

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA BIOLOGIJO

Tina TOMAN

**OCENA EKOLOŠKEGA STANJA REKE SAVINJE PO IZGRADNJI
CENTRALNE ČISTILNE NAPRAVE CELJE - TREMERJE**

DIPLOMSKO DELO
Univerzitetni študij

**ESTIMATES OF ECOLOGICAL STATE OF THE RIVER SAVINJA
AFTER THE ESTABLISHMENT OF WATER TREATMENT PLANT
"CELJE-TREMERJE"**

GRADUATION THESIS
University studies

Ljubljana, 2007

Diplomsko delo je zaključek Univerzitetnega študija biologije. Opravljeno je bilo na Oddelku za biologijo Biotehniške fakultete v Ljubljani, v skupini za limnologijo.

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

Komisija za oceno in zagovor

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

Član: prof. dr. Danijel VRHOVŠEK, recenzent
Limnos, podjetje za aplikativno ekologijo, d.o.o.

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

Datum zagovora : 15.10.2007

Naloga je rezultat lastnega raziskovalnega dela.

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.

Tina Toman

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD	Dn
DK	UDK - vrstilec
KG	Savinja / Centralna čistilna naprava Celje / ocena ekološkega stanja / Voglajna / makroinvertebrati / saprobni indeks / Shannon-Wiener
KK	628:592 (497.4 Savinja, Voglajna)(043.2) = 163.6
AV	TOMAN, Tina
SA	TOMAN, Mihael J. (mentor)
KZ	SI-1000 Ljubljana, Večna pot 111
ZA	Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo
LI	2007
IN	OCENA EKOLOŠKEGA STANJA REKE SAVINJE PO IZGRADNJI CENTRALNE ČISTILNE NAPRAVE CELJE – TREMERJE
TD	Diplomsko delo (univerzitetni študij)
OP	X, 54 str., 2 tabel, 21 sl., 3 pril., 30 vir
IJ	sl
JI	sl/en
AI	Na območju mesta Celje je bila Savinja vrsto let sprejemnik neprečiščenih odpadnih vod mesta Celje in bližnjih naselij. Kot glavni odvodnik komunalnih in industrijskih odplak se je uporabljala reka Voglajna, ki se na območju Polul izlije v reko Savinjo. Posledica je bilo slabo ekološko stanje reke Savinje, ki se je z delovanjem Centralne čistilne naprave Celje izboljšalo. Samega izboljšanja kakovosti reke Savinje v času našega raziskovanja od avgusta 2004 do septembra 2005, ko smo vsake tri mesece opravili meritve fizikalno-kemijskih parametrov in vzorčenje združbe makroinvertebratov nismo zaznali, saj je v tem času čistilna naprava začela 200-dnevno poskusno delovanje. Našli smo 67 različnih taksonov velikih vodnih nevretenčarjev. Najpogostejši taksoni so bili enodnevnice (Ephemeroptera), dvokrilci (Diptera), maloščetinci (Oligochaeta) in mladoletnice (Trichoptera). Število taksonov se spreminja skladno z obremenitvami vodotoka ter spreminjanjem hidromorfoloških in fizikalno-kemijskih parametrov. Po saprobnem indeksu uvrstimo reko Savinjo v drugi kakovostni razred z zmerno obremenitvijo, reko Voglajno pa med drugi in tretji kakovostni razred s srednjo obremenitvijo. Podrobne uvrstitve poda tudi Shannon-Wienerjev diverzitetni indeks.

KEY WORDS DOCUMENTATION

DN	Dn
DC	UDK - vrstilec
CX	Savinja river / central water treatment plant "Celje" / estimates of ecological state / Voglajna river / macroinvertebrates / saprobic index / Shannon - Wiener index
CC	628:592 (497.4 Savinja, Voglajna)(043.2) = 163.6
AU	TOMAN, Tina
AA	TOMAN, Mihael J. (supervisor)
PP	SI-1000 Ljubljana, Večna pot 111
PB	University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Biology department
PY	2007
TI	ESTIMATES OF ECOLOGICAL STATE OF THE RIVER SAVINJA AFTER THE ESTABLISHMENT OF WATER TREATMENT PLANT "CELJE-TREMERJE"
DT	Graduation thesis (University studies)
NO	X, 54 p., 2 tab., 21 fig., 3 ann., 30 ref.
LA	sl
AL	sl/en
AB	The Savinja river has for many years been the recipient of sewages and other polluted waters from Celje and its suburban areas. The main source of public and industrial sewages is the river Voglajna which comes into contact with Savinja in the area of Polule region. A consequence of this was a bad ecological state of river Savinja, which has improved a lot with the start of the central water treatment plant "Celje". Measurements of physical and chemical parameters and sampling of macroinvertebrate community every three months had not revealed the water quality improvement of the Savinja river at the period from August 2004 to September 2005. The reason for that was the trial activity of water treatment plant which started its 200 days trial period. We have found 67 different huge water non-invertebrate taxons. The most common taxons were short-lived mayflies (Ephemeroptera), true flies and insects (Diptera), aquatic worms (Oligochaeta) and insects having two pairs of hairy, membranous wings (Trichoptera). The number of taxons changes according to the water loading and changes of hydromorphological and physical-chemical parameters. According to saprobic index the river Savinja can be ranged in the second quality class and river Voglajna in the second to third quality class. Similar findings have been also shown with the use of "Shannon-Wiener" index of diversity.

KAZALO VSEBINE

Ključna dokumentacijska informacija	III
Key words documentation	IV
Kazalo vsebine.....	V
Kazalo tabel	VII
Kazalo slik	VIII
Kazalo prilog	X
1 UVOD.....	1
1.1 NAMEN	2
1.2 HIPOTEZA	2
2 PREGLED OBJAV	3
2.1 OPIS POREČJA REKE SAVINJE	3
2.2 CENTRALNA ČISTILNA NAPRAVA CELJE - TREMERJE.....	5
2.2.1 Lokacija Centralne čistilne naprave	5
2.2.2 Tehnologija Centralne čistilne naprave.....	5
2.2.3 Vpliv učinka čistilne naprave na odvodnik reko Savinjo.....	7
2.3 ABIOTSKE IN BIOTSKE RAZMERE V VODOTOKIH.....	7
2.3.1 Temperatura	8
2.3.2 Kisik	9
2.3.3 Ogljikov dioksid in pH.....	10
2.3.4 Dušik	11
2.3.5 Fosfor	11
2.3.6 Podlaga.....	12
2.3.7 Vodni nevretenčarji.....	13
3 MATERIAL IN METODE	15
3.1 OPIS VZORČNIH MEST.....	16
3.1.1 Vzorčno mesto Savinja – Kasaze (P1)	16
3.1.2 Vzorčno mesto Savinja – Polule (P2)	17
3.1.3 Vzorčno mesto Savinja – Tremerje (P3).....	18
3.1.4 Vzorčno mesto Voglajna (P4).....	19
3.2 MERITVE FIZIKALNIH IN KEMIJSKIH DEJAVNIKOV	20
3.2.1 Temperatura in raztopljeni plini.....	20
3.2.2 pH in prevodnost.....	20
3.2.3 Hranilne snovi	20
3.2.4 Skupne suspendirane snovi	21

3.3	BIOKEMIJSKE ANALIZE	21
3.3.1	Klorofil (določanje količine klorofila)	21
3.4	VZORČENJE ZDRUŽBE MAKROINVERTEBRATOV IN OBDELAVA VZORCEV	22
3.5	BIOLOŠKE IN STATISTIČNE ANALIZE	23
3.5.1	Saprobní indeks	23
3.5.2	Shannon – Wiener diverzitetni indeks	25
3.5.3	Klasterska analiza združbe makroinvertebratov	26
4	REZULTATI.....	27
4.1	FIZIKALNI IN KEMIJSKI DEJAVNIKI	27
4.1.1	Temperatura vode.....	27
4.1.2	Kisikove razmere	28
4.1.3	pH.....	30
4.1.4	Elektroprevodnost	31
4.1.5	Vsebnost nitratov v vodi (NO_3^-).....	32
4.1.6	Vsebnost ortofosfatov v vodi (PO_4^{3-})	33
4.1.7	Vsebnost skupnih suspendiranih snovi (TSS).....	34
4.2	BIOKEMIJSKE ANALIZE	35
4.2.1	Vsebnost klorofila	35
4.3	REZULTATI RAZISKAV VELIKIH VODNIH NEVRETEŇARJEV	37
4.3.1	Taksonomska sestava združbe velikih vodnih nevretenčarjev	37
4.3.2	Longitudinalne spremembe v sestavi združbe velikih vodnih nevretenčarjev	40
4.4	BIOLOŠKE IN STATISTIČNE ANALIZE	42
4.4.1	Saprobní indeks.....	42
4.4.2	Shannon-Wienerjev diverzitetni indeks	43
4.4.3	Bray-Curtisov indeks podobnosti.....	43
5	RAZPRAVA IN SKLEPI.....	45
5.1	RAZPRAVA	45
5.2	SKLEPI	50
6	POVZETEK	52
7	VIRI	54
	ZAHVALA	
	PRILOGE	

KAZALO TABEL

Tabela 1 : Vrednosti saprobnega indeksa in pripadajoči kakovostni razredi (po Sladečku, 1973)	23
Tabela 2 : Kakovost vodnega okolja v odvisnosti od vrednosti Shannon – Wienerjevega diverzitetnega indeksa (po Wilhm & Dorris, 1966, v: Washington 1984).....	25

KAZALO SLIK

Slika 1 : Tloris Centralne čistilne naprave Celje	6
Slika 2 : Vzorčno mesto P1	16
Slika 3 : Vzorčno mesto P2	17
Slika 4 : Vzorčno mesto P3	18
Slika 5 : Vzorčno mesto P4	19
Slika 6 : Temperatura vode (°C) na vzorčnih mestih P1, P2, P3 in P4 od avgusta 2004 do septembra 2005	27
Slika 7 : Vsebnost kisika (mg/l) na vzorčnih mestih P1, P2, P3 in P4 od avgusta 2004 do septembra 2005	28
Slika 8 : Nasičenosti vode s kisikom (%) na vzorčnih mestih P1, P2, P3 in P4 od avgusta 2004 do septembra 2005	29
Slika 9 : Vrednosti pH na vzorčnih mestih P1, P2, P3 in P4 od avgusta 2004 do septembra 2005	30
Slika 10 : Vrednosti elektroprevodnosti ($\mu\text{S}/\text{cm}$) na vzorčnih mestih P1, P2, P3 in P4 od avgusta 2004 do septembra 2005	31
Slika 11 : Vsebnost nitratov (mg/l) na vzorčnih mestih P1, P2, P3 in P4 od avgusta 2004 do septembra 2005	32
Slika 12 : Vsebnost ortofosfatov (mg/l) na vzorčnih mestih P1, P2, P3 in P4 od avgusta 2004 do septembra 2005	33
Slika 13 : Skupne suspendirane snovi (mg/l) na vzorčnih mestih P1, P2, P3 in P4 od avgusta 2004 do septembra 2005	34
Slika 14 : Vsebnost klorofila a (mg/l) na vzorčnih mestih P1, P2, P3 in P4 od avgusta 2004 do septembra 2005	35
Slika 15 : Opazna prisotnost alg na kamnih na vzorčnem mestu P2	36
Slika 16 : Opazna prisotnost alg na kamnih na vzorčnem mestu P2	36
Slika 17 : Spreminjanje števila taksonov znotraj posamezne skupine makroinvertebratov na vzorčnih mestih P1, P2, P3 in P4 ob različnih časih vzorčenja	41

Slika 18 : Grafikon kvantilov števila taksonov na vzorčnih mestih P1, P2, P3 in P4 leta 2004 in 2005	41
Slika 19 : Saprobni indeks na vzorčnih mestih P1, P2, P3 in P4 leta 2004 in 2005.....	42
Slika 20 : Vrednosti Shannon-Wienerjevega diverzitetnega indeksa na vzorčnih mestih P1, P2, P3 in P4 leta 2004 in 2005.....	43
Slika 21 : Klusterska analiza združbe makroinvertebratov z Bray-Curtis-ovim indeksom podobnosti, vzorčene leta 2004 ter 2005.....	44

KAZALO PRILOG

Priloga A : Meritve fizikalnih in kemijskih dejavnikov na vzorčnih mestih P1, P2 in P3 reke Savinje in P4 na reki Voglajni od avgusta 2004 do septembra 2005

Priloga B : Seznam v reki Savinji in reki Voglajni prisotnih taksonov velikih vodnih nevretenčarjev zbranih na vzorčnih mestih P1, P2, P3 in P4 od avgusta 2004 do septembra 2005

Priloga C : Zemljevid porečja reke Savinje

1 UVOD

Reke, so veliki naravni tokovi, dinamični sistemi, ki na izviru pritečejo na dan, se na poti k izlivu razvijajo in longitudinalno spreminjajo. Njihov tok je razdeljen na tri odseke: zgornji tok, srednji in spodnji tok. Reka teži k uravnoteženemu podolžnemu preseku in vzpostavitvi ravnovesja med erozijo in odlaganjem. V zgornjem toku prevladuje erozija. V nižjih delih toka, kjer se strmec zmanjša, pa se začne kamninski drobir usedati. Poleg tega se spreminja tudi lateralna dimenzija reke, ki sprva teče po udorni dolini, kasneje pa mimo vasi, naselij in mest, ki vplivajo na lastnosti reke.

Longitudinalne spremembe fizikalno-kemijskih dejavnikov imajo velik vpliv na ekosistemske procese, kot so primarna produkcija, respiracija in dekompozicija, ter na vrstno pestrost in sestavo združbe makroinvertebratov. Specifične abiotične in biotične razmere določajo vrstno sestavo združbe makroinvertebratov.

Značilnosti porečja vplivajo na rečne sisteme, poseben vpliv ima onesnaženje. To je značilno tudi za Savinjo, ki je na območju mesta Celje več let sprejemala neprečiščene odpadne vode. Glavni odvodnik komunalnih in industrijskih odplak je bila sicer reka Voglajna, ki se na območju Polul izlije v reko Savinjo. Posledica je bilo slabo kakovostno stanje rečnega ekosistema, ki je ogrožalo ne samo rastline in živali, temveč tudi ljudi.

Z izgradnjo Centralne čistilne naprave Celje se bo po pričakovanju Mestne občine Celje izboljšala kakovost vodotokov in njihova samočistilna sposobnost.

1.1 NAMEN

Namen mojega diplomskega dela je bilo spremljanje longitudinalnih sprememb različnih abiotских in biotских dejavnikov na reki Savinji ter ugotoviti, ali ima reka Voglajna kot glavna odvodnica komunalnih in industrijskih odpadkov mesta Celje in bližnjih naselij vpliv na reko Savinjo, v katero se na Polulah izlije. Z različnimi metodami in indeksi smo ocenili kakovost reke Savinje in ugotavljali, če se v času poskusnega delovanja Centralne čistilne naprave Celje že kažejo pozitivni učinki na reko Savinjo.

1.2 HIPOTEZA

Izgradnja Centralne čistilne naprave Celje skupaj z izgradnjo glavnega zbiralnika (GZ-O) od sotočja Savinje in Voglajne do lokacije čistilne naprave zmanjša obremenitev reke Savinje s komunalnimi in industrijskimi odpadki ter omogoča izboljšanje kakovosti reke Savinje.

2 PREGLED OBJAV

2.1 OPIS POREČJA REKE SAVINJE

Porečje Savinje obsega nekaj manj kot desetino Slovenije (1885 kvadratnih kilometrov), njegova osrednja vodna žila pa je približno 100 kilometrov dolga reka Savinja (Savinjska ...,1993)

Izvir reke Savinje je v ledeniški dolini Kamniško Savinjskih Alp, v Logarski dolini pod visokogorsko ledeniško krnico Okrešelj, kjer prihaja na površje kot slap Rinka (Plut, 1995). Njeno porečje poteka večinoma po Zgornji in Spodnji Savinjski dolini.

Na območju Zgornje Savinjske doline teče Savinja mimo Luč, kjer dobi pritok Lučnice in nadaljuje svojo pot proti Ljubnem in Nazarjam, kje se njen tok umiri in začne teči počasi. V ta svet je reka tisočletja odlagala svoje gradivo in tako ustvarila velik prodni vršaj, ki je danes že razrezan v terase.

Po pritoku Drete in Ljubnice se Savinja razširi po prostrani ravnini, ki jo v živi govorici imenujemo (spodnja) Savinjska dolina (Goropevšek in Cvirn, 1996). Spodnja Savinjska dolina zavzema osrednji ravninski del Celjske kotline med Vranskim in Letušem na zahodu in sotočjem Savinje, Hudinje in Voglajne na vzhodu (Spodnja Savinjska dolina ...,1994). V zahodnem delu poteka struga Savinje prečno na ravnino, od severozahoda proti jugovzhodu v smeri Letuškega preloma. Po izlivu Boljske, ki je desni pritok Savinje, se njena struga preusmeri proti vzhodu. Vzporedno s Savinjo tečeta v osrednjem delu doline Letuška in Podvinska struga. Paka in Ložnica sta v tem delu glavna leva pritoka, ki odmakata Velenjsko kotlino in Ložniško gričevje. Na skrajnem vzhodnem obrobju ravnine dobi Savinja še Voglajno, ki doteka z gričevnatega, vendar mehkega subpanonskega obrobja (Slovenija ...,2001), ter vodnato in hudourniško Hudinjo, ki doteka iz silikatnih Osrednjih Alp (Pohorje) (Savinjska ...,1993).

Pri Celju Savinja v ostrem kolenu zavije proti jugu in nadaljuje pot mimo obcestne vas Tremerje proti Laškem. Na poti skozi Zibiko začne njen tok siliti na desno v pečevje, vendar se nato proti Rimskim Toplicam umiri. Preostanejo le še trije kilometri poti reke Savinja, ki se med strmimi pečinami v Zidanem Mostu izlije v Savo, ki priteče izpod Triglava (Goropevšek in Cvirn, 1996).

Porečje reke Savinja predstavljata Zgornja Savinjska dolina, ki pripada Kamniško Savinjskim Alpam, in (Spodnja) Savinjska dolina. V podnebnih značilnostih se tu kaže izrazit prehod med alpskimi, celinskimi in sredozemskimi vremenskimi vplivi – slednji se kažejo le v padavinskem režimu, ne pa v temperaturnih lastnostih. Povprečna letna temperatura je med 8 in 9 stopinj C in narašča od zahoda proti vzhodu ter od severa proti jugu. Januarja je povprečna mesečna temperatura pod lediščem (-1,9 °C). Povprečna julijska temperatura pa se giblje med 18 °C in 20 °C (Slovenija-pokrajine in ljudje, 2001).

