

UNIVERZA V LJUBLJANI  
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA  
ODDELEK ZA BIOLOGIJO

Nina ŠTARKEL

**VPLIV KOVIN NA ZDRUŽBO MAKROINVERTEBRATOV V REKI  
VOGLAJNI**

DIPLOMSKO DELO  
Univerzitetni študij

**THE INFLUENCE OF METALS ON MACROINVERTEBRATE  
COMMUNITY IN THE VOGLAJNA RIVER**

GRADUATION THESIS  
University studies

Ljubljana, 2013

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

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

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik: doc. dr. Primož ZIDAR

Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo

Član: prof. dr. Mihael J. TOMAN

Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo

Član: doc. dr. Igor ZELNIK

Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo

Datum zagovora: 10. 10. 2013

Naloga je rezultat samostojnega 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.

Nina Štarkel

## KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD Dn

DK 556.55:574(497.4)(043.2)=163.6

KG kovine/sediment/bentoški nevretenčarji/vodotok/Voglajna

AV ŠTARKEL, Nina

SA TOMAN, J. Mihael (mentor)

KZ SI-1000, Večna pot 111

ZA Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo

LI 2013

IN VPLIV KOVIN NA ZDRUŽBO MAKROINVERTEBRATOV V REKI  
VOGLAJNI

TD Diplomsko delo (univerzitetni študij)

OP XII, 96 str., 16 pregl., 27 sl., 3 pril., 99 vir.

IJ sl

JI sl/en

AI

Raziskovali smo združbo vodnih nevretenčarjev v močno degradiranem in hidrološko spremenjenem vodotoku Voglajna z večjo vsebnostjo kovin in drugih kemijskih toksikantov. V sedimentu smo analizirali prisotnost kovin (Cr, Cu, Pb, Cd, Ni) in ugotavljali spremembe v združbi bentoških nevretenčarjev. Največjo vrstno pestrost makroinvertebratov smo pričakovali na mestih z najnižjimi koncentracijami kovin v sedimentu. Na reki Voglajni smo izbrali tri vzorčna mesta in referenčno mesto na reki Velunji. Makroinvertebrate in sediment smo vzorčili po akreditiranem in standardiziranem postopku. Merili smo fizikalne in kemijske parametre ter analizirali biološke vzorce. Na reki Voglajni smo določili 50 taksonov, najbolj številčni so bili dvokrilci (Diptera), ki so prevladovali na izvirnem delu ter pred ČN in železarno, in maloščetinci (Oligochaeta), ki so prevladovali na mestu za ČN in železarno. Na dveh mestih so prevladovali detritivori, le na mestu pred ČN in železarno filtratorji. Delež plenilcev se je višal po toku navzdol, delež strgalcev pa nižal. Vrednost Shannon-Wienerjevega diverzitetnega indeksa je bila nepričakovano najvišja na vzorčnem mestu za ČN in železarno (najvišje koncentracije kovin v sedimentu), najnižja vrednost indeksa pa je bila določena na izvirnem delu (najnižje vrednosti kovin v sedimentu). Analiza podobnosti vrstne sestave vzorcev z Bray-Curtisovim in Sørensenovim indeksom je pokazala na veliko razliko med vzorčnimi mesti na reki Voglajni. Po Bray-Curtisovem indeksu sta bila najbolj podobna izvorni del in mesto pred ČN in železarno. Po Sørensenovem indeksu pa je bila najvišja podobnost med izvornim delom in mestom za ČN in železarno.

