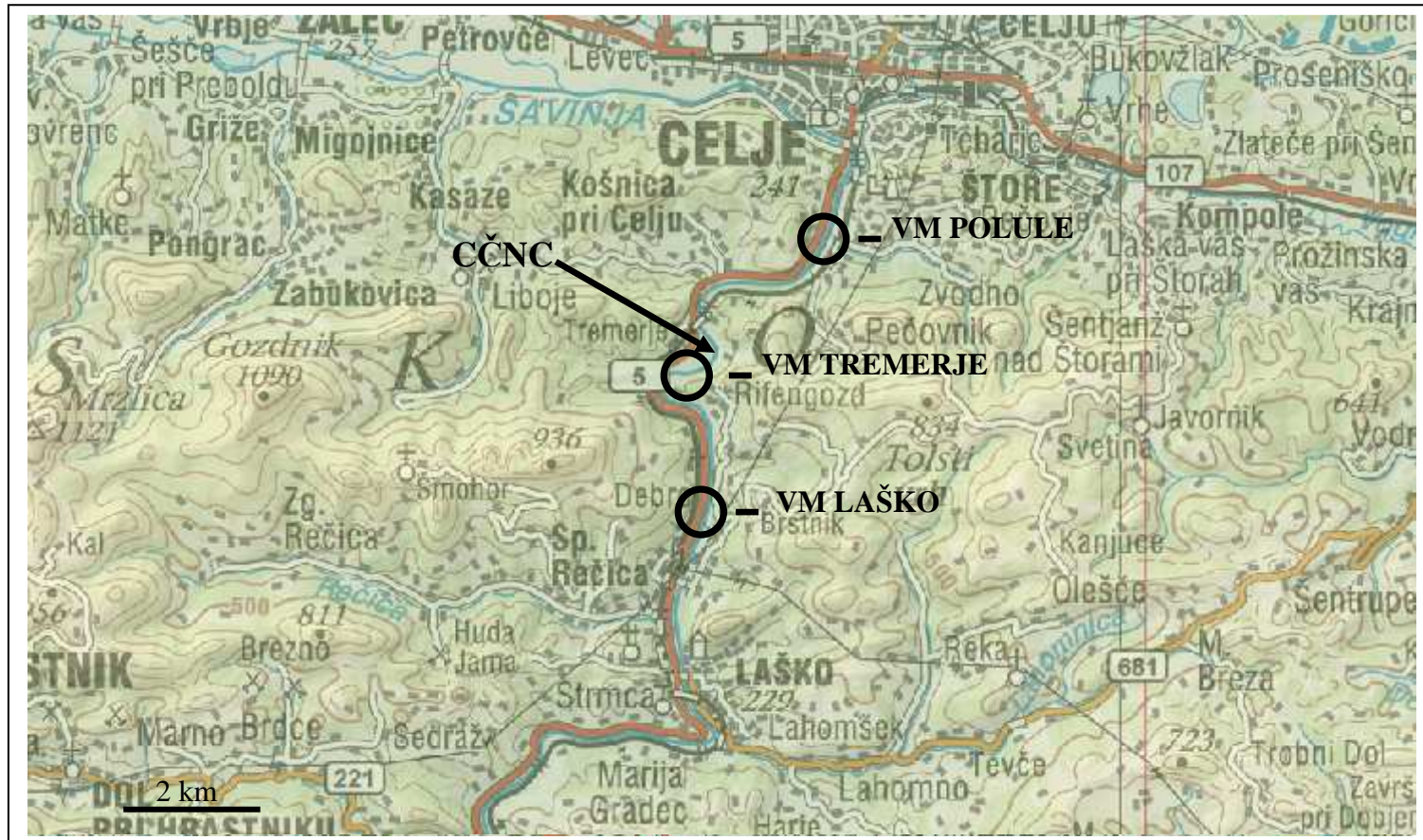
Hvala vsem članom moje družine, ki so mi tekom študija nudili vsestransko podporo, pomoč, me spodbujali in prepričevali, da za dežjem vedno posije sonce.

Mojemu fantu Sandiju, s katerim sva se počasi prebijala skozi večje in manjše prepreke pri nastajanju najinih diplomskih nalog, se iz srca zahvaljujem za vsestransko pomoč pri izdelavi naloge, za razumevanje, ko sem bila res slabe volje, za posebne popestitve med dolgimi urami določanja, za sproščujoče proste dni in za stalno podporo.