Povprečna letna količina padavin v Zgornji Savinjski dolini je med 1400 mm in 1600 mm. Količina padavin se zmanjšuje od zahoda proti vzhodu. V Spodnji Savinjski dolini pa je povprečna letna količina padavin med 1100 mm in 1250 mm. V Zgornji Savinjski dolini pade največja količina padavin septembra in junija, v Spodnji Savinjski dolini pa prav tako v poletnih mesecih in novembra (Slovenija-pokrajine in ljudje, 2001).

Savinja ima dežno – snežni rečni režim. Najvišje vode ima novembra in maja, najnižji vodostaj pa poleti in pozimi (Slovenija ...,2001).

2.2 CENTRALNA ČISTILNA NAPRAVA CELJE - TREMERJE

Odpadne vode so Savinjo in druge vodotoke tako onesnažile, da niso bile ogrožene samo živali in rastline, pač pa tudi človek (Centralna čistilna ...,2004), zato je bilo potrebno takoj pristopiti k reševanju odvajanja in čiščenja odpadnih voda (Centralna čistilna ...,2004). Rešitev je bila v izgradnji Centralne čistilne naprave Celje – Tremerje.

2.2.1 Lokacija Centralne čistilne naprave

Lokacija Centralne čistilne naprave je severovzhodno od naselja Tremerje in je oddaljena od naselja 450 m zračne črte. Zajema območje v velikosti 26.000 m², ki je postavljeno tik pred stičiščem železniške proge Zidani Most – Celje in lokalne ceste na levi strani pod vznožjem Vipote. To območje na ozkem pasu ponuja široke možnosti uporabe prostorov. Na majhni površini se prepletajo poselitvena cona, kmetijske površine, strnjen gozd in prometne povezave. Strnjeno območje poselitve – Tremerje – je odmaknjeno od lokacije Centralne čistilne naprave z naravnimi in antropogeno ustvarjenimi ovirami (Centralna čistilna ..., 2002).

2.2.2 Tehnologija Centralne čistilne naprave

Centralna čistilna naprava Celje je zgrajena za končno obremenitev 85.000 PE (priključenih enot). Namenjena je čiščenju komunalnih in industrijskih odpadnih vod mesta Celje in bližnjih naselij, ki se zbirajo v kanalizaciji in pritečejo na čistilno napravo po glavnem zbiralniku (GZ-0). Je mehansko – biološka čistilna naprava, katere cilj je odstranjevanje organskih, dušikovih in fosforjevih spojin z istočasno aerobno stabilizacijo in dehidracijo blata.

Odpadna voda priteče po dovodnem glavnem kanalizacijskem zbiralniku v čistilno napravo v lovilec gramoza. Iz lovilca gramoza voda teče preko betonskega preliva v vhodno črpališče s tremi potopnimi črpalkami, ki odpadno vodo dvignejo na koto grabelj. Voda teče gravitacijsko do iztoka v reko Savinjo. V postaji grabelj so nameščene dvojne elektromotorne verižne grablje ter ročne paličaste grablje. Odpadki z grabelj se strojno

odstranjujejo na polžni transporter – kompaktor, kjer se odpadki dehidrirajo in padejo v kolesni zabojnik. Iztisnjena voda se vrača v čiščenje. Pred dotokom odpadne vode v ozračeni peskolov gre voda preko on-line merilne postaje, kjer se merijo pH vrednosti, temperatura in elektoprevodnost. Odpadna voda nato teče v ozračeni peskolov, kjer se pesek loči od vode in se odlaga v kontejnerje in maščobnik, v katerem se plavajoča maščoba posnema in se nalaga v rezervoar maščob. Mehansko očiščena odpadna voda vstopa v biološko stopnjo, kjer poteka čiščenje odpadne vode z aktivnim blatom v obliki suspendirane biomase pri aerobnih pogojih (Vodni dnevi ... ,2004). Linija blata se začne v naknadnih usedalnikih, kjer se blato loči od očiščene vode (Centralna čistilna ...,2004). Kisik za aktivnost aerobne biomase se dovaja s stisnjenim zrakom, ki prezračuje bazene. Podvodna mešala, vgrajena v anaerobni bazen, anoksični in oksični del prezračevalnega bazena, mešajo vsebino v bazenih in preprečujejo usedanje aktivnega blata. Aktivno blato se po strojnem zgoščevanju v centrifugi transportira v kontejnerjih na odlagališče komunalnih odpadkov (Centralna čistilna ...,2002).



Slika 1 : Tloris Centralne čistilne naprave Celje

2.2.3 Vpliv učinka čistilne naprave na odvodnik reko Savinjo

Biološke raziskave reke Savinje, ki so potekale pred izgradnjo čistilne naprave Celje, in so zajemale meritve fizikalnih in kemijskih parametrov ter biološka vzorčenja, so pokazala na veliko organsko obremenjenost reke Savinje; še posebno na sotočju Savinje in Voglajne, kjer je prihajalo do začasnega izpusta kanalizacije. Projekt izgradnje čistilne naprave Celje je zajemal izgradnjo glavnega zbiralnika (GZ-0) na sotočju Savinje in Voglajne na Polulah (P2), kjer je začasni iztok kanalizacije vse do čistilne naprave – lokacija Tremerje (P3), kjer je sedanji izpust iz čistilne naprave, ter izgradnjo čistilne naprave. Z mesecem februarjem leta 2004 se je začelo dvesto-dnevno poskusno obratovanje, v katerem je naprava dosegla zahtevane parametre. Ob zadnjih meritvah, ko je bil začasni izpust odpadnih komunalnih vod iz sotočja Savinje in Voglajne po novozgrajenem zbiralniku (GZ-0) prestavljen na začasni izpust ob lokaciji čistilne naprave, je bilo na lokaciji na Polulah že ugotovljeno izboljšanje kakovosti reke Savinje, kar je tudi glavni cilj (Centralna čistilna ..., 2004).

2.3 ABIOTSKE IN BIOTSKE RAZMERE V VODOTOKIH

Za vsako življenjsko skupnost oziroma biocenozo je nujen življenjski prostor v katerem vladajo določene razmere (Matoničkin in Pavletič, 1972). Kot pravita Giller in Malmqvist (1998) tudi habitat tekočih voda postavlja živali in rastline pred posebne prilagoditvene izzive, ki jih predstavlja specifično fizikalno, kemijsko in biološko okolje rek. Tako življenjska skupnost in biotop v tekoči vodi tvorijo nerazdružljivo celoto, ki je medsebojno povezana v ekosistem. Poleg abiotskih faktorjev delujejo v rekah tudi biotski. Njihovo delovanje se izraža preko medsebojnih odnosov, ki obstajajo med posameznimi člani tega ekosistema (Matoničkin in Pavletič, 1972).

2.3.1 Temperatura

V vseh vodnih okoljih na spremembo temperature najpomembneje vpliva neposredna absorpcija sončevega sevanja. To direktno sevanje absorbirajo sama voda, v vodi raztopljene organske snovi in suspendirani delci. Manj pomembna vira sta še oddajanje toplote iz usedlin in zraka (Urbanič in Toman, 2003). Na temperaturo vplivajo tudi površinski odtoki in dotoki ter talna voda (Urbanič in Toman, 2003), ki je še posebno pozimi pomemben vir toplote (Rejic in Smodej, 1988).

Na nihanje temperature tekočih voda imajo velik vpliv sezonske klimatske spremembe, ki se v nekaterih vodotokih kažejo tudi preko dneva in noči. V vsakem letnem času se lahko opazi postopno povišanje temperature vode v smeri od izvira proti izlivu spomladi in poleti, ter njeno postopno zniževanje od izvira proti izlivu v času zime. Temperaturna nihanja so najmanjša na izviru, a se proti spodnjemu toku povečujejo (Matoničkin in Pavletič, 1972).

Postopno segrevanje in ohlajanje vode omogoča njena posebna lastnost – visoka specifična toplota. Zaradi visoke specifične toplote potrebuje voda veliko več energije za dvig temperature za 1 °C kot pa npr. zrak. Ta lastnost omogoča, da se voda od vseh snovi na zemljini površini najpočasneje segreva in ohlaja in s tem oblikuje vodno okolje v zelo stabilen sistem, ki ponuja svojim prebivalcem prijaznejše okolje, kot ga imajo na kopnem. Hitrim ohladitvam v pozni jeseni in začetku zime, ki jih spremljajo nizke temperature se vodni organizmi prilagajajo postopno, medtem ko so te temperaturne razlike v atmosferi mnogo hitrejše (Matoničkin in Pavletič, 1972).

Večina živali in rastlin tekočih voda je poikilotermnih, kjer je njihova temperatura odvisna od temperature okolja. Od temperature okolja so odvisni fiziološki procesi, ki temeljijo na biokemijskih reakcijah, prav tako pa temperatura vpliva tudi na stopnjo rasti, produktivnost in dolžino življenjskega cikla (Giller in Malmqvist, 1998).

2.3.2 Kisik

Prosti kisik v vodi je bistven za vse aerobne organizme. Koncentracija kisika je odvisna od fizikalnih, kemijskih in biotskih procesov v vodi (Urbanič in Toman, 2003). Kisik prihaja v vodo iz ozračja z difuzijo ali turbulenco (Rejic in Smodej, 1988) v vodi pa se tvori pri fotosintezi primarnih producentov (Urbanič in Toman, 2003). Vsebnost zraka je razlika med porabo in raztapljanjem. V kolikor je izid negativen se pojavijo anaerobni pogoji. Na hitrost raztapljanja kisika iz ozračja vplivajo: temperatura vode, turbulence, razlike delnih tlakov kisika v ozračju in v vodi ter kakovost vodne površine. Nizka temperatura vode, močna turbulenca in velika razlika delnih tlakov zagotavljajo hitro raztapljanje kisika, sicer je raztapljanje počasnejše. Mirna gladina raztapljanje zavira, maščobe na vodni gladini pa ga preprečujejo (Rejic in Smodej, 1988). Čeprav imajo fizikalni in kemijski procesi ključno vlogo pri raztapljanju kisika v vodi, na njegovo končno koncentracijo in razporeditev v vodnem stolpcu bistveno vplivata primarna produkcija zelenih rastlin in razgradnji procesi saprofitskih bakterij. S fotosintetsko aktivnostjo primarnih producentov se koncentracija stopljenega kisika povečuje, z respiratorno aktivnostjo organizmov pa se zmanjšuje (Urbanič in Toman, 2003). Zato se v tekočih vodah pojavljajo dnevno-nočna nihanja v koncentraciji raztopljenega kisika, saj prihaja do nihanja med porabo in nadomeščanjem. Ključno vlogo pri večjih nihanjih vsebnosti kisika podnevi in ponoči imajo vodni prebivalci (Rejic in Smodej, 1988). V poletnih mesecih lahko bujna razrast makrofitske vegetacije prav tako vpliva na raven raztopljenega kisika, saj lahko podnevi povzroči hipersaturacijo kisika, ponoči pa se zaradi respiracije poveča koncentracija ogljikovega dioksida (Giller in Malmqvist, 1998). Na vsebnost kisika vplivata tudi slabo prezračena podtalna voda in organsko obremenjevanje voda. Pri poznavanju kisikovih razmer je pomembno tudi poznavanje razmer na stiku voda – površina usedlin. V tem ozkem območju, ki ga predstavlja tanek sloj vode – mikrooksidacijska plast, gre za pot kisika do usedlin in snovi, ki pronicajo iz usedlin v vodo in porabljajo kisik (npr. ortofosfati in težke kovine) (Rejic in Smodej, 1988).

V splošnem velja, da se koncentracija raztopljenega kisika po toku navzdol zmanjšuje (Giller in Malmqvist, 1998), kar vpliva na različne tipe biocenoz vzdolž reke od izvira proti izlivu (Matoničkin in Pavletič, 1972). Prav tako se vrste razlikujejo po respiratornih

zmožnostih in potrebah po kisiku, kar dokazujejo različni odzivi organizmov na organsko obremenjevanje, ki ima za posledico zmanjšanje koncentracije raztopljenega kisika. Te razlike lahko vodijo v različno razporejanje vrst v prostoru. Mnogi organizmi kažejo večjo preferenco do hladnih vod, kar je lahko posledica vpliva temperature na topnost kisika (Giller in Malmqvist, 1998) saj velja, da z višanje temperature topnost kisika pada (Urbanič in Toman, 2003).

2.3.3 Ogljikov dioksid in pH

Viri ogljikovega dioksida v tekočih vodah so: ozračje, kjer prehaja ogljikov dioksid v vodo neposredno na stiku vodne gladine z ozračjem ter posredno s padavinami (Rejic in Smodej, 1988), respiratorna aktivnost vodnih organizmov ter tok voda po površinskih plasteh pedosfere, kjer potekajo intenzivni biokemijski procesi, ki imajo za produkte velike količine ogljikovega dioksida (Matoničkin in Pavletič, 1972). Prehajanje CO_2 v vodo je odvisno od razlik v parcialnih tlakih, turbulence in kakovosti površine vode. Turbulence prehajanja pospešujejo, maščoba na vodni površini pa ga zavira (Rejic in Smodej, 1988). Pri stiku z vodo pride do tvorbe ogljikove kisline, ki povzroča topljenje apnenca. Večji del ogljikove kisline se veže na kalcijev karbonat in tvori kalcijev bikarbonat, ki je topen v vodi. Ogljikova kislina, ki je vezana na karbonat, se označuje kot vezana ogljikova kislina. Preostali del, ki pa se ne veže, pa navadno ostane v obliki prostega CO_2 , ki je v kemijskem ravnotežju s kalcijevim bikarbonatom. Kemijski značaj tekočih voda oblikuje razmerje med CO_2 , H_2CO_3 , HCO_3^- in CO_3^{2-} , ki pa je odvisno od pH. Pri pH pod 4 je v vodi raztopljen le CO_2 , pri pH med 7 in 11 prevladuje bikarbonatni ion, pri pH nad 11 pa karbonatni ion. Kadar se vsebnost CO_2 zmanjša pod ravnotežno, razpade v vodi ravno toliko kalcijevega bikarbonata, da sproščeni CO_2 zagotovi ponovno ravnotežje. Pri tem pa kot stranski produkt izpade ustrezna količina apnenca. Povečanje vsebnosti CO_2 nad ravnotežje, pa povzroči, da se raztopi toliko apnenca, da dosežemo ravnotežje. Pri tem nastane kalcijev bikarbonat, le-ta je ključen za vzdrževanje karbonatnega ravnotežja, ki ima pomembno vlogo pri dušenju nihanja pH.

2.3.4 Dušik

Dušik se v vodi nahaja v številnih oblikah: raztopljene molekule dušika (N_2), organske snovi, amoniak (NH_4^+), nitrit (NO_2) in nitrat (NO_3). Od teh je nitrat navadno najbolj pomemben. Nitratna oblika dušika pride v vodo iz zraka (z dežjem, snegom, meglo ali usedanjem) z razpadanjem organskega materiala (v prsti in usedlini) ali zaradi dotoka s kmetijskih površin (uporaba umetnih gnojil, ki jih dež spere s prsti) (Vovk Korže in Bricelj, 2004). Nitratni ion je pomembna hranilna snov za fotoavtotrofne organizme, saj ga le-ti asimilirajo in vgrajujejo v lastne celične proteine, zato se njegova koncentracija (vsebnost) spreminja tako sezonsko kot dnevno. V neonesnaženih vodah so sezonske spremembe nitratov posledica primarne produkcije in odmiranja organizmov, vendar vrednosti ne presegajo 1mg/l. Koncentracije nad to mejo pa so lahko posledica spiranja gnojnih kmetijskih površin oziroma prisotnost komunalnih in industrijskih komunalnih vod. Povišane koncentracije nitratov povzročajo stimulirano rast rastlin, ki vodi v proces evtrofikacije, prav tako lahko vplivajo na lastnosti podtalnice in s tem na kakovost same pitne vode (Urbanič in Toman, 2003).

2.3.5 Fosfor

Fosfor je esencialen nutrient za žive organizme in omejujoč dejavnik rasti rastlin, od katerega je odvisna primarna produkcija (Urbanič in Toman, 2003). Ker je fosfor zelo reaktiven element, se v naravi zelo redko nahaja v elementarni obliki, najpogosteje se veže z organskimi in anorganskimi snovmi. V vodi je fosfat prisoten kot topna sestavina minerala apatit, ki vsebuje fosforit in ga zato merimo kot orto-fosfat (Vovk Korže in Bricelj, 2004). Ortofosfatni ion (PO_4^{3-}) lahko vodni organizmi uporabljajo neposredno; ker je njegova topnost majhna, se nahaja v koncentracijah pod 1mg/l (Rejic in Smodej, 1988). Naravni vir fosforja so preperele kamnine in razgrajene organske snovi (Urbanič in Toman, 2003). Njegove koncentracije v tekočih vodah so zaradi pomanjkanja v biosferi in sposobnosti rastlin, da ga aktivno privzamejo, navadno nizke. Povišane koncentracije pa so posledica spiranja kmetijskih površin ter prisotnosti odpadnih voda, ki vsebujejo čistila, pralne praške in detergente. Onesnaženje vodotokov s fosfati povzroči povečano razmnoževanje in rast rastlin. Te ovirajo vodni tok in ga zaustavijo, saj mrtvega

razpadajočega materiala voda ne odnese naprej. S tem razkrajajočim materialom se hranijo bakterije, ki s tem porabljajo kisik in tako ogrožajo ribe in vodne nevretenčarje (Vovk Korže in Bricelj, 2004).

2.3.6 Podlaga

Večina rečnih nevretenčarjev je bentoških, kjer so lastnosti substrata najbolj pomembne, saj zagotavljajo prostor za številne aktivnosti, kot so: počitek, gibanje, prehranjevanje, razmnoževanje, sidranje, zatočišče pred predatorji in tokom. Substrat sestavljajo anorganske in organske komponente. Anorganski material (od najmanjšega proti največjemu – mulj, pesek, majhni prodniki, srednji prodniki, večji kamni in skale) je navadno erodiran iz zgornjega toka reke in se na poti proti spodnjemu toku zaradi delovanja reke oblikovno spreminja. Organski material pa ima večjo spremenljivost, saj lahko vsebuje vse od organskih delcev in listja do podrtega drevja, ki prihaja izključno le iz okolice in zgornjega toka reke, kakor tudi vodne rastline. Anorganski in organski substrat sta oba lahko klasificirana glede na velikost delcev, le da pri organskem v splošnem velja, da so manjši delci hrana, večji pa substrat.