## KEY WORDS DOCUMENTATION

DN Dn  
DC 556.55:574(497.4)(043.2)=163.6  
CX metals/sediment/benthic invertebrates/river/Voglajna  
AU ŠTARKEL, Nina  
AA TOMAN, J. Mihael (mentor)  
PP SI-1000, Večna pot 111  
PB Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo  
PY 2013  
TI THE INFLUENCE OF METALS ON MACROINVERTEBRATE  
COMMUNITY IN THE VOGLAJNA RIVER  
DT Graduation thesis (University studies)  
NO XII, 96 p., 16 tab., 27 fig., 3 ann., 99 ref.  
LA sl  
AL sl/en  
AB

A community of aquatic macroinvertebrates in a highly degraded and hydrologically modified Voglajna river with high content of metals and other chemical toxicants was investigated. The content levels of metal ions (Cr, Cu, Pb, Cd, Ni) was monitored in the sediment and the changes in the macroinvertebrate community were assessed. The highest macroinvertebrate diversity was predicted for the sites with the lowest levels of metals in the sediment. Three sampling sites were monitored on the Voglajna river and a reference site was chosen on the Velunja river. Accredited and standardized sampling methods were selected for the analysis of macroinvertebrates and the sediment composition. Physical and chemical parameters were measured and biological samples were analyzed. 50 taxa of macroinvertebrates were identified on the Voglajna river. The most numerous were the species of the Diptera group, which dominated at the first and the second site, and the Oligochaeta group, which dominated at the third site. According to feeding groups analysis the dominancy of detritivores was characteristic for two analyzed locations and the filtrators were most abundant on the second site. The percentage of predators increased downstream and the share of filtrators declined. Unexpectedly, the value of Shannon-Wiener index of diversity was highest at the third site (the highest content of metals in the sediment) and lowest at the first site (the lowest content of metals in the sediment). Analysis of Bray-Curtis and Sørensen index showed significant differences among the sites on the Voglajna river. The most similar sites according to Bray-Curtis index were the first and the second site and according to Sørensen index the first and the third sampling site.

## KAZALO VSEBINE

|                                                                   |             |
|-------------------------------------------------------------------|-------------|
| <b>KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA</b>                        | <b>III</b>  |
| Key words documentation                                           | <b>IV</b>   |
| Kazalo vsebine                                                    | <b>VIII</b> |
| Kazalo slik                                                       | <b>IX</b>   |
| Kazalo prilog                                                     | <b>X</b>    |
| Okrajšave in simboli                                              | <b>XI</b>   |
| Slovarček                                                         | <b>XII</b>  |
| <br>                                                              |             |
| <b>1 UVOD</b>                                                     | <b>1</b>    |
| <b>2 PREGLED LITERATURE</b>                                       | <b>3</b>    |
| 2.1 REKA VOGLAJNA IN NJENO PRISPEVNO OBMOČJE                      | 3           |
| 2.1.1 Opis reke Voglajne in njenega porečja                       | 3           |
| 2.1.2 Ocena kemijskega in ekološkega stanja reke Voglajne         | 7           |
| 2.1.3 Zgodovina železarstva v Štorah                              | 9           |
| 2.2 REKA VELUNJA IN NJENO PRISPEVNO OBMOČJE                       | 10          |
| 2.3 STRESORJI                                                     | 11          |
| 2.3.1 Vpliv stresorjev na združbe v vodotoku                      | 11          |
| 2.3.2 Kovine kot stresor                                          | 14          |
| 2.3.2.1 Kadmij (Cd)                                               | 18          |
| 2.3.2.2 Svinec (Pb)                                               | 19          |
| 2.3.2.3 Baker (Cu)                                                | 20          |
| 2.3.2.4 Krom (Cr)                                                 | 21          |
| 2.3.2.5 Nikelj (Ni)                                               | 22          |
| 2.4 USEDLINE                                                      | 23          |
| 2.5 VELIKI VODNI NEVREtenČARJI                                    | 24          |
| 2.5.1 Definicija                                                  | 24          |
| 2.5.2 Vpliv kovin na makroinvertebrate                            | 26          |
| <b>3 MATERIAL IN METODE</b>                                       | <b>29</b>   |
| 3.1 OPIS VZORČNIH MEST                                            | 29          |
| 3.1.1 Vzorčno mesto izvirni del (Vog Slivn. j.)                   | 30          |
| 3.1.2 Vzorčno mesto pred čistilno napravo in železarno (Vog PRED) | 31          |
| 3.1.3 Vzorčno mesto za čistilno napravo in železarno (Vog ZA)     | 32          |
| 3.1.4 Vzorčno mesto na reki Velunji                               | 33          |
| 3.2 VZORČENJE IN DOLOČANJE MAKROINVERTEBRATOV                     | 34          |
| 3.3 VZORČENJE SEDIMENTA                                           | 35          |
| 3.4 PRIPRAVA VZORCEV IN ANALIZA SEDIMENTA                         | 35          |
| 3.5 MERITVE OKOLJSKIH SPREMENLJIVK                                | 36          |
| 3.5.1 Hidromorfološki parametri                                   | 36          |
| 3.5.1.1 Globina                                                   | 36          |
| 3.5.1.2 Substrat                                                  | 36          |
| 3.5.2 Fizikalni in kemijski parametri                             | 37          |
| 3.5.2.1 Barva vode                                                | 38          |