## **PRILOGE**



**Priloga A:** Zemljevid vzorčnih mest in Centralne čistilne naprave Celje (CČNC) na reki Savinji  
(Vir: [http://gis.arso.gov.si/atlasokolja/profile.aspx?id=Atlas\\_Okolja\\_AXL@Arso](http://gis.arso.gov.si/atlasokolja/profile.aspx?id=Atlas_Okolja_AXL@Arso))



**Priloga B:** Izmerjene vrednosti hidroloških in fizikalno - kemijskih parametrov ter klorofila *a* na vzorčnih mestih Polule, Tremeerje in Laško na reki Savinji 18.7.2007, 14.11.2007 in 27.4.2008

DATUM	18.7.2007			14.11.2007			27.4.2008		
VZORČNO MESTO	VM POLULE	VM TREMEJE	VM LAŠKO	VM POLULE	VM TREMEJE	VM LAŠKO	VM POLULE	VM TREMEJE	VM LAŠKO
povprečna hitrost vodnega toka (m/s)	0,64	0,45	0,26	0,76	0,62	0,57	0,81	0,81	0,80
temperatura vode (°C)	20,8	23,2	25,2	5,6	5,9	6,2	12,2	12,4	13,1
koncentracija kisika (mg/L)	8,4	11,8	12,7	12,7	13,5	14,2	11,9	11,6	12,4
nasičenost vode s kisikom (%)	97	140	157	100	110	116	118	115	120
elektroprevodnost (μS/cm)	730	352	266	410	460	466	458	366	364
pH	8,1	8,4	8,6	7,8	8,0	8,0	8,3	7,9	8,1
skupne suspendirane snovi (mg/L)	33,60	23,20	6,90	3,00	6,50	7,20	8,50	5,80	5,80
nitratni NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	3,45	3,88	3,47	0,58	1,06	0,69	5,48	6,38	5,89
ortofosfati PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (mg/L)	0,05	0,03	0,02	0,02	0,03	0,04	0,04	0,03	0,03
klorofil <i>a</i> (mg/cm <sup>2</sup> )	6,08	28,37	12,37	20,90	24,37	19,61	23,44	28,94	20,32

**Priloga C:** Seznam taksonov in številčnost makroinvertebratov, ulovljenih na vzorčnih mestih Polule, Tremerje in Laško na reki Savinji 18.7.2007, 14.11.2007 in 27.4.2008

DATUM		18.7.2007			14.11.2007			27.4.2008	
VZORČNO MESTO	VM POLULE	VM TREMERJE	VM LAŠKO	VM POLULE	VM TREMERJE	VM LAŠKO	VM POLULE	VM TREMERJE	VM LAŠKO
<b>TAKSON</b>									
<b>GASTROPODA</b>									
<b>Neritidae</b>									
<i>Theodoxus danubialis</i>	1	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Ancylidae</b>									
<i>Ancylus fluviatilis</i>	2	1	0	0	0	1	0	0	0
<b>Hydrobiidae</b>									
<i>Lithoglyphus naticoides</i>	1	0	0	0	1	0	0	0	0
<b>Bithyniidae</b>									
<i>Bithynia tentaculata</i>	5	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Physidae</b>									
<i>Physa fontinalis</i>	0	2	0	0	0	0	0	0	0
<b>BIVALVIA</b>									
<b>Sphaeriidae</b>									
<i>Pisidium</i> sp.	8	34	0	0	0	0	0	0	0
<b>OLIGOCHAETA</b>									
<b>Naididae</b>									
<i>Dero</i> sp.	0	0	0	0	9	0	0	0	0
<i>Nais</i> sp.	0	0	0	3	33	0	265	599	165
<i>Stylaria lacustris</i>	0	0	0	0	0	0	1	1	1
<b>Tubificidae</b>									
Tubificidae s ščetinami	6	5	1	0	0	2	0	0	0
Tubificidae brez ščetin	0	2	0	0	1	0	0	0	3
<b>Enchytraeidae</b>									
Enchytraeidae Gen. Sp.	0	0	0	0	1	0	0	0	0