Pomembna lastnost substrata je njegova variabilnost. Na variabilnost substrata vpliva hitrost vodnega toka, ki povzroča premikanje različno velikih delcev. Velikost delcev se po toku navzdol zmanjšuje. Tako na izviru zaradi stalnega turbulentnega toka prevladujejo skale in večji kamni kot rezultat erodiranja manjših delcev. V spodnjih rečnih tokovih pa je zaradi zmanjšanja turbulence in sposobnosti erozije, manjšim delcem omogočeno usedanje in tako tvorba finejših in bolj uniformnih substratov. S tvorbo različnih tipov substratov je omogočena naselitev različnih skupin nevretenčarjev, med substrati pa se spreminja njihova gostota, diverziteteta in biomasa. V splošnem velja, da se gostota in abudanca povečujeta s stabilnostjo substrata in prisotnostjo organskega detrita. Stabilnost substrata se nanaša na njegovo odpornost na premikanje delcev in je proporcionalna velikosti delcev. Tako so peščeni substrati zaradi nestabilnosti najrevnejši. V substratih, kjer pa prihaja do odlaganja mulja, ki vpliva na gibanje intersticijske vode in zapiranje intersticijskih prostorov, prihaja zato do zmanjšanega dostopa za kisik in hrano. To nakazuje na dejstvo, da je hetereogenost prav tako pomembna pri kontroliranju abodance

in gostote. S povečevanjem povprečne velikosti delcev, ki so prevladujoč medij, se povečuje fizična kompleksnost podlage. Mešani substrati zagotavljajo več poselitvenih površin in vzorcev mikrotokov. Bolj kot je habitat raznolik, več je na razpolago življenjskega prostora tudi za manjše organizme; to pa omogoča naraščanje diverzitete in abudance (Giller in Malmqvist, 1998).

2.3.7 Vodni nevretenčarji

Združba vodnih nevretenčarjev je združba, ki ima sposobnosti preživetja in izkoriščanja specifičnih biotičnih in abiotičnih karakteristik rečnega habitata (Giller in Malmqvist, 1998). Glavnina življenjskih združb v rekah je na usedlinah in v njih, kjer obliko in sestavo določata hitrost vodnega toka in zrnatost usedlin (Rejic in Smodej, 1988). Znano je, da hitrost vodnega toka znotraj substrata izrazito pada in da so organizmi, ki živijo pod skalami, manj izpostavljeni kot tisti na površini. Največja vrstna pestrost je na globini med 5 in 20 cm. Površinske plasti substrata nudijo posebne resurse lotičnim nevretenčarjem, kot so: perifiton za rastlinojede, ki strgajo, grobe detritne delce za drobilce in suspendirane delce za filtratorje.

Za življenje v okolju, ki ga oblikuje vodni tok kot glavni dejavnik, so potrebne prilagoditve na več nivojih – morfološkem, vedenjskem reprodukcijskem in komunikacijskem. Brzice, kjer je hitrost vodnega toka velika, poseljujejo živali s hidrodinamično obliko telesa, ki ga sila deroče vode potiska k tlom. Rob telesa s svojo obliko preprečuje vdor vode pod telo, saj bi s tem žival dvignilo in odneslo po toku navzdol. Da se to ne zgodi, so kot prilagoditev prisotni tudi kaveljčki, tulci, prilepljanje in prisesavanje. Telesne prilagoditve niso znane samo za deroči tok, ampak tudi za zrnatost usedlin. Tukaj je odločilnega pomena velikost vmesnih prostorov med zrci usedlin, saj le te določajo združbo nevretenčarjev (Rejic in Smodej, 1988). Spreminjajoče razmere vzdolž rečnega toka vplivajo na spremenjeno obliko, velikost in vedenje organizmov (Giller in Malmqvist, 1998).

Ključnega pomena pri naselitvi organizmov sta način življenja in mikrohabitat. Na kakovost habitata vpliva tudi človek z onesnaževanjem, na kar odgovorijo tudi vodni

nevretenčarji. Nekatere vrste so na spremembe znotraj svojega okolja občutljivejše kot druge. Najznačilnejši odziv je smrt organizmov ali beg v sprejemljivejše predele reke. Poznamo organizme z ozko in specifično toleranco na okoljske spremembe in jih imenujemo indikatorski organizmi (npr. vrbnice), in takšne, ki lahko živijo tudi v zelo obremenjenih vodotokih (npr. oligoheti) (Jačimović, 2005). Poznavanje prisotnosti in odsotnosti indikatorskih skupin ter diverzitete taksonov nam pomagajo pri določanju kakovosti posameznega vodotoka (Urbanič in Toman, 2003).

3 MATERIAL IN METODE

Raziskave so potekale na območju reke Savinje v času od 24. avgusta 2004 do 15. septembra 2005 in na območju reke Voglajne (z že skupnim tokom z reko Hudinjo) v času od 25. novembra 2004 do 15. septembra 2005 (vzorčno mesto P4 smo dodali z drugim vzorčenjem in ga vzorčili od takrat naprej; dodan je bil zaradi boljše reprezentativnosti in interpretacije rezultatov) na 4 predhodno izbranih vzorčnih mestih, ki so označena na zemljevidu v prilogi C. Vzorčenja so potekala v dopoldanskih urah, ki so se včasih zavlekle v zgodnje popoldne, nadaljnje analize pa v laboratoriju istega dne po prihodu s terena. Izjemoma smo vzorce vode shranili v zamrzovalni omari in jih analizirali kasneje.

3.1 OPIS VZORČNIH MEST

3.1.1 Vzorčno mesto Savinja – Kasaze (P1)

Prvo vzorčno mesto se nahaja na zahodnem robu mesta Celje med naseljem Medlog na levem bregu in naseljem Lisce na desnem bregu reke Savinje. Na desnem bregu, kjer se nahaja naselje Lisce, je na tem delu urejena pešpot in asfaltirana cesta, nad katero se dviga pobočje poraslo z gozdom, nižje dol ob naselju pa je breg utrjen s kamnometom. Levi breg pa je že na tem delu utrjen z nasipom z urejeno pešpotjo, kateri reki Savinji ob visokih vodah preprečuje razlike. Struga reke Savinje ima v tem delu bolj ali manj enako hitrost toka. Glavni tok je ob levem bregu, kjer je večja globina in hitrost, desni breg pa predstavlja prodišče. Odsek je hidrološko enoten, brez izrazitih brzic in tolmunov.

Odvzem vzorcev je potekal od desnega brega proti levemu tako, da se je zajel celoten profil struge. Ime vzorčnega mesta ni najbolj primerno glede na lokacijo, vendar smo ga nadeli kot opomnik, da to mesto odraža tudi rezultate iztoka iz čistilne naprave Kasaze cca. 8 km višje po strugi od vzorčnega mesta.



Slika 2 : Vzorčno mesto P1

3.1.2 Vzorčno mesto Savinja – Polule (P2)

Drugo vzorčno mesto se nahaja tam, kjer Savinja že zapusti mesto Celje in zavije proti jugu, kjer se odpre na levi strani pogled na Grmado in Vipoto s spodaj ležečim naseljem Zagrad, ter Košnico z naseljem Polule na desni strani. Nekoliko višje od drugega vzorčnega mesta v predelu med Bregom in Skalno kletjo se v Savinjo izliva reka Voglajna, ki je skupaj z reko Hudinjo že dolgo časa glavni odvodnik komunalnih in industrijskih odpadkov mesta Celje in bližnjih naselij. Desni in levi breg našega izbranega mesta sta utrjena s kamnometom, zarasla s posameznimi vrbami in visoko pionirsko vegetacijo. Desno od struge se nahaja glavna cesta Celje – Laško ob kateri je na tem predelu naselje Polule. Levo je prav tako cesta, ki pa kmalu zavije na levo proti naselju Zagrad, naprej pa vodi cesta na Celjsko kočo. Odsek je hidrološko enoten brez izrazitih brzic in tolmunov. Ob levem bregu je tok počasen in mestoma zastaja. Glavni tok je ob desnem bregu s hitrostjo med 0,5 – 1 m/s. Ekološko stanje odseka je slabo, čuti se zaznaven vpliv odpadnih vod mesta Celje in okoliških naselij. Po toku navzgor so opazni različni komunalni odpadki (plastenke, kartoni, stiropor, itd.). Vzorčenje je potekalo na levem bregu, kjer je manjše kamnito prodišče zaraščeno z manjšimi vrbami in šopi trave ter pokrito z muljastimi usedlinami.



Slika 3 : Vzorčno mesto P2

3.1.3 Vzorčno mesto Savinja – Tremerje (P3)

Nedaleč stran od Košnice, kjer se reka Savinja razširi, stoji na terasi obcestno naselje Tremerje. Tremerje je naselje ob jugozahodnem delu Celja, kjer so na desnem bregu izgradili osrednjo Čistilno napravo za celotno mesto Celje. Naše tretje vzorčno mesto se nahaja cca. 1 km za iztokom iz čistilne naprave.

Odsek ima hidrološko enovit tok, z glavnim tokom ob levem bregu. Na levem bregu se nahajajo kultivirani travniki in njive s koruzo. Desni breg pa je poraščen z vrbo in grmičevjem, visokimi zelmi in travo. V strugi se nahajajo posamezni peščeni otoki. Mesto vzorčenja je bil desni breg, kjer je substrat peščen s posameznimi kamni.



Slika 4 : Vzorčno mesto P3

3.1.4 Vzorčno mesto Voglajna (P4)

Skozi mesto Celje teče reka Voglajna po s kamnometom regulirani strugi, ki jih prerašča trava. Četrto vzorčno mesto se nahaja na predelu, kjer imata Voglajna in Hudinja že skupen tok. Vzorčno mesto je v neposredni bližini mesta Celje, ki leži na desnem bregu, na levem pa je prometna Teharska cesta. Odsek je hidrološko enoten, z glavnim tokom na sredini. Na levem bregu so muljaste usedline poraščene s šopi trav.

Vzorčenje je potekalo od levega proti desnemu bregu, tako da se je zajel celoten profil struge. Ekološko stanje odseka je slabo, na kar nakazujejo številni komunalni odpadki in spremljajoč neprijeten vonj.



Slika 5 : Vzorčno mesto P4

3.2 MERITVE FIZIKALNIH IN KEMIJSKIH DEJAVNIKOV

3.2.1 Temperatura in raztopljeni plini

Vsake tri mesece smo na terenu na vseh štirih vzorčnih mestih (P1, P2, P3 in P4) opravili fizikalne in kemijske meritve vode ter vzeli vzorce vode, ki smo jih po prihodu v laboratorij nadalje analizirali. Tako smo na terenu z oksimetrom izmerili temperaturo vode (°C), vsebnost kisika (mg/l) in nasičenost vode s kisikom (%).

3.2.2 pH in prevodnost

S pH metrom smo izmerili vsebnost pH, s konduktometrom pa smo prav tako vsake tri mesece izmerili elektroprevodnost vode.

3.2.3 Hranilne snovi

V laboratoriju smo v vseh štirih vzorcih vode določili vsebnost nitratov (NO_3) po metodi z natrijevim salicilatom ($\text{C}_4\text{H}_5\text{NaO}_3$), kjer omenjeni ioni v mediju brezvodne žveplene kisline z natrijevim salicilatom tvorijo rumeno nitrosalicilno kislino, ki jo določimo spektrofotometrično pri valovni dolžini 430 nm. Da dobimo vsebnost nitratov, vrednost ekstinkcije množimo s faktorjem 9,63.

Vsebnost ortofosfatov (PO_4^{3-}) smo določali po metodi s kositrovim (II) kloridom, kjer se kompleks fosfomolibdata po redukciji s kositrovim (II) kloridom obarva modro. To spektrofotometrično določimo pri valovni dolžini 690 nm. Vrednost ekstinkcije pa se za izračun vsebnosti ortofosfatov v vzorcu pomnoži s faktorjem 1,38.

3.2.4 Skupne suspendirane snovi

V laboratoriju smo prav tako določili vsebnost skupnih suspendiranih snovi (TSS). Izraz skupne suspendirane snovi, se nanaša na suho maso snovi, ki jih s filtracijo skozi stekleni filter odstranimo iz znanega volumna vodnega vzorca (Urbanič in Toman, 2003). Metoda je izredno občutljiva, predvsem zaradi nizkih mas suspendiranih snovi, zato je pri izvajanju te analize prihajalo do pogostih napak, kljub temu pa dobljeni rezultati prikazujejo stanje tega dejavnika v analiziranem sistemu reke Savinje in reke Voglajne.

3.3 BIOKEMIJSKE ANALIZE

3.3.1 Klorofil (določanje količine klorofila)

Pri vsakem vzorčenju smo na vzorčnih mestih odvzeli tudi vzorce za določanje količine klorofila. Vzorec so predstavljali trije iz reke naključno nabrani kamni, s katerih smo z zobno ščetko ščetkali površino veliko $10 \times 5 \text{ cm}^2$. Ščerkano »maso« smo sprali z vodo vzorčnega mesta in le-to je predstavljalo vzorec za določanje količine klorofila. V laboratoriju smo premešali vzorce z obračanjem vzorčevalne posode in odlili 1 liter vzorca v merilni valj. Od tega enega litra smo odvzeli dvakrat po 100 ml vzorca, ki smo ga prefiltrirali skozi steklen filter s pomočjo nuče. Steklene filtre smo shranjevali v epruvete z metanolom. Epruvete s filtri in metanolom smo segreli v vodni kopeli pri temperaturi blizu vrelišča. Pri tem je metanol povzročil popokanje celičnih membran in sprostitvev klorofila a. Metanol je topilo, ki se uporablja pri ekstrakcijski metodi določanja vsebnosti klorofila v primarnih producentih. Absorpcijo klorofila smo izmerili s sprektrofotometrom pri valovni dolžini 665 nm in 750 nm. Količino klorofila pa smo izračunali po enačbi (1) (Urbanič in Toman, 2003):

$$Kla \text{ (mg/l)} = (13,9 \times (A_{665} - A_{750}) \times V_m) / (V_v \times 1) \quad \dots \quad (1)$$

3.4 VZORČENJE ZDRUŽBE MAKROINVERTEBRATOV IN OBDELAVA VZORCEV

Vzorci velikih vodnih nevretenčarjev smo pobirali petkrat na vzorčnih mestih reke Savinje (P1, P2 in P3) in trikrat na vzorčnem mestu reke Voglajne (P4) v razmiku treh mesecev. Datumi vzorčenja so: 24.08.2004, 25.11.2004, 13.02.2005, 26.05.2005, 15.09.2005.

Združbo velikih vodnih nevretenčarjev smo vzorčili s standardno ročno mrežo pritrjeno na leseno držalo, ki ima velikost okvirja 25×25 cm in velikost odprtin $0,5 \times 0,5$ mm, po metodi imenovani »kick sampling«. To je metoda naključnega vzorčenja, pri kateri smo postavili omenjeno mrežo pravokotno na podlago tako, da je bila njena odprtina obrnjena proti toku. Nato smo se postavili pred njo in s peto podrsali po tleh proti toku in počakali, da je v mrežo odnesel dvignjeno usedlino in živali. Nato smo z mrežo naredili še nekaj osmic in postopek ponovili na različnih delih struge ter tako poskusili zajeti večino mikrohabitatov vzorčnega mesta. Nabrane vzorce smo iz mreže dali v banjico in od tu v plastične vrečke, kamor smo dolili 4% formalin za fiksacijo vzorcev. K vzorcem iz mreže smo dodali tudi živali, nabrane izpod petih naključno nabranih kamnov (nabrani so bili višje gor po toku, kakor je potekalo vzorčenje z metodo »kick sampling« (mrežo)).

V laboratoriju je sledilo temeljito spiranje vzorcev z vodo. Pri spiranju smo si pomagali s siti, ki so preprečila izgubo vzorcev. Sledilo je prebiranje in sortiranje ulovljene združbe makroinvertebratov s pomočjo pincete in lupe ter shranjevanje v 70% metanol. Ko so bili vsi vzorci (19) prebrani, pa je sledilo taksonomsko določanje skupin s pomočjo različnih določevalnih ključev. Pri celotnem določanju mi je bila v veliko pomoč dr. Branka Tavzes, pri določanju skupin mladoletnic in pijavk pa mi je na pomoč priskočil docent dr. Gorazd Urbanič.

3.5 BIOLOŠKE IN STATISTIČNE ANALIZE

Kakovost voda ovrednotimo s fizikalnimi, kemijskimi in biotskimi značilnostmi vodnega okolja. Biotske značilnosti zajemajo predvsem uporabo vodnih nevretenčarjev (Urbanič in Toman, 2003). Tako biološka ocena kakovosti voda navadno temelji na spreminjanju sestave združbe, gostote in divezite makroinvertebratov ter prisotnosti in odsotnosti značilnih indikatorskih vrst, ki jih povzročajo spremembe fizikalnih, kemijskih in biotskih značilnosti habitata (različna onesnaženja) (Toman in Steinman, 1995).

Za interpretacijo bioloških analiz uporabljamo različne indekse, ki temeljijo ali na strukturi združbe ali na indikatorskih organizmih (Urbanič in Toman, 2003).

3.5.1 Saprobni indeks

Večina danes uporabljenih saprobnih indeksov je bilo izpeljanih iz saprobnega sistema, ki sta ga vpeljala Kolkowitz in Manson (1908, 1909).

Po saprobnem sistemu so vodotoki kategorizirani glede na njihovo saprobnost. Pomembna je količina prisotnih organskih snovi ter koncentracija kisika, potrebnega za razgradnjo teh organskih snovi. Za kategorizacijo reke Savinje in reke Voglajne smo uporabili saprobni indeks, ki obsega štiri osnovne stopnje obremenjenosti s tremi vmesnimi stopnjami (Tabela 1).

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

Tabela 1 : Vrednosti saprobnega indeksa in pripadajoči kakovostni razredi (po Sladečku, 1973)

Za vsako vrsto je določena povprečna saprobna vrednost s . Gre za oceno ekološkega pojavljanja neke vrste, in sicer je deset točk empirično porazdeljenih preko štirih saprobnih kategorij. Vrste, ki se pojavljajo v vodotokih s širokim nihanjem stopnje onesnaženosti, imajo teh deset točk porazdeljenih preko več-ih kategorij onesnaženja, med tem ko imajo vrste, ki se pojavljajo v vodotokih z ozkim nihanjem stopnje onesnaženosti, vseh deset točk v eni kakovostni kategoriji. Povprečno saprobno vrednost izračunamo tako, da pomnožimo število točk v vsaki kategoriji onesnaženja s številom kategorije, nato pa vsoto zmnožkov delimo z deset. Za vsako vrsto je določena tudi indikatorska vrednost G , v rangi od 1 do 5, da bi tako dali večjo težo vrstam z ožjim ekološkim pojavljanjem (Toman in Steinman, 1995).

Saprobne vrednosti s in indikatorske vrednosti G smo povzeli po Weglu, 1983.

Saprobni indeks izračunamo po naslednji enačbi (2):

$$SI = \frac{\sum (s \cdot G_i)}{\sum G_i} \quad \dots \quad (2)$$

s – saprobna vrednost

G – indikatorska vrednost taksona

Ker je bilo vzorčenje kakovostno, v izračunu nismo upoštevali abudance taksonov. Vrednosti saprobnih indeksov za posamezna vzorčna mesta ob različnih datumih vzorčenja (avgust, november 2004, februar, maj in september 2005) so predstavljene grafično.