|         |                                                                               |    |
|---------|-------------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.5.2.2 | Vonj vode                                                                     | 38 |
| 3.5.2.3 | pH                                                                            | 38 |
| 3.5.2.4 | Temperatura in motnost vode                                                   | 39 |
| 3.5.2.5 | Koncentracija raztopljenega kisika in nasičenost s kisikom                    | 39 |
| 3.5.2.6 | Elektroprevodnost                                                             | 40 |
| 3.5.2.7 | Koncentracija nitratnih ionov                                                 | 40 |
| 3.5.2.8 | Koncentracija ortofosfatnih ionov                                             | 41 |
| 3.5.2.9 | Sušina, skupne suspendirane snovi, skupne raztopljene snovi in organske snovi | 42 |
| 3.6     | BIOLOŠKE IN STATISTIČNE ANALIZE                                               | 43 |
| 3.6.1   | <b>Analiza sestave združbe makroinvertebratov</b>                             | 43 |
| 3.6.2   | <b>Deleži osebkov posameznih višjih taksonomskih skupin</b>                   | 43 |
| 3.6.3   | <b>Deleži prehranskih skupin</b>                                              | 44 |
| 3.6.4   | <b>Shannon-Wienerjev diverzitetni indeks</b>                                  | 44 |
| 3.6.5   | <b>Klastrska analiza združbe makroinvertebratov</b>                           | 45 |
| 3.6.5.1 | Bray- Curtisov indeks                                                         | 45 |
| 3.6.5.2 | Sørensenov indeks podobnosti                                                  | 46 |
| 4       | <b>REZULTATI</b>                                                              | 47 |
| 4.1     | ANALIZA SEDIMENTA                                                             | 47 |
| 4.2     | MERITVE OKOLJSKIH SPREMENLJIVK                                                | 49 |
| 4.2.1   | <b>Hidromorfološki parametri</b>                                              | 49 |
| 4.2.1.1 | Globina in širina struge                                                      | 49 |
| 4.2.1.2 | Substrat                                                                      | 50 |
| 4.2.2   | <b>Fizikalni in kemijski parametri</b>                                        | 51 |
| 4.2.2.1 | Barva in vonj                                                                 | 51 |
| 4.2.2.2 | pH                                                                            | 52 |
| 4.2.2.3 | Temperatura vode in motnost                                                   | 52 |
| 4.2.2.4 | Koncentracija kisika in nasičenost s kisikom                                  | 53 |
| 4.2.2.5 | Elektroprevodnost                                                             | 54 |
| 4.2.2.6 | Koncentracija nitratnih ionov                                                 | 55 |
| 4.2.2.7 | Koncentracija ortofosfatnih ionov                                             | 56 |
| 4.2.2.8 | Sušina, skupne suspendirane snovi, skupne raztopljene snovi in organske snovi | 56 |
| 4.3     | BIOLOŠKE IN STATISTIČNE ANALIZE                                               | 57 |
| 4.3.1   | <b>Analiza sestave združbe makroinvertebratov</b>                             | 57 |
| 4.3.2   | <b>Delež osebkov posameznih višjih taksonomskih skupin</b>                    | 58 |
| 4.3.3   | <b>Sestava prehranskih skupin makroinvertebratov</b>                          | 61 |
| 4.3.4   | <b>Shannon-Wienerjev diverzitetni indeks</b>                                  | 62 |
| 4.3.5   | <b>Klastrska analiza združbe makroinvertebratov</b>                           | 64 |
| 4.3.5.1 | Bray – Curtisov indeks                                                        | 64 |
| 4.3.5.2 | Sørensenov indeks podobnosti                                                  | 66 |
| 5       | <b>RAZPRAVA IN SKLEPI</b>                                                     | 67 |
| 5.1     | RAZPRAVA                                                                      | 67 |
| 5.1.1   | <b>Sediment in vsebnost kovin</b>                                             | 67 |
| 5.1.2   | <b>Hidromorfološki, fizikalni in kemijski parametri</b>                       | 69 |
| 5.1.3   | <b>Biološke in statistične analize</b>                                        | 75 |
| 5.1.3.1 | Analiza sestave združbe in Shannon-Wienerjev diverzitetni indeks              | 75 |