»se nadaljuje«

»nadaljevanje«

<b>Lumbriculidae</b>									
<i>Lumbriculus variegatus</i>	5	2	0	0	4	0	1	3	13
<i>Rhynchelmis limosella</i>	6	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Stylodrilus heringianus</i>	76	90	5	1	10	47	2	9	4
<i>Stylodrilus</i> sp.	39	52	9	1	3	186	14	76	449
<b>Lumbricidae</b>									
<i>Eiseniella tetraedra</i>	31	21	4	8	15	2	11	7	5
<b>HIRUDINEA</b>									
<b>Erpobdellidae</b>									
<i>Erpobdella octoculata</i>	4	0	0	0	0	2	0	2	1
<i>E. testacea</i>	112	18	0	0	1	0	0	1	2
<b>Glossiphoniidae</b>									
<i>Glossiphonia complanata</i>	1	0	0	0	0	0	0	1	0
<i>Helobdella stagnalis</i>	1	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>AMPHIPODA</b>									
<b>Gammaridae</b>									
<i>Gammarus fossarum</i>	2166	331	60	57	180	82	64	94	440
<b>ISOPODA</b>									
<b>Asellidae</b>									
<i>Asellus aquaticus</i>	1	1	0	0	0	0	0	0	0
<b>HYDRACARINA</b>	3	3	0	0	0	1	0	0	0
<b>EPHEMEROPTERA</b>									
<b>Baetidae</b>									
<i>Baetis</i> sp.	546	1344	282	27	48	107	16	21	53
<b>Heptageniidae</b>									
<i>Ecdyonurus</i> sp.	0	4	1	0	1	1	0	1	1
<i>Epeorus assimilis (sylvicola)</i>	0	0	0	0	0	1	0	0	0
<i>Epeorus</i> sp.	0	0	0	0	0	0	1	0	0
<i>Heptagenia sulphurea</i>	0	0	4	0	2	3	3	0	1

»se nadaljuje«

»nadaljevanje«

<b>Leptophlebiidae</b>									
<i>Habrophlebia fusca</i>	0	0	0	0	0	0	0	1	3
<i>H. lauta</i>	0	0	0	0	1	0	3	0	3
<b>Potamanthidae</b>									
<i>Potamanthus luteus</i>	5	6	1	6	13	26	6	5	56
<b>Ephemeridae</b>									
<i>Ephemera danica</i>	0	0	0	0	1	0	0	0	1
<b>Ephemerellidae</b>									
<i>Ephemerella ignita</i>	1	0	0	0	1	1	0	0	0
<i>E. major</i>	0	0	0	0	1	0	0	0	2
<i>E. notata/mucronata</i>	0	0	0	0	1	0	0	0	1
<i>Ephemerella sp.</i>	0	0	0	0	0	0	0	1	0
<i>Torleya belgica</i>	0	0	0	1	0	1	1	0	1
<b>Caenidae</b>									
<i>Caenis sp.</i>	1	8	8	0	1	1	0	0	0
<b>PLECOPTERA</b>									
<b>Nemouridae</b>									
<i>Nemoura sp.</i>	0	0	0	1	1	0	0	1	0
<b>Leuctridae</b>									
<i>Leuctra sp.</i>	246	196	17	1	2	0	4	1	1
<b>Perlodidae</b>									
<i>Isoperla sp.</i>	0	0	0	0	0	0	0	1	0
<i>Perlodes sp.</i>	0	0	0	1	0	0	0	0	0
<b>Perlidae</b>									
<i>Perla marginata</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	1
<b>ODONATA</b>									
<b>Calopterygidae</b>									
<i>Calopteryx splendens</i>	0	0	0	0	1	0	0	0	0
<b>Platycnemididae</b>									
<i>Platycnemis pennipes</i>	0	0	0	0	1	0	0	0	0