3.5.2 Shannon – Wiener diverzitetni indeks

Shannon – Wiener diverzitetni indeks spada med indekse, ki trdijo, da se diverziteta lahko meri kot informacija v sporočilu. Predvideva, da so v vzorcu zajete vse vrste in da so vzorčenja naključna, zato se računa po enačbi (3):

$$H' = - \sum_{i=1}^n p_i \cdot \ln p_i \quad \dots \quad (3)$$

H' – diverziteta

p_i – delež osebkov najdenih v i -ti vrsti

$\ln$ – naravni logaritem

Višja je vrednost H' , večja je diverziteta. Pozitivna stran tega diverzitetnega indeksa je, da ni odvisen od površine, s katere so bili vzorci pobrani, je brez dimenzijski in v njem je upoštevana relativna abudanca vsakega taksona. Slaba stran pa je v tem, da je odvisen od sezone in taksonomskega določevanja organizmov. Tudi osnovna domneva, da diverziteta upada z naraščajočo onesnaženostjo, ni nujno popolnoma resnična. To se še posebej izkaže v primeru neonesnaženega izvirskega vodotoka, ki ima pogosto zelo različne in nizke H' vrednosti. Vzroki za nižjo diverzitetno so drugi ekološki dejavniki (npr. nizka temperatura, omejene količine hrane, ...). Prav zaradi tega diverzitetne indekse najpogosteje uporabljamo le kot dodatno mero za opis združbe.

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

Tabela 2 : Kakovost vodnega okolja v odvisnosti od vrednosti Shannon – Wienerjevega diverzitetnega indeksa (po Wilhm & Dorris, 1966, v: Washington 1984)

Vrednosti diverzitetnega indeksa za posamezna vzorčna mesta ob različnih datumih so predstavljene grafično.

3.5.3 Klasterska analiza združbe makroinvertebratov

Klasterska analiza je analiza podobnosti posameznih vzorčnih mest ob različnih datumih vzorčenja; uporabili smo Bray-Curtisov indeks podobnosti. Prikaže nam, kateri vzorci so si med seboj najbolj podobni glede na število osebkov posamezne družine prisotne v vzorcu. Spodaj je enačba Bray-Curtisovega indeksa podobnosti

$$S_{BC} = \frac{2 \cdot W}{(A + B)} \quad \dots \quad (4)$$

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

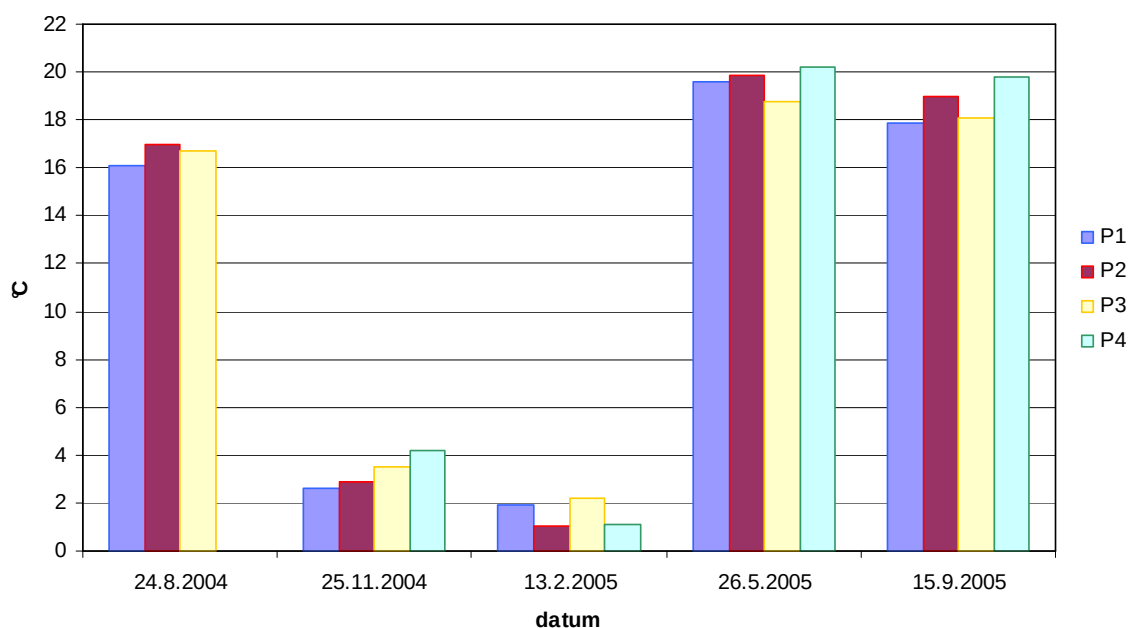
Vrednost indeksa bo blizu 1.0 na vzorčnih mestih, ki bodo imela med seboj največ podobnih taksonov, vrednosti blizu 0.0, pa bodo imela mesta z najmanjšo stopnjo podobnosti. Rezultati so prikazani grafično z dendogramom.

4 REZULTATI

4.1 FIZIKALNI IN KEMIJSKI DEJAVNIKI

4.1.1 Temperatura vode

Rezultati meritev temperature vode so prikazani grafično na sliki 6. Največji vpliv na nihanje temperature vode reke Savinje in Voglajne so imele sezonske klimatske spremembe. Visoke temperature vode v mesecu avgustu leta 2004 in mesecu maju in septembru leta 2005 so odraz višjih temperatur in deleža sončnih dni od dolgoletnega povprečja. Tako je bila najvišja izmerjena temperatura na reki Savinji 19,9°C in na reki Voglajni 20,2°C v mesecu maju leta 2005. Zelo nizke temperature pa so bile na vseh vzorčnih mestih v mesecu februarju leta 2005, ko je bil ta mesec znatno hladnejši od dolgoletnega povprečja. Najnižja izmerjena temperatura 1°C je bila na vzorčnem mestu P2. Nekoliko višje temperature v novembru leta 2004 pa so posledica toplejšega meseca od dolgoletnega povprečja in manjšega deleža padavin, kot je ponavadi.



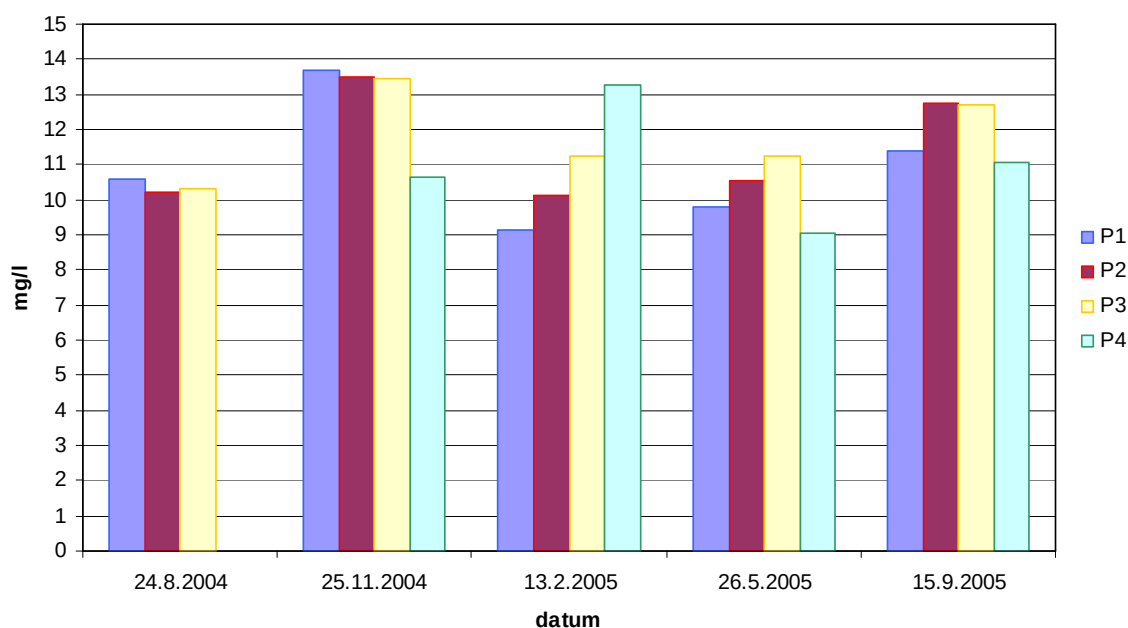
Slika 6 : Temperatura vode (°C) na vzorčnih mestih P1, P2, P3 in P4 od avgusta 2004 do septembra 2005

4.1.2 Kisikove razmere

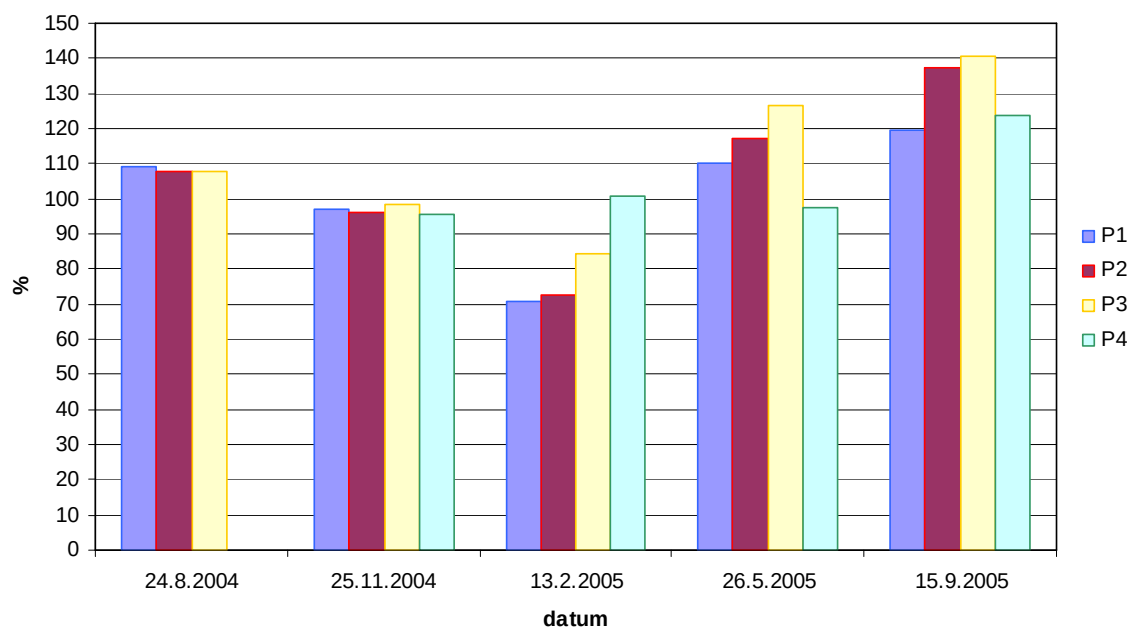
Rezultati meritev vsebnosti v vodi raztopljenega kisika (mg/l) ter nasičenost vode s kisikom (%) so prikazani grafično na slikah 7 in 8.

Vsebnosti raztopljenega kisika izmerjene v reki Savinji se med vzorčnimi mesti znotraj posameznega meseca le malo razlikujejo, večje pa so razlike v primerjavi s četrtem vzorčnim mestom (P4), ki je na reki Voglajni. Razlog je v vlogi reke Voglajne kot odvodnici komunalnih in industrijskih odpadkov, ki vplivajo na nižjo vsebnost kisika v reki. Višje vrednosti vsebnosti kisika v mesecu novembru 2004 v primerjavi z ostalimi meseci so posledica 2x, 3x večje količine padavin od povprečja v Zgornji Savinjski dolini, kjer Savinja izvira, kot v primerjavi z lokacijo vzorčnih mest. Najvišja izmerjena koncentracija kisika 13,7 mg/l je bila novembra leta 2004 na vzorčnem mestu P1, najnižja pa na vzorčnem mestu P4 (na reki Voglajni 9,1 mg/l). Vidimo pa, da se nihanja dolvodno le malo povečujejo in so tudi v času rastle sezone minimalna.

Nasičenost vode s kisikom kar v štirih mesecih (avgust 2004, november 2004, maj 2005 in september 2005) doseže oz. preseže 100%, na kar so vplivale ugodne klimatske razmere za razrast in obstoj makrofitske vegetacije. Nizke vrednosti v mesecu februarju pa so posledica izredno nizkih temperatur ter večje respiracije od primarne produkcije.



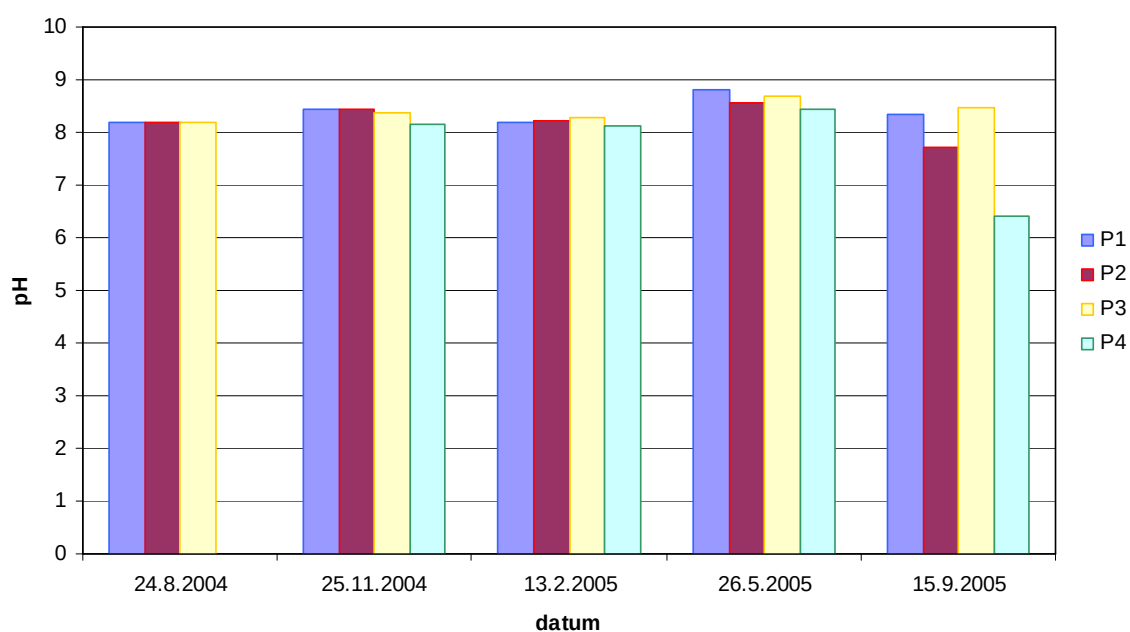
Slika 7 : Vsebnost kisika (mg/l) na vzorčnih mestih P1, P2, P3 in P4 od avgusta 2004 do septembra 2005



Slika 8 : Nasičenosti vode s kisikom (%) na vzorčnih mestih P1, P2, P3 in P4 od avgusta 2004 do septembra 2005

4.1.3 pH

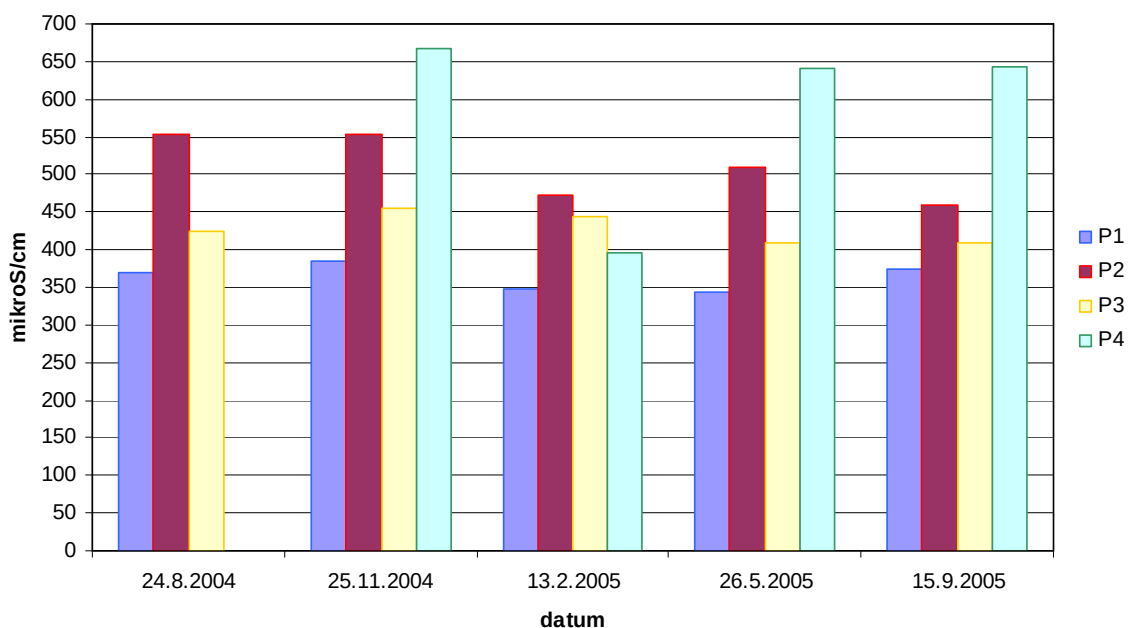
Rezultati meritev vrednosti pH so prikazani na sliki 9. Voda je bila večinoma bazična z vrednostmi okoli 8. Najvišja vrednost je bila 8,8 izmerjena na vzorčnem mestu P1 maja 2005, najnižja pa je bila septembra 2005, 6,4 v reki Voglajni in 7,7 v reki Savinji na vzorčnem mestu P2.