|          |                           |           |
|----------|---------------------------|-----------|
| 5.1.3.2  | Klastrska analiza združbe | 78        |
| <b>6</b> | <b>SKLEPI</b>             | <b>80</b> |
| <b>7</b> | <b>POVZETEK</b>           | <b>82</b> |
| <b>8</b> | <b>VIRI</b>               | <b>84</b> |

## **PRILOGE**

## KAZALO PREGLEDNIC

|                                                                                                                                                                     |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Preglednica 1: Razvrstitev anorganskega substrata po velikosti delcev (po AQUEM, 2002) .....                                                                        | 37 |
| Preglednica 2: Razvrstitev organskih substratov (po AQUEM, 2002) .....                                                                                              | 37 |
| Preglednica 3: Kakovost vodnega okolja v odvisnosti od vrednosti Shannon-Wienerjevega diverzitetnega indeksa (po Wilhm&Dorris, 1966, cit. po Washington, 1984)..... | 45 |
| Preglednica 4: Hidromorfološki parametri za tri vzorčna mesta na reki Voglajni in za vzorčno mesto na reki Velunji.....                                             | 49 |
| Preglednica 5: Deleži organskega substrata na treh vzorčnih mestih na reki Voglajni in na vzorčnem mestu na reki Velunji.....                                       | 51 |
| Preglednica 6: Lastna barva in vonj vode na treh vzorčnih mestih na reki Voglajni in na vzorčnem mestu na reki Velunji.....                                         | 52 |
| Preglednica 7: pH vode na treh vzorčnih mestih na reki Voglajni in na vzorčnem mestu na reki Velunji .....                                                          | 52 |
| Preglednica 8: Temperatura vode na treh vzorčnih mestih na reki Voglajni in na vzorčnem mestu na reki Velunji.....                                                  | 52 |
| Preglednica 9: Motnost vode na treh vzorčnih mestih na reki Voglajni in na vzorčnem mestu na reki Velunji.....                                                      | 53 |
| Preglednica 10: Koncentracija kisika in nasičenost s kisikom na vzorčnem mestu na Velunji .....                                                                     | 54 |
| Preglednica 11: Elektroprevodnost vode na treh vzorčnih mestih na reki Voglajni in na vzorčnem mestu na reki Velunji.....                                           | 54 |
| Preglednica 12: Koncentracija nitratov na treh vzorčnih mestih na reki Voglajni in na vzorčnem mestu na reki Velunji.....                                           | 55 |
| Preglednica 13: Koncentracija ortofosfatov na treh vzorčnih mestih na reki Voglajni in na vzorčnem mestu na reki Velunji.....                                       | 56 |
| Preglednica 14: Vrednosti sušine, TDS, TSS in organskih snovi na treh vzorčnih mestih na reki Voglajni in na vzorčnem mestu na reki Velunji.....                    | 56 |
| Preglednica 15: Število osebkov in število taksonov na vzorčnem mestu na reki Velunji .                                                                             | 58 |
| Preglednica 16: Vrednosti Shannon-Wienerjevega diverzitetnega indeksa na nivoju družine in rodu na vzorčnem mestu na reki Velunji.....                              | 63 |