»se nadaljuje«

»nadaljevanje«

<b>Gomphidae</b>									
<i>Gomphus vulgatissimus</i>	0	1	0	0	1	0	0	0	0
<i>Onychogomphus f. forcipatus</i>	0	1	2	0	1	0	0	0	3
<b>HETEROPTERA</b>									
<b>Aphelocheiridae</b>									
<i>Aphelocheirus aestivalis</i>	0	0	1	0	0	0	0	0	0
<b>COLEOPTERA</b>									
<b>Gyrinidae</b>									
<i>Orectochilus villosus</i> – larva	0	0	0	1	1	1	0	0	1
<b>Elmidae</b>									
<i>Elmis</i> sp.	0	1	0	0	0	0	0	0	1
<i>Elmis</i> sp. – larva	1	0	0	0	0	1	0	0	0
<i>Esolus</i> sp.	3	7	0	2	7	8	0	5	20
<i>Esolus</i> sp. – larva	2	2	2	6	9	20	19	11	14
<i>Limnius</i> sp.	0	1	0	0	0	0	0	0	0
<i>Limnius</i> sp. – larva	0	4	7	0	0	0	2	2	0
<i>Oulimnius</i> sp. – larva	0	0	0	1	1	1	0	0	1
<b>TRICHOPTERA</b>									
<b>Hydropsychidae</b>									
<i>Hydropsyche</i> sp.	79	450	88	54	81	133	1	7	46
<b>Polycentropodidae</b>									
<i>Polycentropus</i> sp.	0	0	0	0	0	0	1	0	0
<b>Psychomyiade</b>									
<i>Psychomyia pusilla</i>	18	169	68	14	2	6	2	6	16
<b>Rhyacophilidae</b>									
Rhyacophilidae	0	0	0	0	0	7	0	0	0
<i>Rhyacophila</i> sp.	0	14	0	2	2	1	0	0	0
<i>Rhyacophila</i> s. stricto	0	0	0	0	0	0	0	1	1

»se nadaljuje«

»nadaljevanje«

<b>Glossosomatidae</b>									
<i>Glossosoma</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	1
<b>Brachycentridae</b>									
<i>Micrasema</i> sp.	0	0	0	0	0	0	1	0	0
<b>Leptoceridae</b>									
<i>Athripsodes</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	1
<b>Fam. Sericostomatidae</b>									
<i>Sericostoma</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Trichoptera - buba	2	10	8	0	0	0	1	0	8
<b>DIPTERA</b>									
<b>Psychodidae</b>									
Psychodidae Gen. sp.	0	0	0	1	0	0	0	0	0
<b>Simuliidae</b>									
<i>Simulium</i> sp.	17	771	0	0	5	3	1	3	2
<i>Simulium</i> sp. - buba	0	83	1	0	0	0	0	1	0
<b>Chironomidae</b>									
Chironominae	31	42	16	4	f	2	12	44	96
Chironominae - buba	3	3	2	2	2	0	1	6	14
Tanytarsini	25	119	62	12	14	7	31	23	51
Tanytarsini - buba	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Orthocladiinae	36	83	5	143	282	193	106	116	183
Orthocladiinae - buba	7	21	6	47	82	70	8	39	47
<i>Brillia bifida</i>	0	9	4	0	0	0	0	0	0
Tanypodinae	18	109	23	14	12	12	23	13	13
Tanypodinae - buba	7	41	13	0	2	0	2	2	1
<i>Prodiamesa olivacea</i>	0	0	0	3	2	0	0	1	0
Prodiamesinae - buba	0	0	1	0	37	0	0	0	0
<b>Limoniidae</b>									
<i>Antocha</i> sp.	2	5	23	2	2	6	0	0	5
<i>Eloeophila</i> sp.	3	1	0	1	1	0	0	0	0

»se nadaljuje«

»nadaljevanje«

Limoniidae - buba	3	4	2	0	0	0	0	0	2
Limoniidae Gen. sp.	0	0	0	0	0	0	1	0	0
<b>Pediciidae</b>									
<i>Dicranota</i> sp.	2	1	0	2	1	6	0	1	0
<b>Empididae</b>									
<i>Chelifera</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Empididae - buba	0	1	0	0	0	0	0	1	2
<b>Athericidae</b>									
<i>Atherix ibis</i>	32	25	63	1	4	4	0	0	0
<b>Tabanidae</b>									
<i>Tabanus</i> sp.	0	0	0	0	0	1	0	0	0
<b>VSOTA</b>	3588	4098	789	419	884	946	604	1107	1739



UNIVERZA V LJUBLJANI  
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA  
ODDELEK ZA BIOLOGIJO

Alijana PIVKO KNEŽEVIČ

**OVREDNOTENJE VPLIVA CENTRALNE ČISTILNE  
NAPRAVE CELJE NA REKO SAVINJO  
UPOŠTEVAJE LONGITUDINALNE SPREMEMBE V  
ZDRUŽBI VELIKIH VODNIH NEVREtenČARJEV**

DIPLOMSKO DELO

Univerzitetni študij

Ljubljana, 2009