Slika 9 : Vrednosti pH na vzorčnih mestih P1, P2, P3 in P4 od avgusta 2004 do septembra 2005

4.1.4 Elektroprevodnost

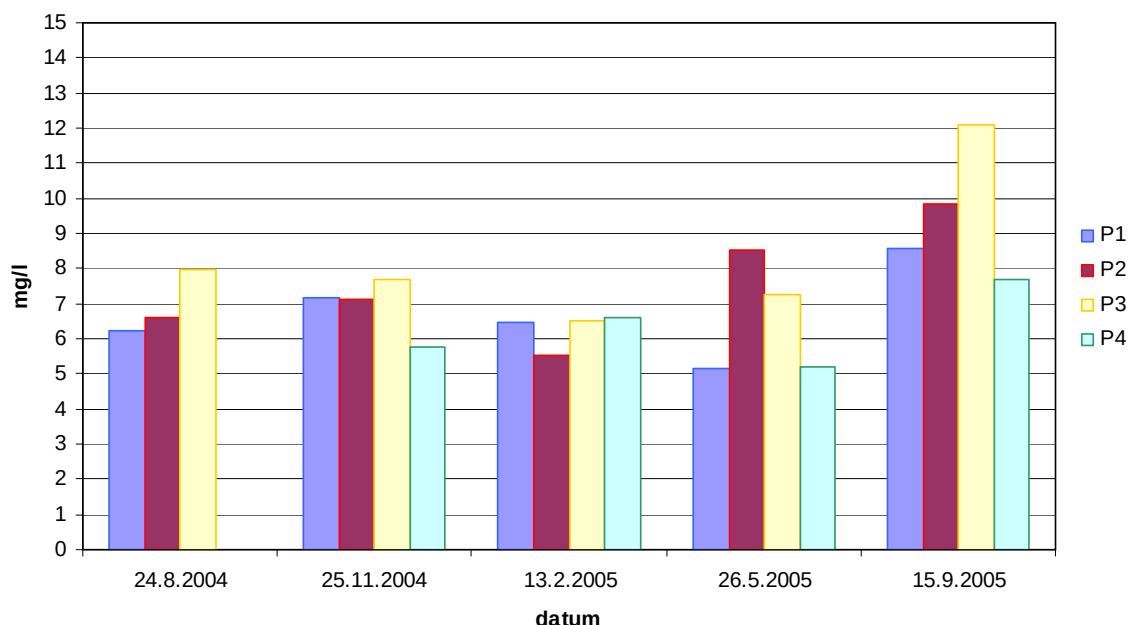
Rezultati meritev elektroprevodnosti so prikazani na sliki 10. Najvišje vrednosti elektroprevodnosti so bile pričakovano na vzorčnem mestu P4 na reki Voglajni in na vzorčnem mestu P2 na reki Savinji. Na obeh omenjenih vzorčnih mestih je bilo to pričakovano zaradi že omenjenega dejstva, da je reka Voglajna eden od glavnih odvodnikov komunalnih in industrijskih odpadkov mesta Celje in bližnjih naselij, ter na reki Savinji, ker se na tem mestu reka Voglajna že izlije v reko Savinjo. Na teh dveh vzorčnih mestih (P2 in P4) je bila v mesecu februarju izmerjena znatno nižja vrednost elektroprevodnosti, na kar so vplivale večje količine padavin kot je običajno za ta mesec. Na drugih dveh vzorčnih mestih (P1 in P3) pa so vrednosti najvišje v jesenskem času, ko prihaja do intenzivne dekompozicije odpadlega listja.



Slika 10 : Vrednosti elektroprevodnosti ($\mu\text{S}/\text{cm}$) na vzorčnih mestih P1, P2, P3 in P4 od avgusta 2004 do septembra 2005

4.1.5 Vsebnost nitratov v vodi (NO_3^-)

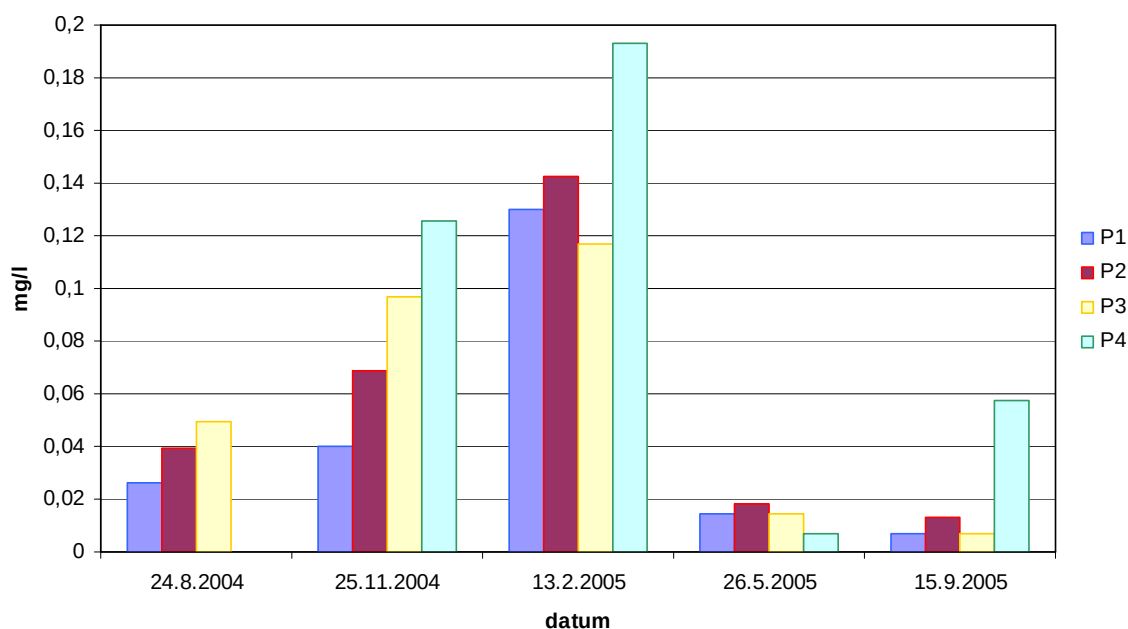
Rezultati analiz vsebnosti nitratov (mg/l) so prikazane na sliki 11. Iz grafa je razvidno, da se koncentracije nitratov dolvodno povečujejo, ni pa večjih nihanj navzdol, tudi v času rastne sezone ne. Vrednosti vsebnosti nitratov so se v avgustu in novembru leta 2004 nekoliko povečale, padle v mesecu februarju ter se v maju in septembru leta 2005 ponovno povečale. Vzroki za takšen potek gibanja vrednosti nitratov so v jesenskem času v upadu bioprodukcije in povečanem spiranju zaradi padavin. Upad v februarju ima vzrok v zelo nizkih temperaturah, kljub občasnim nalivom, ki niso povzročili večjega spiranja, povečanje v maju in septembru pa v količini padavin, ki je bila na tem območju večja od dolgoletnega povprečja. Velika količina padavin, gnojenje okoliških kmetijskih površin (v bližini vzorčnega mesta P3) in komunalne odplake mesta Celje in bližnjih naselij (vzorčno mesto P2 kot prejemnik reke Voglajne) so vplivale na vrednosti nitratov v vodi. Najvišja koncentracija nitratov je bila 12,1 v mesecu septembru na vzorčnem mestu P3. Z izgradnjo Centralne čistilne naprave Celje pa naj bi se vrednosti vsebnosti nitratov na vzorčnih mestih P2 in P3 v prihodnje znižale.



Slika 11 : Vsebnost nitratov (mg/l) na vzorčnih mestih P1, P2, P3 in P4 od avgusta 2004 do septembra 2005

4.1.6 Vsebnost ortofosfatov v vodi (PO_4^{3-})

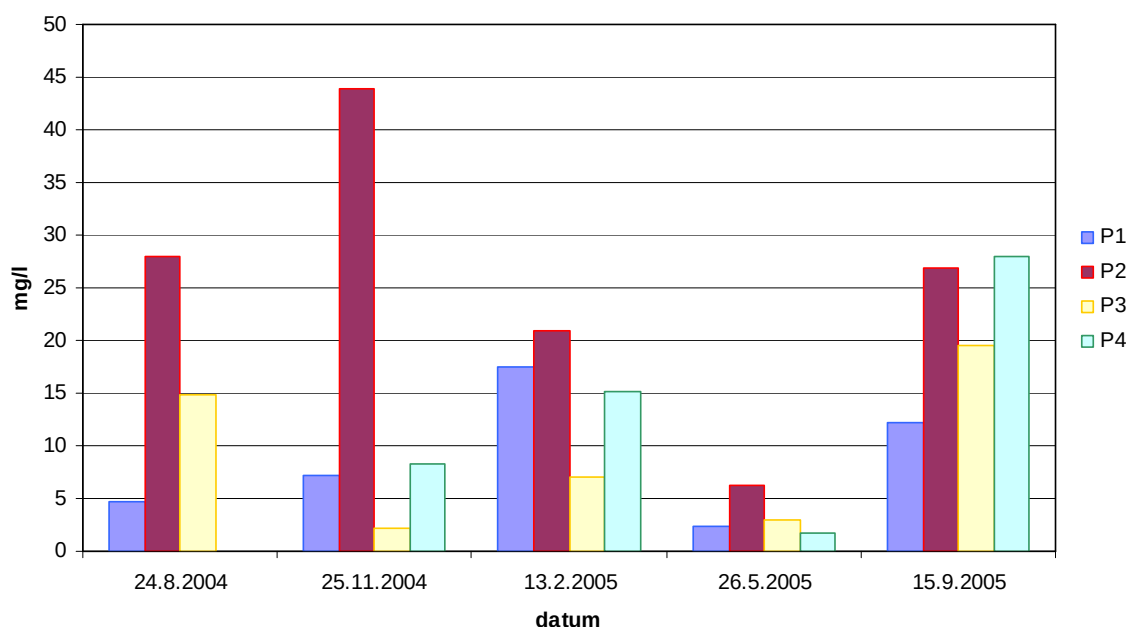
Rezultati meritev vsebnosti ortofosfatov (mg/l) so podani na sliki 12. Kot je razvidno iz grafa vrednosti koncentracij ortofosfatnih ionov niso presegale meje neobremenjenih voda 0,1 mg/l, razen v mesecu februarju, ko so bile vrednosti na vseh vzorčnih mestih nad to mejo. Za povečane vrednosti koncentracij ortofosfatov na vzorčnih mestih P2 in P4 v primerjavi z vzorčnima mestoma P1 in P3 so krive komunalne odplake in drugi polutanti, ki jih reka Voglajna prinese v reko Savinjo.



Slika 12 : Vsebnost ortofosfatov (mg/l) na vzorčnih mestih P1, P2, P3 in P4 od avgusta 2004 do septembra 2005

4.1.7 Vsebnost skupnih suspendiranih snovi (TSS)

Rezultati vsebnosti skupnih suspendiranih snovi so prikazani na sliki 13. Pri skupnih suspendiranih snoveh se kaže podoben vzorec rezultatov, kot pri elektroprevodnosti. Povišane so vrednosti na vzorčnih mestih P2 in P4 v primerjavi z vzorčnima mestoma P1 in P3. Vzrok je prav tako v reki Voglajni, ki kot odvodnik komunalnih in industrijskih odpadkov v reko Savinjo poleg organskih suspendiranih snovi doprinaša tudi anorganske suspendirane snovi. Povišane vrednosti na vzorčnih mestih P1 in P3 pa so posledica spiranja površin zaradi padavin.

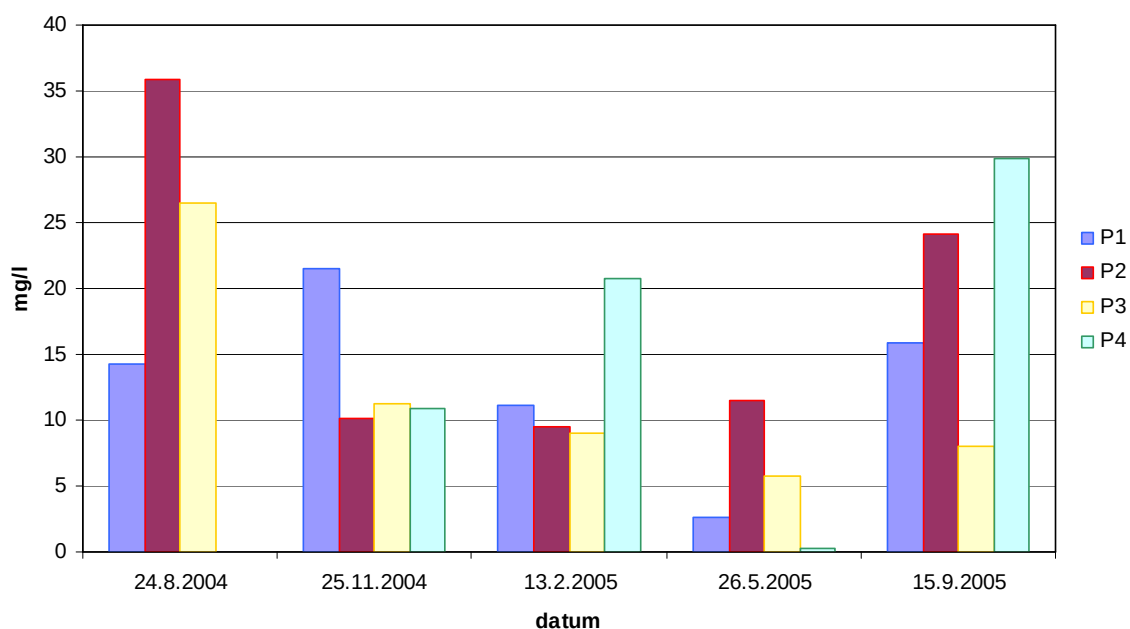


Slika 13 : Skupne suspendirane snovi (mg/l) na vzorčnih mestih P1, P2, P3 in P4 od avgusta 2004 do septembra 2005

4.2 BIOKEMIJSKE ANALIZE

4.2.1 Vsebnost klorofila

Rezultati vsebnosti klorofila za vsa 4 vzorčna mesta so prikazani na sliki 14. Vrednosti klorofila skoraj v vseh primerih presegajo koncentracijo 5 mg/l in tako nakazujejo na reki z visoko vsebnostjo nutrientov, ki omogočajo rast alg. Velika prisotnost alg je bila opazna že pri samih vzorčenjih v obliki zelene prevleke na kamnih, kar je opazno tudi s slik 15 in 16.



Slika 14 : Vsebnost klorofila a (mg/l) na vzorčnih mestih P1, P2, P3 in P4 od avgusta 2004 do septembra 2005



Slika 15 : Opazna prisotnost alg na kamnih na vzorčnem mestu P2



Slika 16 : Opazna prisotnost alg na kamnih na vzorčnem mestu P2

4.3 REZULTATI RAZISKAV VELIKIH VODNIH NEVRETEČARJEV

4.3.1 Taksonomska sestava združbe velikih vodnih nevretenčarjev

Vzorci velikih vodnih nevretenčarjev smo pobirali petkrat na vzorčnih mestih reke Savinje (P1, P2 in P3) ter trikrat na vzorčnem mestu reke Voglajne (P4) v razmiku treh mesecev. Seznami vseh najdenih taksonov so navedeni v prilogi (priloga B).

Največ taksonov smo našli v skupini enodnevnice (Ephemeroptera) 19 in dvokrilcev (Diptera) 16. Sledijo jima skupine mladoletnic (Trichoptera), maloščetincev (Oligochaeta), hroščev (Coleoptera), vrbnic (Plecoptera), pijavk (Hirudinea), kačjih pastirjev (Odonata), postranic (Gammarus) in velekrilcev (Megaloptera). Povprečno število taksonov v skupinah je bilo najvišje na 2. vzorčnem mestu 7. Na 1. in 3. vzorčnem mestu je v skupini povprečno šest taksonov, najmanj trije pa so na 4. vzorčnem mestu.

Oligochaeta

Skupina maloščetincev je bila s 5 družinami in 8 taksoni med taksonomsko pestrejšimi. Poleti in jeseni sta na vseh vzorčnih mestih prevladovali družini Lumbriculidae in Tubificidae, značilni sicer za bolj onesnažene vode, pozimi pa rod *Nais* iz družine Naididae, ki daje prednost čistejši vodi. Na 1. in 3. vzorčnem mestu smo našli tudi vrsto *Eiseniella tetraedra*, ki je predstavnica družine Lumbricidae

Hirudinea

V skupini pijavk je bila najdena le družina Erpobdellidae z dvema pripadajočima vrstama: *Erpobdella octoculata* (pikasto pijavko) in *Erpobdella testacea* (gladko pijavko). Pikasta in gladka pijavka sta vrsti, ki se pojavljata v zmerno do srednje obremenjenih vodah, ne pa v vodah, ki so obremenjene z odplakami, zato ju pri nobenem vzorčenju nismo našli na 4. vzorčnem mestu, sta se pa z izjemo zadnjega vzorčenja stalno pojavljali na 2. in 3. vzorčnem mestu, v enem primeru tudi na 1. vzorčnem mestu.

Amphipoda

Rod postranic je zastopala le vrsta *Gammarus fossarum*, ki se je pojavljala povsod, vendar je bila v večjem številu zastopana na 1. in 3. vzorčnem mestu kot pa na 2. in 4.

Ephemeroptera

Skupina enodnevnih je bila najbolj pestra skupina v makroinvertebratski združbi. Našli smo predstavnike (šestih) 6 različnih družin, kamor smo razvrstili kar 19 različnih taksonov. Največ (6) jih pripada družini Heptagenidae, kjer pa se kaže večja vrstna pestrost z manjšo številčno zastopanostjo kot pri družini Baetidae. Pri družini Baetidae smo našli 5 vrst, od katerih se je *Baetis fuscatus / scambus* pojavljal po celotni dolžini reke Savinje, *B. rhodani* pa nismo našli le na 2. vzorčnem mestu. Prav tako smo našli še po 3 vrste iz družine Ephemerellidae in Leptophlebiidae ter po 1 vrsto iz družin Caenidae in Potamanthidae. Več družin je bilo najdenih na 2. in 3. vzorčnem mestu, kot pa na 1. in 4.

Plecoptera

Vrhnice so ene občutljivejših makroinvertebratov na onesnaževanje. V reki Savinji smo našli 4 rodove, ki pripadajo 4 različnim družinam. Prisotnost samo pri/po enem vzorčenju smo opazili kar pri 3. rodovih: *Perlodes sp.*, *Nemoura sp.* in *Brachyptera sp.*

Najbolj stalno zastopanost je kazal le rod *Leuctra sp.*, ki smo ga pri zadnjem vzorčenju našli tudi na 4. vzorčnem mestu – v reki Voglajni.

Odonata

V skupini kačjih pastirjev smo našli le 4 osebkke, ki pripadajo dvema različnima rodovoma družine Gomphidae. Tako sta dva osebka pripadala rodu *Gomphus*, dva pa rodu *Onychogomphus*. Drugih predstavnikov raznolikih kačjih pastirjev pa nismo našli.

Coleoptera

Skupina hroščev je bila poleg kačjih pastirjev med slabše zastopanimi v makroinvertebratski združbi. Našli smo 2 različni družini skupaj s 4 različnimi taksoni. Znotraj družine Elmidae je bil najpogostejši rod *Esolus*, sledil mu je rod *Limnius* in *Oulimnius*. Pri družini Gyrnidae pa smo našli le en osebek vrste *Orectochilus villosus*.

Megaloptera

Edini najdeni osebek je bil vrste *Sialis nigripes* iz družine Sialidae. Našli smo ga pri prvem vzorčenju na drugem vzorčnem mestu.

Trichoptera

Iz skupine mladoletnic smo našli 9 različnih taksonov iz 5. različnih družin. Največ (5) taksonov pripada družini Hydropsychidae. Pripadniki teh rodov izdelujejo mreže, v katere lovijo hrano, ki jo nosi vodni tok. Na prvih treh vzorčnih mestih sta se večinoma pojavljali vrsti *Hydropsyche contubernalis* in *H. incognita*, kakor tudi juvenilni osebki rodu *Hydropsyche*, vsi pripadniki družine Hydropsychidae. Tudi vrsta *Psychomyia pussila* je imela podoben vzorec pojavljanja. Poleg teh smo na različnih vzorčnih mestih našli še posamezne osebkke vrste *Hydropsyche instabilis*, *H. pellucidula*, družine Hydropsychidae, osebkke iz rodu *Rhyacophila* sp. družine Rhyacophilidae, kakor tudi iz rodu *Hydroptila* sp. družine Hydroptilidae ter vrsto *Polycentropus flavomaculatus* iz družine Polycentropodidae.