## KAZALO SLIK

|                                                                                                                                                                                                                                                 |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Slika 1: Možni odzivi združbe na spremembo okolja (Urbanič in Toman, 2003) .....                                                                                                                                                                | 13 |
| Slika 2: Vpliv onesnaževal na organizme in ekosistem (prirejeno po Connel in Miller, 1984).....                                                                                                                                                 | 14 |
| Slika 3: Faktorji, ki vplivajo na toksičnost kovin (prirejeno po Bryan, 1976, cit. po Föstner in Wittmann, 1976).....                                                                                                                           | 17 |
| Slika 4: Shematski prikaz nekaterih glavnih vplivov na sediment znotraj rečne struge (prirejeno po Owens in sod., 2004, cit. po Sediment dynamics..., 2007).....                                                                                | 24 |
| Slika 5: Ortofoto posnetek z označenim prvim vzorčnim mestom na Voglajni, 230 m nižje od iztoka Slivniškega jezera .....                                                                                                                        | 30 |
| Slika 6: Ortofoto posnetek z označenim drugim vzorčnim mestom na Voglajni, 440m nižje od avtomatske merilne postaje Črnlolica.....                                                                                                              | 31 |
| Slika 7: Ortofoto posnetek z označenim tretjim vzorčnim mestom na Voglajni, 670 m pred mostom čez Voglajno na Teharski cesti .....                                                                                                              | 33 |
| Slika 8: Ortofoto posnetek z označenim četrtim vzorčnim mestom na Velunji, 282 m dolovodno od mostu čez glavno cesto Šoštanj - Škale v kraju Gaberke .....                                                                                      | 34 |
| Slika 9: Vsebnost kovin v sedimentu na treh vzorčnih mestih na reki Voglajni.....                                                                                                                                                               | 47 |
| Slika 10: Koncentracije kovin glede na tri vzorčna mesta na reki Voglajni .....                                                                                                                                                                 | 48 |
| Slika 11: Koncentracije kovin v sedimentu na vzorčnem mestu na reki Velunji.....                                                                                                                                                                | 48 |
| Slika 12: Deleži anorganskega substrata na treh vzorčnih mestih na reki Voglajni.....                                                                                                                                                           | 50 |
| Slika 13: Deleži anorganskega substrata na vzorčnem mestu na reki Velunji .....                                                                                                                                                                 | 50 |
| Slika 14: Koncentracija kisika na treh vzorčnih mestih na reki Voglajni .....                                                                                                                                                                   | 53 |
| Slika 15: Nasičenost vode s kisikom na treh vzorčnih mestih na reki Voglajni .....                                                                                                                                                              | 54 |
| Slika 16: Koncentracija nitratov na treh vzorčnih mestih na reki Voglajni .....                                                                                                                                                                 | 55 |
| Slika 17: Število osebkov na treh vzorčnih mestih na reki Voglajni.....                                                                                                                                                                         | 57 |
| Slika 18: Število taksonov na treh vzorčnih mestih na reki Voglajni .....                                                                                                                                                                       | 58 |
| Slika 19: Deleži osebkov višjih taksonomskih skupin na treh vzorčnih mestih na reki Voglajni .....                                                                                                                                              | 59 |
| Slika 20: Deleži osebkov višjih taksonomskih skupin na vzorčnem mestu na reki Velunji.....                                                                                                                                                      | 60 |
| Slika 21: Deleži prehranskih skupin na treh vzorčnih mestih na reki Voglajni .....                                                                                                                                                              | 61 |
| Slika 22: Deleži prehranskih skupin na vzorčnem mestu na reki Velunji.....                                                                                                                                                                      | 62 |
| Slika 23: Vrednosti Shannon-Wienerjevega diverzitetnega indeksa na nivoju družine na treh vzorčnih mestih na reki Voglajni .....                                                                                                                | 62 |
| Slika 24: Vrednosti Shannon-Wienerjevega diverzitetnega indeksa na nivoju rodu na treh vzorčnih mestih na reki Voglajni.....                                                                                                                    | 63 |
| Slika 25: Dendrogram podobnosti štirih vzorcev nevretenčarjev, nabranih na treh vzorčnih mestih na reki Voglajni in enem vzorčnem mestu na reki Velunji. Uporabili smo Bray-Curtisov indeks podobnosti .....                                    | 64 |
| Slika 26: Dendrogram podobnosti štirih vzorcev nevretenčarjev, nabranih na treh vzorčnih mestih na reki Voglajni in enem vzorčnem mestu na reki Velunji. Uporabili smo Bray-Curtisov indeks podobnosti na osnovi logaritmiranih vrednosti ..... | 65 |
| Slika 27: Dendrogram različnosti štirih vzorcev nevretenčarjev, nabranih na treh vzorčnih mestih na reki Voglajni in enem vzorčnem mestu na reki Velunji. Uporabili smo Sørensenov indeks .....                                                 | 66 |