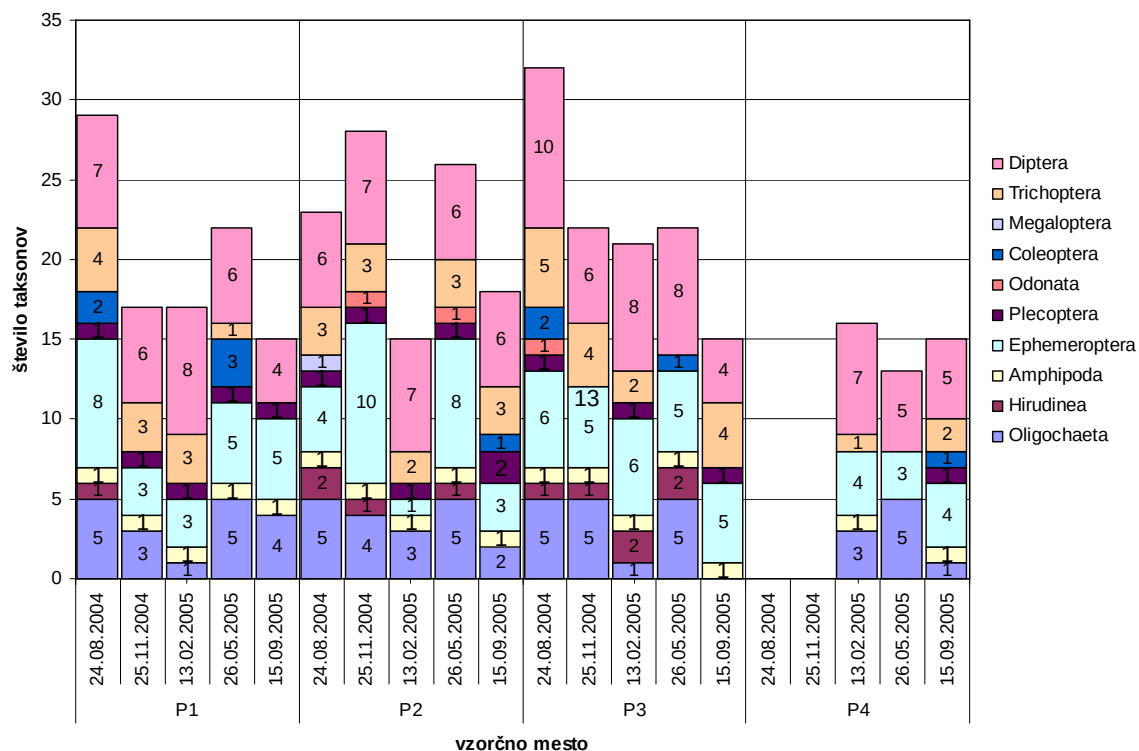
Diptera

Med dvokrilci, ki so za enodnevnici najbolj pestra skupina v makroinvertebratski združbi, smo našli 7 različnih družin in določili 16 taksonov. Večinoma smo jih določali do rodu, le pri družini Chironomidae, ki je bila najbolj pestra, smo pustili višje taksonomske skupine. Znotraj podreda Nematocera je bila najpestrejša že omenjena družina trzačev (Chironomidae) s 6 taksoni, kjer so prevladovali predvsem Orthoclaadiinae in Chirononini. Po zastopanosti ji sledi družina Limoniidae s 4. različnimi rodovi dvokrilcev ter družini Simuliidae in Tipulidae s po enim rodom. Družine, ki zastopajo podred Brachycera pa so se pojavljale v manjšini s posameznimi osebki. Tako smo pri družini Empididae sicer našli dva rodova, vendar za vsakega samo po dva osebka. Tudi družini Athericidae, kjer smo določili vrsto *Atherix ibis* in Tabanidae z rodom *Tabanus* nista bili izjemi. Tako kot skupino enodnevnici tudi dvokrilce zaznamuje visoka vrstna pestrost vendar majhna številčna zastopanost.

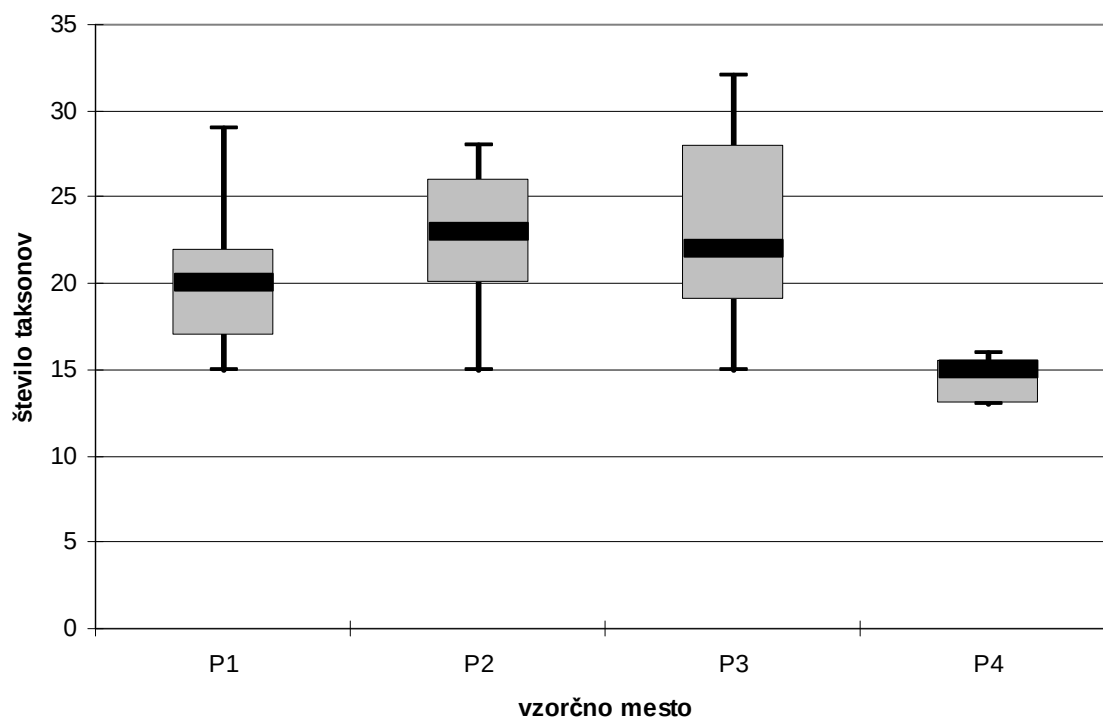
4.3.2 Longitudinalne spremembe v sestavi združbe velikih vodnih nevretenčarjev

Na sliki 17 so prikazana števila taksonov znotraj pogostejših skupin velikih vodnih nevretenčarjev na 4. vzorčnih mestih ob različnih časih vzorčenja leta 2004 in 2005. Največje zabeleženo število taksonov je bilo na vzorčnem mestu 1 avgusta 2004 (29), na vzorčnem mestu 2 novembra 2004 (28), ter na vzorčnem mestu 3 prav tako avgusta 2004, ko je bilo zabeleženo kar 32 taksonov, kar je tudi največ pri vseh vzorčenjih. Število taksonov je bilo najvišje na 2. vzorčnem mestu, kjer so se poleg taksonov, ki so pokazatelj onesnaženja občasno pojavljali tudi indikatorji čistih voda, ki so bili verjetno naplavljeni iz višje ležečih delov struge. Zaradi posrednih vplivov reke Voglajne na vzorčno mesto P3 se tu pojavlja manjše število taksonov kot na prvem in drugem vzorčnem mestu. Reka Voglajna pa je v primerjavi z vzorčnimi mesti na reki Savinji taksonomsko manj pestra, na kar vplivajo lastnosti reke kot odvodnice odplak mesta Celje.

Med taksonomsko pestre skupine lahko uvrstimo enodnevnice, dvokrilce, maloščetince in mladoletnice. Ostale skupine, kot so pijavke, postrance, vrbnice, hrošči in velekrilci pa imajo stalno nizko število taksonov. Na sliki 18 je grafikon kvantilov, ki prikazuje razpršenost števila taksonov na 4. vzorčnih mestih ob vzorčenjih leta 2004 in leta 2005. V sivini je zajeta večina vseh vrednosti, podaljšana črta prikazuje zgornjo in spodnjo črto podatkov, prečna črta pa predstavlja povprečno število taksonov na posameznem vzorčnem mestu. Vidimo, da je številčno najbolj homogeno 4. vzorčno mesto, kjer smo po pričakovanju našli najmanj taksonov. 1., 2. in 3. vzorčno mesto pa kažejo višjo stopnjo razpršenosti, ki je na 3. vzorčnem mestu najvišja. Povprečja prvih treh mest so približno enaka (20, 23 in 22 taksonov). Na 4. vzorčnem mestu je bilo v povprečju najdeno 15 taksonov.



Slika 17 : Spreminjanje števila taksonov znotraj posamezne skupine makroinvertebratov na vzorčnih mestih P1, P2, P3 in P4 ob različnih časih vzorčenja

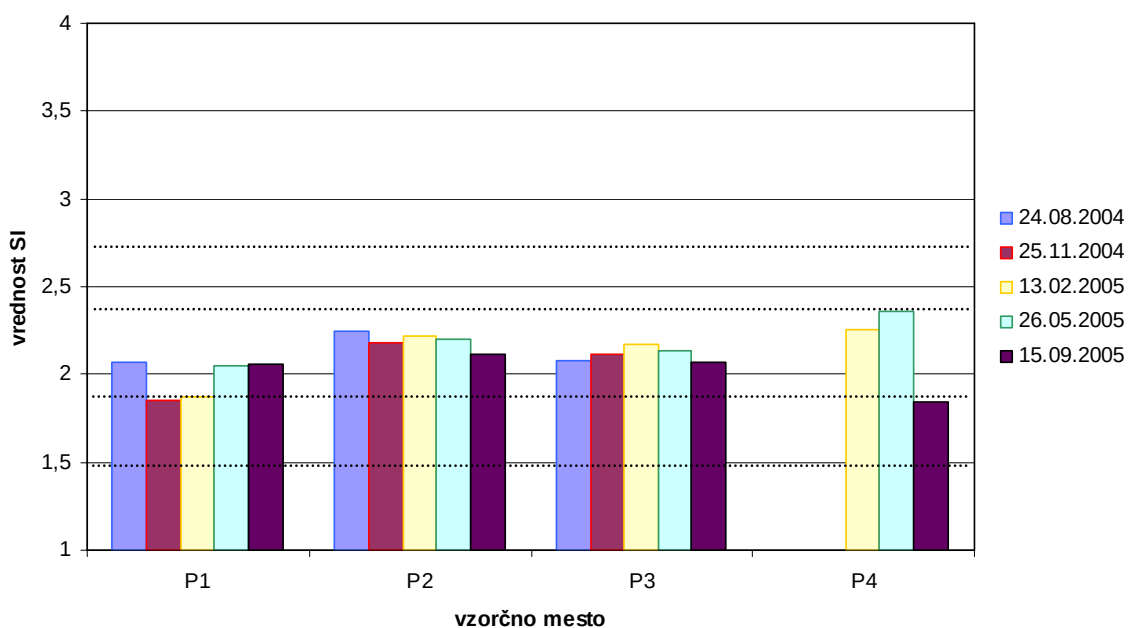


Slika 18 : Grafikon kvantilov števila taksonov na vzorčnih mestih P1, P2, P3 in P4 leta 2004 in 2005

4.4 BIOLOŠKE IN STATISTIČNE ANALIZE

4.4.1 Saprobni indeks

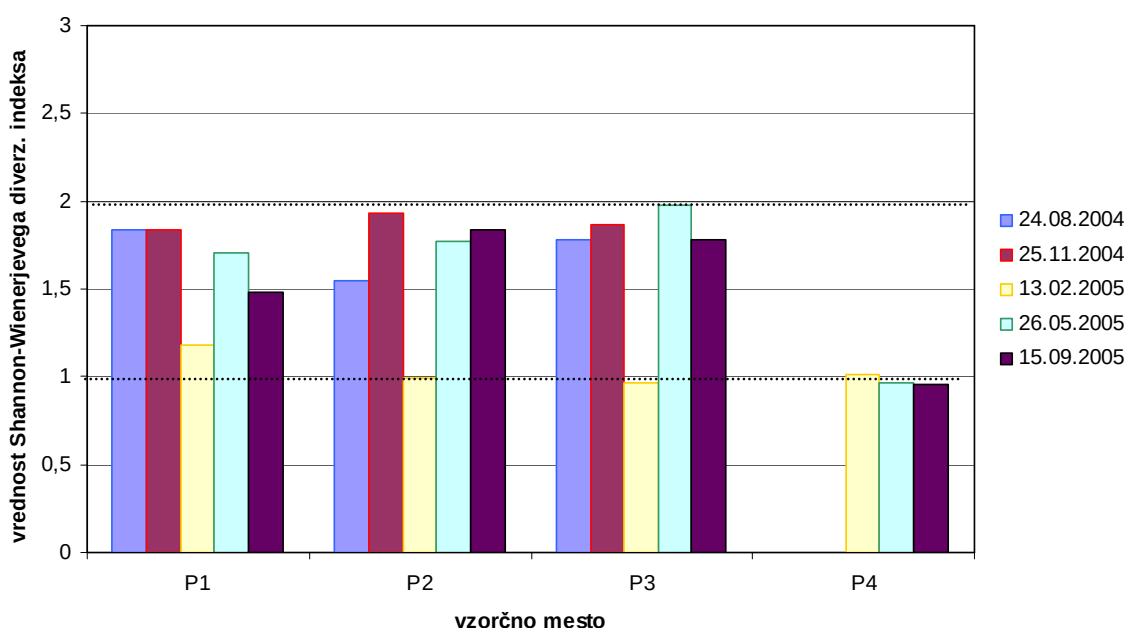
Na sliki 19 so prikazane vrednosti saprobnih indeksov na izbranih vzorčnih mestih P1, P2, P3 in P4 ob različnih datumih vzorčenja združbe velikih vodnih nevretenčarjev. Vrednosti saprobnega indeksa uvrščajo prvo, drugo in tretje vzorčno mesto v 2. kakovostni razred z zmerno obremenjenostjo, četrto vzorčno mesto pa v 2.-3. kakovostni razred s srednjo obremenjenostjo vodotoka. Vrednosti indeksa bi dolvodno naraščale v kolikor vzorčno mesto 2 ne bi bilo prejemnik reke Voglajne, ki je glavni odvodnik komunalnih in industrijskih odpadkov mesta Celje in bližnjih naselij. Cilj Centralne čistilne naprave Celje je tudi v izboljšanju kakovosti vodotokov na območju mestne občine Celje, kamor spadata tudi reka Voglajna in Savinja.



Slika 19 : Saprobni indeks na vzorčnih mestih P1, P2, P3 in P4 leta 2004 in 2005

4.4.2 Shannon-Wienerjev diverzitetni indeks

Na sliki 20 so prikazane vrednosti Shannon-Wienerjevega diverzitetnega indeksa na izbranih vzorčnih mestih P1, P2, P3 in P4 ob različnih datumih vzorčenja. Večina vzorcev na vzorčnih mestih reke Savinje (P1, P2 in P3) po vrednostih Shannon-Wienerjevega diverzitetnega indeksa uvršča kakovost vodnega okolja reke Savinje med srednje obremenjene, vzorčno mesto P4 pa med močno obremenjene.

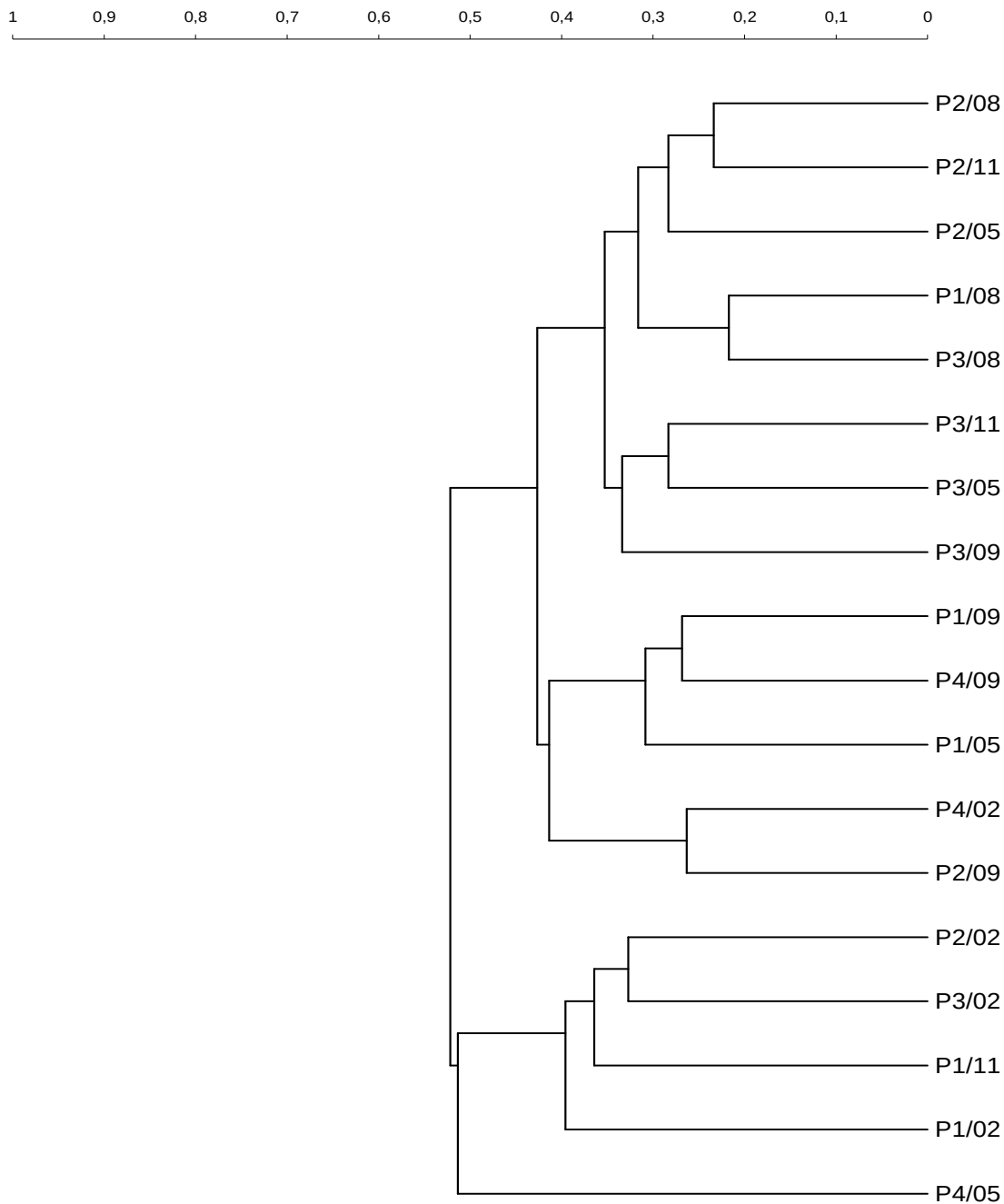


Slika 20 : Vrednosti Shannon-Wienerjevega diverzitetnega indeksa na vzorčnih mestih P1, P2, P3 in P4 leta 2004 in 2005

4.4.3 Bray-Curtisov indeks podobnosti

Na sliki 21 so posamezni vzorci makroinvertebratske združbe s pomočjo Bray-Curtisovega indeksa podobnosti razvrščeni v podobnostne skupine. Kakor vidimo s slike so novembrski, majski in septembrski P3 vzorci zelo podobni vzorcem P2 in avgustovskim P1 in P3 vzorcem. Skupaj pa tvorijo podobnost s septembrskimi P1, P2 in P4 vzorci. Vendar je podobnost teh vzorcev manjša od podobnosti vzorcev odvzetih v mesecu februarju na mestih P1, P2 in P3 z mestom P4 v mesecu maju. Na to veliko podobnost pa

so imeli največje vplive spremljajoči hidromorfološki dejavniki, ki so tudi sicer vplivali na spreminjanje v sestavi združbe makroinvertebratov.



Slika 21 : Klasterska analiza združbe makroinvertebratov z Bray-Curtis-ovim indeksom podobnosti, vzorčene leta 2004 ter 2005

Kode predstavljajo mesto vzorčenja (P1, P2, P3 in P4) in mesec vzorčenja (08, 11 leta 2004 ter 02, 05, 09 leta 2005)

5 RAZPRAVA IN SKLEPI

5.1 RAZPRAVA

Reke so visoko variabilni dinamični ekosistemi tako v prostoru in času. Na izviru pritečejo na dan, se na poti k izlivu razvijajo, pri tem pa se longitudinalno spreminjajo. Spremembe so posledica delovanja različnih dejavnikov; spreminja se naklon strmcov, hitrost vodnega toka, to pa vpliva na spremembo tipa podlage, ki je na začetku kamnita, kasneje pa je zaradi vedno večjih nanosov anorganskih in organskih usedlin bolj muljaste narave. Poleg tega se spreminja tudi lateralna dimenzija reke, ki sprva teče po udarni dolini, kasneje pa mimo vasi, naselij s kmetijsko obdelovalnimi površinami in mest, ki zagotovo vplivajo na kemizem v reki. Longitudinalne spremembe fizikalno-kemijskih dejavnikov imajo velik vpliv na ekosistemske procese, kot so dekompozicija, primarna produkcija in respiracija ter na vrstno pestrost in sestavo združbe makroinvertebratov. Združbo makroinvertebratov smo vzorčili kakovostno s »kick sampling« metodo in ob tem poskušali zajeti čim večje število mikrohabitata ter v njih živečih nevretenčarjev na posameznem vzorčnem mestu. Zaradi lažje dostopnosti manjše globine in razgibanosti 1. in 4. vzorčnega mesta smo tam vzorčili na večji površini kot na 2. in 3. vzorčnem mestu, kjer smo zaradi prevelike globine lahko vzorčili le na levem oziroma desnem bregu.

Med pomembnejšimi dejavniki, ki vplivajo na življenje v reki je **temperatura**. Največji vpliv na temperaturne spremembe v reki Savinji in reki Voglajni so imele klimatske spremembe, ki so se pojavljale sezonsko. Tako so visoke temperature obeh rek v mesecu avgustu 2004, maju 2005 in septembru 2005 odraz visokih temperatur zraka in večjega deleža sončnih dni od povprečja. Najvišja izmerjena temperatura (19,9 °C) je bila na reki Savinji na vzorčnem mestu P2 v mesecu maju 2005, na reki Voglajni pa prav tako istega meseca (20,2°C). Najnižja izmerjena temperatura 1°C na vzorčnem mestu P2 pa je bila meseca februarja, ki je bil znatno hladnejši od dolgoletnega povprečja. Temperaturne razlike bi dolvodno naraščale, v kolikor vzorčno mesto P2 na reki Savinji ne bi bil prejemnik reke Voglajne, ki prav tako vpliva na temperaturo reke Savinje.

Vsebnost kisika v vodi se spreminja dnevno in sezonsko, kakor pravita Giller in Malmqvist (1998) pa je odvisna tudi od hitrosti toka, turbolenc, temperatur in aktivnosti prebivalcev v njej. Nanjo močno vpliva organsko obremenjevanje, ki poviša mikrobnost aktivnost in posledično zmanjša vsebnost kisika, temu pa sledi še sprememba združbe, to je naselitev na hipoksijo ali celo na anoksijo tolerantnih organizmov. V povprečju so bile koncentracije kisika v reki Savinji 11,4 mg/l in 11,0 mg/l v reki Voglajni. Kakor je vidno s slike 8 **nasičenost** vode s kisikom kar pri štirih vzorčenjih (avgust, november 2004 in maj, september 2005) doseže oz. preseže 100 %, na kar so vplivale ugodne razmere za razrast in obstoj makrofitske vegetacije. Nižje vrednosti v mesecu februarju pa so posledica izredno nizkih temperatur tega meseca (po podatkih Agencije RS za okolje so bile temperature nižje od dolgoletnega povprečja), ter večje stopnje respiracije od primarne produkcije.

pH je bil bolj ali manj konstanten, pri vseh meritvah okoli vrednosti 8. Spreminjanje vrednosti pH ima sicer vzrok v vodnih prebivalcih, ki z dihanjem in fotosintezo nižajo oziroma višajo njegovo vrednost. Na nižje vrednosti pH imajo velik vpliv tudi raztopljene organske snovi.

Elektroprevodnost ostaja skozi leto v normalnih mejah za celinske vode (10-1000 $\mu\text{S}/\text{cm}^2$). Ta parameter je opredeljen kot sposobnost vode, da prevaja električni tok, in je odvisen od temperature in koncentracije nabitih delcev v vodi. Bolj kot je vodno telo obremenjeno s hranili, tem višja je prevodnost. Slika 10 prikazuje pričakovane povišane vrednosti elektroprevodnosti na vzorčnem mestu P2 na reki Savinji in P4 na reki Voglajni, ki imata vzrok v vlogi reke Voglajne kot glavni odvodnici komunalnih in industrijskih odpadkov mesta Celja in bližnjih naselij, katerih prejemnik je reka Savinja na mestu P2. Po podatkih Agencije RS za okolje je ocena kemijskega stanja reke Savinje v letu 2004 na predelu P1 in P3 dobra, reke Voglajne pa slaba. V letu 2005 pa se je izboljšalo kemijsko stanje reke Voglajne na dobro. Vzorčni mesti P1 in P3 pa kažeta značilni cikel vrednosti elektroprevodnosti, ki se spomladi in poleti zaradi večje bioprodukcije znižajo in jeseni zaradi intenzivne razgradnje odpadnega listja in upočasnjene bioprodukcije povišajo.

Podoben vzorec rezultatov kot elektroprevodnost kažejo **skupne suspendirane snovi** (TSS). Vrednosti so na vzorčnih mestih P2 in P4 povišane v primerjavi z vzorčnima mestoma P1 in P3. Vzrok je prav tako v reki Voglajni, ki kot glavna dovodnica komunalnih in industrijskih odpadkov mesta Celja in bližnjih naselij poleg organskih

suspendiranih snovi prinaša tudi anorganske suspendirane snovi v reko Savinjo. Občasno povišane vrednosti na vzorčnem mestu P1 in P3 pa so posledica spiranja površin zaradi padavin.

Večina anorganskih hranil v vodotoku je posledica spiranja s kmetijskih površin. Sicer lahko pridejo v sistem tudi iz atmosfere, nastajajo pa tudi v samem vodotoku v procesu razgradnje snovi in pri sproščanju iz usedlin. V našem primeru so bile koncentracije anorganskih hranil najnižje na prvem vzorčnem mestu in so se po toku navzdol zviševale z izjemo drugega vzorčnega mesta, kjer so bile višje zaradi dotoka reke Voglajne kot odvodnice odplak mesta Celje. Vrednosti koncentracij ortofosfatov z izjemo vzorčenja v mesecu februarju niso presegle meje neobremenjenih voda 0,1 mg/l. V mesecu februarju, ki je bil izredno hladen z občasnimi nalivi, so bile koncentracije na vzorčnih mestih P2, P3 in P4 povišane zaradi večjega vnosa snovi bogatih s fosfati, kakor je bila aktivnost rastlin, ki bi ga sicer v celoti privzele. Povečan vnos je omogočala reka Voglajna kot odvodnica komunalnih in industrijskih odplak. Kakor je razvidno iz slike 12 in 11 se pri vrednostih **ortofosfatov** in **nitratov** kaže podoben vzorec s povišanimi vrednostmi na vzorčnem mestu P2 in P4, ki imajo vzrok v lastnostih reke Voglajne in njeni vlogi za mesto Celje. Vzorčni mesti P1 in P3 pa kažeta značilno sezonsko spreminjanje vrednosti obeh anorganskih hranil, z znižanjem vrednosti v času rastne sezone in povišanjem v jesenskem času zaradi zmanjšane bioprodukcije in pogostejših padavin. Kot rezultat vpliva koncentracij anorganskih hranil na kakovost vodotoka se kažejo vrednosti **klorofila a**. Merjenje količine klorofila je metoda za posredno merjenje prerasta bentoških alg in oceno trofičnega stanja vodotoka. Slika 14 prikazuje vrednosti klorofila na štirih vzorčnih mestih, kjer so skoraj v vseh primerih presežene koncentracije 5 mg/l, ki tako nakazujejo na reki z visoko vsebnostjo nutrientov, ki omogočajo rast alg. Velika prisotnost alg je bila opazna že pri samih vzorčenjih kot zelena prevleka na kamnih.

Pri petih vzorčenjih smo na območju reke Savinje in reke Voglajne našli skupno 67 različnih taksonov. Tako smo na vzorčnem mestu P1 našli 44 različnih taksonov, na vzorčnem mestu P2 45, na P3 42 in na vzorčnem mestu P4 na reki Voglajni 26 različnih taksonov združbe makroinvertebratov. Število taksonov se je spreminjalo skladno s klimatskimi spremembami v okviru sezon, hidromorfološkimi in fizikalno-kemijskimi

dejavniki. Najmanj se je število taksonov spreminjalo na vzorčnem mestu reke Voglajne (P4), kjer smo ob posameznem vzorčenju našli med 13 in 16 različnih taksonov. Glede na dejstvo, da se Voglajna izliva v reko Savinjo malo nad vzorčnim mestom P2, smo na tem mestu posledično našli manjši razpon taksonov kot na 1. oz. 3. vzorčnem mestu. Tu smo ob posameznih vzorčenjih našli med 15 in 28 taksonov. Večjo raznolikost števila taksonov pa smo zabeležili na 1. oz. 3. vzorčnem mestu. Na 1. vzorčnem mestu smo našli med 15 in 29 različnih taksonov, na 3. vzorčnem mestu pa med 15 in 32. Sicer pa povprečno število taksonov dolvodno narašča z izjemo 2. vzorčnega mesta, kjer je povprečje najvišje, saj so se tu poleg vrst, ki so v združbi velikih nevretenčarjev pokazatelj močnega onesnaženja pojavljali tudi posamezni indikatorji čistih voda, ki so bili verjetno naplavljeni iz višje ležečih delov struge. Grafikon kvantilov, slika 18 odkriva, da je na vzorčnem mestu P4 razpršenost števila taksonov najmanjša, najvišja pa je na vzorčnem mestu P3.

Za vrednotenje kakovosti voda smo uporabili več metod. Najprej smo uporabili **saprobní indeks**, katerega izračunane vrednosti so nam uvrstile 1., 2. in 3. vzorčno mesto v 2. kakovostni razred z zmerno obremenjenostjo, 4. vzorčno mesto na reki Voglajni pa v 2-3. kakovostni razred s srednjo obremenjenostjo vodotoka, kar je razvidno tudi s slike 19. Podobne rezultate je v okviru projektov Monitoringa kakovosti površinskih vodotokov v Sloveniji v letih 2004, 2005 objavila tudi Agencija RS za okolje, kjer je bila reka Savinja na območju P3 uvrščena v 2. kakovostni razred, reka Voglajna pa v 2-3 kakovostni razred v letu 2004, in v 2. kakovostni razred v letu 2005.

Poleg saprobnega indeksa smo za vrednotenje kakovosti voda uporabili tudi **Shannon-Wienerjev diverzitetni indeks**. Ta nam je glede na strukturo združbe velikih vodnih nevretenčarjev posameznega vzorčnega mesta podal sledeče rezultate: večina vzorcev na vzorčnih mestih reke Savinje (P1, P2 in P3) po vrednostih tega indeksa uvršča kakovost vodnega okolja reke Savinje med srednje obremenjene, vzorčno mesto P4 na reki Voglajni pa med močno obremenjene.

Klusterska analiza nam je z uporabo **Bray-Curtisovega indeksa podobnosti** omogočila primerjavo posameznih vzorčnih mest. Ta nam je pokazala, da so si najbolj podobni februarški vzorci vzorčnih mest reke Savinje (P1, P2 in P3) in majski vzorec reke Voglajne (P4). Sicer pa se kaže večja podobnost med 2. in 3. vzorčnim mestom ter 1. v kombinaciji z 2. in 4.

5.2 SKLEPI

Večina opazovanih dejavnikov se je na vzorčnih mestih reke Savinje z izjemo 2. vzorčnega mesta spreminjala po pričakovanjih po toku navzdol. P2 vzorčno mesto je bilo zaradi dotoka reke Voglajne stalna izjema. Reka Voglajna s svojo vlogo glavne odvodnice komunalnih in industrijskih odplak mesta Celja in bližnjih naselij neposredno vpliva na lastnosti reke Savinje na vzorčnem mestu P2, posredno pa tudi na vzorčnem mestu P3. Vzorčno mesto P4 na reki Voglajni je bilo dodano za lažjo primerjavo in interpretacijo rezultatov.

Na temperaturne razmere so imele največji vpliv klimatske spremembe, ki so se pojavljale sezonsko. Tako so visoke temperature vode posledica visokih temperatur zraka in večjega deleža sončnih dni, nizke pa nizkih okoljskih temperatur. Temperatura reke Savinje dolvodno narašča z izjemo 2. vzorčnega mesta, kjer na temperaturo vpliva tudi dotok reke Voglajne.

Kisika v vodi ni nikoli primanjkovalo, tudi nasičenost z njim je kar pri štirih vzorčenjih dosegla ali presegla 100%. pH ostaja vse leto okoli vrednosti 8 in se le malo spreminja. Vrednosti elektroprevodnosti in skupnih suspendiranih snovi pa kažejo podoben vzorec. Pri obeh je opaziti pričakovano povišane vrednosti na vzorčnem mestu P2 in P4 zaradi lastnosti reke Voglajne, ter dolvodno povečevanje vrednosti med vzorčnima mestoma P1 in P3.

Koncentracija hranil (nitrati in ortofosfati) prav tako narašča po toku navzdol z izjemo 2. vzorčnega mesta. Opaziti pa je (na vzorčnem mestu 1 in 3) sezonsko dinamiko s porastom v jesenskem času kot posledica spiranja kmetijskih površin zaradi padavin in upad v poletnem času zaradi povečane bioprodukcije.

Povprečno število taksonov je bilo najvišje na vzorčnem mestu P2, kjer so se poleg vrst, ki so v združbi velikih vodnih nevretenčarjev pokazatelj močnega onesnaženja (hironomidi in maloščetinci), ki ga na tem mestu povzroča izliv reke Voglajne, občasno pojavljali tudi posamezni indikatorji čistih voda (vrbnice), ki so bili verjetno naplavljeni iz višje ležečih

delov struge. Manjše število taksonov pa je bilo najdeno na 1. oz. 3. vzorčnem mestu, najmanj pa na 4. vzorčnem mestu reke Voglajne. Med taksonomsko pestre skupine smo uvrstili enodnevnice, dvokrilce, maloščetince in mladoletnice. Ostale skupine kot so pijavke, postrance, vrbnice, hrošči in velekrilci pa so se pojavljale s stalnim nizkim številom taksonov.

Splošno dejstvo, da je v ohranjenem sistemu diverziteta velika, številčna zastopanost posameznega taksona pa majhna, podpirajo tudi biološke analize. Že med vzorčenjem opazne prevleke alg na kamnih, ki so nakazovale na visoko prisotnost nutrientov, so potrdile tudi izmerjene koncentracije klorofila, ki so skoraj povsod presegale mejo 5 mg/l. Na podlagi saprobnega indeksa smo reko Savinjo uvrstili v 2. kakovostni razred z zmerno obremenjenostjo in reko Voglajno v 2-3. kakovostni razred s srednjo obremenjenostjo vodotoka. Do podobnih izsledkov smo prišli tudi pri Shannon-Wienerjevem diverzitetnem indeksu.

Primerjava posameznih vzorcev makroinvertebratske združbe je pokazala podobnost vzorčnih mest reke Savinje z vzorčnim mestom reke Voglajne.

Na razporejanje makroinvertebratov znotraj rečnega sistema vpliva veliko okoljskih spremenljivk, vendar so se za najpomembnejše izkazale značilnosti struge, bistrost vodnega toka, fizikalno-kemične lastnosti vode ter stopnja obremenjenosti.

6 POVZETEK

Izvir reke Savinje je v Logarski dolini pod visokogorsko ledeniško krnico Okrešelj, kjer prihaja na površje kot slap Rinka. Njeno porečje poteka večinoma po Zgornji in Spodnji Savinjski dolini, vstopa v Celjsko kotlino in teče skozi mesto Celje in Laško. Na območju mesta Celje je bila Savinja vrsto let recipient neprečiščenih odpadnih vod mesta Celje, ki jih je doprinala reka Voglajna. Z izgradnjo Centralne čistilne naprave Celje in glavnega zbiralnika se bo izboljšalo ekološko stanje reke Savinje.

Vzorčenja na reki Savinji so potekala med 24. avgustom 2004 in 15. septembrom 2005. Vsake tri mesece (avgust, november 2004, februar, maj in september 2005) smo opravili meritve fizikalno-kemijskih parametrov in vzorčenje združbe makroinvertebratov.

Namen raziskave je bilo oceniti ekološko stanje reke Savinje in ugotoviti, ali reka Voglajna kot odvodnica komunalnih in industrijskih odpadkov mesta Celja in bližnjih naselij vpliva na to oceno, ki bi se naj z izgradnjo Centralne čistilne naprave Celje izboljšala. Tega izboljšanja mi še nismo zaznali, saj je bila v času našega raziskovanja čistilna naprava v poskusnem obratovanju in tako premalo časa delujoča, da bi že ugotovili njene pozitivne učinke na reko Savinjo.

Temperatura vode se giblje med 1 °C in 19,9 °C s povečanjem po strugi navzdol, kjer nanjo vpliva tudi dotok Voglajne. Voda je bila dobro prezračena, koncentracija kisika se giblje med 9,1 in 13,5 mg/l, nasičenost vode s kisikom večkrat preseže 100% in nikoli ne pade pod 70%. Elektroprevodnost se giblje med 343 in 553 $\mu\text{S}/\text{cm}^2$ na vzorčnih mestih reke Savinje in med 396 in 668 $\mu\text{S}/\text{cm}^2$ na 4. vzorčnem mestu, na reki Voglajni. pH ostaja zaradi karbonatnega ravnotežja med 7,7 in 8,8 vse leto. Koncentracije nitratov nihajo med 5,5 in 12,1 mg/l, s povišanjem na drugem vzorčnem mestu in letno dinamiko na drugih dveh vzorčnih mestih. Koncentracije ortofosfatov nihajo med 0,01 in 0,13 prav tako s povišanimi vrednostmi na 2. vzorčnem mestu reke Savinje in vzorčnem mestu reke

Voglajne. 1. in 3. vzorčno mesto pa kažeta sezonsko dinamiko, ki podobno kot pri nitratih kaže upad vrednosti v pomladanskem oz. poletnem času ter povišanje v jesenskem času.

S kakovostnim vzorčenjem (»kick sampling« metodo) smo v petih vzorčenjih zbrali 67 različnih taksonov velikih vodnih nevretenčarjev. Največje število taksonov je bilo najdeno na 2. vzorčnem mestu, kjer so se poleg taksonov, ki so pokazatelj onesnaženja, občasno pojavljali tudi indikatorji čistih voda, ki so bili verjetno naplavljeni iz višje ležečih delov struge. Zaradi negativnih vplivov reke Voglajne na kakovost reke Savinje število taksonov na 3. vzorčnem mestu upade v primerjavi s prvima dvema mestoma. Vzorčno mesto reke Voglajne je bilo po pričakovanjih najmanj pestro. Med taksonomsko pestre skupine lahko uvrstimo enodnevnice (družino Beatidae), dvokrilce (družino Chironomidae), mnogoščetince (družino Tubificidae) in mladoletnice (družino Hydropsychidae), ostale skupine pa so zastopane z nizkim številom taksonov in osebkov.

Najpomembnejše okoljske spremenljivke, ki vplivajo na razvrščanje združbe, so morfologija struge, hitrost vodnega toka, temperatura in ponekod predvsem stopnja obremenjenosti vodotoka (saprobni indeks, Shannon-Wienerjev diverzitetni indeks).

Po saprobnem indeksu uvrščamo 1., 2. in 3. vzorčno mesto v 2. kakovostni razred z zmerno obremenitvijo, 4. vzorčno mesto pa v 2-3. kakovostni razred s srednjo obremenjenostjo vodotoka. Podobne rezultate poda tudi Shannon-Weinerjev diverzitetni indeks.

Z metodo razvrščanja vzorcev združbe makroinvertebratov po številu osebkov v vzorcu smo ugotovili, da obstaja podobnost med vzorčnimi mesti reke Savinje in reke Voglajne.

Z izgradnjo Centralne čistilne naprave Celje se reki Savinji obetajo boljši časi, ki bodo z zmanjšanjem vnosa neprečiščenih voda izboljšali predvsem njeno ekološko stanje in kakovost.

7 VIRI

Cvikl M., Kramer R., Drugovič U., Volfand J., Čanji V. 2004. Celje – mesto čiste vode. Celje, Dikplast d.o.o.: 9 – 15 str.

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

Gams I. 1996. Geografske značilnosti Slovenije. 5. ponatis. Ljubljana, Mladinska knjiga: 162 – 163 str.

Giller P.S., Malmqvist B., 1998. The biology of streams and rivers. New York, Oxford University Press Inc: 1 – 43 str.

Goropevšek B., Cvirn J., 1996. Savinja. Nazarje, EPSI: 56 – 93 str.

Jačimović V. 2005. Ekosistemsko vrednotenje reke Prečne na Dolenjskem. Diplomsko delo. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo

Matoničkin I., Pavletič Z. 1972. Život naših rijeka. Biologija tekućih voda. Zagreb, Školska knjiga: 15 – 40 str.

Meteorološki letopisi. Letopis 2004, 2005. Podnebne značilnosti leta 2004, 2005. Agencij RS za okolje (19. jun. 2007)

<http://www.arso.gov.si/vreme/podnebje/2004klima.pdf>

<http://www.arso.gov.si/vreme/podnebje/meteorolo%c5%A1ki%20letopis/2005klima.pdf>

Močnik E. 2002. Ekološka kategorizacija hudourniškega potoka. Diplomsko delo. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo

Nesemann H. 1997. Egel und krebsegel (Clitellata: Hirudinea und Branchiobdelida) Österreichs. Wien, Ersten vorarlberger Malakologischen Gesellschaft: 68 – 71 str.

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

Plut D. 1995. Vode v Sloveniji. Nazarje, EPSI: 108 – 109 str.

Radinja D. 1993. Hidrografske značilnosti Posavinja in njegova oskrba s pitno vodo. V: Savinjska, možnost regionalnega in prostorskega razvoja. 16. zborovanje slovenskih geografov, Celje 21 – 23 okt. 1997. Pelc. S. (uz.). Zveza geografskih društev Slovenije: 55 – 58 str.

Rejic M., Smodej I. 1988. Sladkovodni ekosistemi in varstvo voda. Gozdna hidrologija. Ljubljana, VTOZD za gozdarstvo BF: 20 – 105 str.

Sket B., Gogala M., Kuštor V. 2003. Živalstvo Slovenije. Ljubljana, Tehniška založba Slovenije: 276 – 440 str.

Strahovnik V. 1994. Spodnja Savinjska dolina. Vodnik. Nazarje, EPSI: 5 – 15 str.

Toman M.J., Steinman F. 1995. Biological Assesiment of Stream Water Quality, Theory, Application and Comparison of Methods. Ljubljana, University of Ljubljana (TEMPUS JEP 4724): 101 – 125 str.

Urbanič G., Toman M.J. 2003. Varstvo celinskih voda. Ljubljana, Študentska založba: 22 – 57 str.

Urbanič G. 2007. Limnologija in ekosistemi. Navodila za terenske vaje Bohinj 2007. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo

Volfand J. 2002. Centralna čistilna naprava Celje. Celje, G – offset tisk: 2 – 11 str.

Vovk Korže A., Bricelj M. 2004. Vodni svet Slovenije. Priročnik za interdisciplinarno proučevanje voda. Ljubljana, Zveza geografskih društev Slovenije: 40 – 42 str.

Waringer J., Graf W. 1997. Atlas der Österreichischen köcherfliegenlarven. Unter Einschluß der angrenzenden Gebiete. Wien, Facultas Universitätverlag: 361 – 364 str.

<http://sl.wikipedia.org/wiki/Savinja> (9. avg. 2007)

<http://sl.wikipedia.org/wiki/Reka> (9. avg. 2007)

http://e-lookout.com/dan_voda.htm (9. avg. 2007)

<http://www.lsbu.ac.uk/water/index.html> (9. avg. 2007)

<http://www.unb.ca/cri/projects/invertebrate-key/Trichoptera> (22. feb. 2007)

<http://www.plantbio.ohiou.edu/epb/instruct/commecology/ppt/LEC-2b.pdf> (19. jun. 2007)

<http://www.tiem.utk.edu/~gross/bioed/bealsmodules/shannonDI.html> (19. jun. 2007)

<http://www.arso.gov.si/vode/reke/publikacije> (27. sept. 2007)

ZAHVALA

Prof. dr. Mihael J. Toman se najlepše zahvaljujem za mentorstvo, vsestransko pomoč ter izjemna predavanja Varstvo okolja in naravne dediščine, ki so mi bila v veliko pomoč pri izbiri teme diplomskega dela.

Zahvaljujem se tudi predsednici komisije prof. dr. Alenki Gaberščik za vso pomoč in prijaznost, prof. dr. Danielu Vrhovšek pa za recenzijo diplomskega dela.

Branki Tavzes se zahvaljujem za vso pomoč in napotke pri določanju velikih vodnih nevretenčarjev, Gorazdu Urbaniču pa za pomoč pri obdelavi podatkov in določanju skupin mladoletnih in pijavk.

Družini Bogataj se iz srca zahvaljujem za vso pomoč in potrpljenje: Špeli in Alešu za računalniško obliko tega dela, babici za vse ure varstva, brez katerih tega dela še danes nebi bilo, dedku in fantu Kristianu pa za vso potrpljenje in vero, da mi bo uspelo.

Tebi oči hvala za uresničitev mojih sanj, Lea tebi pa za nasvete, spodbudne besede in dejstvo, da si super sestra.

Špeli in Maši hvala za vse urice klepetanja, ki so mi predstavljale sprostitve med pisanjem diplome.

Sebastijanu hvala za prevod v angleščino.

Vama Kristian in Urs pa besede moje hvaležnosti ne morejo opisati, sta moja glavna sončka, ki sta mi vlivala veselje in zaupanje vase, da mi bo uspelo.

PRILOGE

Priloga A : Meritve fizikalnih in kemijskih dejavnikov na vzorčnih mestih P1, P2 in P3 reke Savinje in P4 na reki Voglajni od avgusta 2004 do septembra 2005

Datum vzorčenja	Vzorčno mesto	Temperatura (°C)	Koncentracija O ₂ (mg/l)	Nasičenost O ₂ (%)	pH	Prevodnost (µS/cm)	Koncentracija NO ₃ (mg/l)	Koncentracija PO ₃ (mg/l)	TSS (mg/l)
24.8.2004	P1	16,1	10,6	109	8,2	370	6,3	0,03	4,7
	P2	17,0	10,2	108	8,2	553	6,6	0,04	28,0
	P3	16,7	10,3	108	8,2	425	8,0	0,05	14,9
	P4	/	/	/	/	/	/	/	/
25.11.2004	P1	2,6	13,7	97	8,4	384	7,2	0,04	4,2
	P2	2,9	13,5	96	8,5	553	7,1	0,07	43,9
	P3	3,5	13,5	98	8,4	454	7,7	0,10	2,1
	P4	4,2	10,6	95	8,2	668	5,8	0,13	8,3
13.2.2005	P1	1,9	9,1	70	8,2	348	6,5	0,13	17,4
	P2	1,0	10,1	72	8,2	473	5,6	0,14	21,0
	P3	2,2	11,2	84	8,3	443	6,5	0,12	7,0
	P4	1,1	13,3	100	8,1	396	6,6	0,19	15,1
26.5.2005	P1	19,6	9,8	110	8,8	343	5,2	0,01	2,4
	P2	19,9	10,6	117	8,6	510	8,5	0,02	6,2
	P3	18,8	11,2	126	8,7	408	7,3	0,01	3,0
	P4	20,2	9,1	97	8,4	642	5,2	0,07	1,7
15.9.2005	P1	17,9	11,4	119	8,4	373	8,6	0,01	12,2
	P2	19,0	12,8	137	7,7	460	9,8	0,01	26,8
	P3	18,1	12,7	140	8,5	409	12,1	0,01	19,6
	P4	19,8	11,1	123	6,4	644	7,7	0,06	27,9

Priloga B : Seznam v reki Savinji in reki Voglajni prisotnih taksonov velikih vodnih nevretenčarjev zbranih na vzorčnih mestih P1, P2, P3 in P4 od avgusta 2004 do septembra 2005

TAKSON	VZORČNA MESTA																			
	24.08.2004				25.11.2004				13.02.2005				26.05.2005				15.09.2005			
	P1	P2	P3	P4	P1	P2	P3	P4	P1	P2	P3	P4	P1	P2	P3	P4	P1	P2	P3	P4
OLIGOCHAETA																				
<i>Fam Naididae</i>																				
Nais sp.									175								2			
Nais alpina							1			2					1					
<i>Fam. Tubificidae</i>																				
Tubificidae s ščetinami	5	21	6			46				1		35	2	8		7	1			
Tubificidae brez	16	44	18		1	29	5			1	2	8	1	48	6	4	2	43	8	
<i>Fam. Lumbricidae</i>																				
Stylodrilus heringianus	3	1	34		3		22						5	1	7	1			5	
Stylodrilus sp.	17	32	148		7	50	85					4	5	5	8	16	2	6	28	5
Lumbriculus variegatus		9	27			4							1	14		1				
<i>Fam. Lumbricidae</i>																				
Eiseniella tetraedra	3						4								2				2	
<i>Fam Naididae</i>																				
HIRUDINEA																				
<i>Fam. Erpobdellidae</i>																				
Erpobdella testacea	1	11	5			5	11				1			1	1					
Erpobdella octoculata		2									1				3					
AMPHIPODA																				
<i>Fam. Gammaridae</i>																				
Gammarus fossarum	30	6	36		5	10	26		6	3	10	1	6	11	34		10	7	11	8

se nadaljuje

Priloga B : nadaljevanje

	VZORČNA MESTA																			
	24.08.2004				25.11.2004				13.02.2005				26.05.2005				15.09.2005			
TAKSON	P1	P2	P3	P4	P1	P2	P3	P4	P1	P2	P3	P4	P1	P2	P3	P4	P1	P2	P3	P4
EPHEMEROPTERA																				
Fam.Baetidae																				
Baetis rhodani	3		4		2	18	7		3		2	3	2		2	2	1		4	8
Baetis lutheri			9			3	17		2										9	10
Baetis fuscatus/scambus	42	9	80		2	1					1	1	70	11	42	1	43	2	58	140
Baetis sp.	72	113												10			7			
Baetis buceratus/vernus			3														5		3	11
Fam.Heptageniidae																				
Epeorus sp.																				
Epeorous sylvicola						1														
Rhitrogena sp.							4				1	1								
Ecdyonurus sp.	1					1							1					2		
Heptagenia sulphurea																				
Electrogena sp.						1														
Fam. Leptophlebiidae																				
Habrophlebia fusca														6						
Habrophlebia lauta														3		2				
Habroleptoides confusa									1											
Fam. Potamanthidae																				
Potamanthus sp.	3					1	6						2	8	8					
Fam. Ephemerellidae																				
Ephemerella major						1						1		1						
Ephemerella ignita	15	1	7										40	23	15		2	2		
Ephemerella notata	2																			

se nadaljuje

Priloga B : nadaljevanje

	VZORČNA MESTA																			
	24.08.2004				25.11.2004				13.02.2005				26.05.2005				15.09.2005			
TAKSON	P1	P2	P3	P4	P1	P2	P3	P4	P1	P2	P3	P4	P1	P2	P3	P4	P1	P2	P3	P4
<i>Fam. Caenidae</i>																				
Caenis sp.	7	2	2		1		5			1	1			5	5				2	
PLECOPTERA																				
<i>Fam. Perlodidae</i>																				
Perlodes sp.					2															
<i>Fam. Nemouridae</i>																				
Nemoura sp									1		1									
<i>Fam. Leuctridae</i>																				
Leuctra sp.	164	9	15			7				2			2	1			12	13	7	7
<i>Fam. Taeniopterygidae</i>																				
Brachyptera risi																		2		
ODONATA																				
<i>Fam. Gomphidae</i>																				
Gomphidae vulgatissimus						2														
Onychogomphus forcipatus			1											1						
COLEOPTERA																				
<i>Fam. Gyrinidae</i>																				
Orectochilus villosus													1							
<i>Fam. Elmidae</i>																				
Limnius sp.													2							2
Oulimnius sp.			1																	
Esolus sp. - ličinke	3		3										3		4			1		
Esolus sp.- odrasle	2																			

se nadaljuje

Priloga B : nadaljevanje

TAKSON	VZORČNA MESTA																			
	24.08.2004				25.11.2004				13.02.2005				26.05.2005				15.09.2005			
	P1	P2	P3	P4	P1	P2	P3	P4	P1	P2	P3	P4	P1	P2	P3	P4	P1	P2	P3	P4
MEGALOPTERA																				
<i>Fam. Sialidae</i>																				
Sialis nigripes		1																		
TRICHOPTERA																				
<i>Fam. Rhyacophilidae</i>																				
Rhyacophila sp.																			1	
<i>Fam. Hydroptilidae</i>																				
Hydroptila sp.			1																	
<i>Fam. Hydropsychidae</i>																				
Hydropsyche sp. - juv.	12		12		1	1	4		1		1							3	6	1
Hydropsyche contubernalis	1	2	1			1	4				1							1		1
Hydropsyche incognita	29	2	1			2	2		1	2				4				1	2	
Hydropsyche instabilis												1	1							
Hydropsyche pellucidula														1					1	
<i>Fam. Polycentropodidae</i>																				
Polycentropus flavomaculatus					1															
<i>Fam. Psychomyidae</i>																				
Psychomyia pusilla	8	1	4		3		1		4	3				1						
DIPTERA																				
<i>Fam. Athericidae</i>																				
Atherix ibis			2				2												4	
<i>Fam. Empididae</i>			2																	
Hemerodromia sp.			2																	
Oulimnius sp.																				

se nadaljuje

Priloga B : nadaljevanje

TAKSON	VZORČNA MESTA																			
	24.08.2004				25.11.2004				13.02.2005				26.05.2005				15.09.2005			
	P1	P2	P3	P4	P1	P2	P3	P4	P1	P2	P3	P4	P1	P2	P3	P4	P1	P2	P3	P4
<i>Fam. Tipulidae</i>																				
Tipula sp.							1											„		
<i>Fam. Limonidae</i>																				
Antocha sp.			2		1	6	2		13	2	2				3			1		
Dicranota sp.	1				2		3		10		1				4			2		
Pedicia sp.									4			3								
Limnophilinae	3				2				1		1								4	
<i>Fam. Tabanidae</i>																				
Tabanus sp.	1		1																	
<i>Fam. Simuliidae</i>																				
Simulium sp.					1	4			1	2	7	1	3	1	1	10	1			
<i>Fam. Chironomidae</i>																				
Chironomini	75	87	47			4	4			7		2	7	10	3		5	3	3	5
Tanytarsini	68	69	21		1	1			2	2	1	1	2	1	1			1		4
Orthocladiinae	153	26	71		26	42	4		107	47	108	63	17	124	18	101	27	25	6	46
Tanypodinae	41	7	19			2				7			11	3	4	3	2	1		4
Prodiamesa olivacea		3	7			2				7	1	1		5		1				
Diamesinae		2							6		4	1	2		1	2				2
Vsota vseh taksonov	8	8	9		6	8	6		6	6	7	5	7	8	6	3	5	7	6	7
Vsota vseh osebkov	781	460	592		61	245	220		338	89	147	127	186	307	173	151	122	116	164	254

Priloga C : Zemljevid porečja reke Savinje