## KAZALO PRILOG

Priloga A: Seznam in številčnost taksonov makroinvertebratov na treh vzorčnih mestih na reki Voglajni in na vzorčnem mestu na reki Velunji

Priloga B: Izmerjene vrednosti fizikalnih in kemijskih parametrov na treh vzorčnih mestih na reki Voglajni in na vzorčnem mestu na reki Velunji

Priloga C: Zemljevid treh vzorčnih mest na reki Voglajni (Vog. Slivn. j., Vog PRED, Vog ZA) (Vir: [http://gis.arso.gov.si/atlasokolja/profile.aspx?id=Atlas\\_Okolja\\_AXL@Arso](http://gis.arso.gov.si/atlasokolja/profile.aspx?id=Atlas_Okolja_AXL@Arso))

## OKRAJŠAVE IN SIMBOLI

Ag – srebro

Al – aluminij

As – arzen

Au – zlato

BCF – bioconcentration factor; faktor biokoncentracije

Cd – kadmij

Co – kobalt

Cr – krom

Cu – baker

ČN – čistilna naprava

Fe – železo

Hg – živo srebro

Mo – molibden

Ni – nikelj

P – fosfor

Pb – svinec

S – žveplo

Sb – antimon

Se – selen

TDS – total dissolved solids; skupne raztopljene snovi

Ti – titan

TiO<sub>2</sub> – titanov dioksid

TSS – total suspended solids; skupne suspendirane snovi

U – uran

W – volfram

Zn – cink

## **SLOVARČEK**

LETALNA TOKSIČNOST – strupenost, ki ima za posledico smrt organizma

SUBLETALNA TOKSIČNOST – strupenost, ki v organizmu povzroča škodljive učinke, in ne povzroči nujno smrti organizma

AKUTNA TOKSIČNOST – strupenost, katere učinki se pokažejo zelo hitro, običajno v nekaj dneh po izpostavljenosti toksični snovi

KRONIČNA TOKSIČNOST – strupenost, katere učinki se pokažejo šele čez čas (tedni, meseci, leta)

## 1 UVOD

Celinski vodni ekosistemi so edinstveni habitati z značilno floro in favno, stabilni, pa vendar zelo občutljivi na spremembe v okolju, še posebno na tiste, ki jih nekontrolirano povzroča človeška družba. Največje kulture so nastajale ob velikih rekah, začetek industrijske revolucije so omogočile tekoče vode in žalostno je dejstvo, da jih je industrija marsikje uničila (Toman, 1995).

Dogajanja v kopnih ekosistemih, posebej delovanje človeka, usodno vplivajo na spremembe dogajanj v vodnih okoljih. Vplivi prispevnega kopnega okolja odločujoče določajo delovanje vodnih ekosistemov, preprosto vplivajo na njihove naravne lastnosti. Bremena kopnih ekosistemov postanejo bremena vodnih (Toman, 2008).

Kovine predstavljajo grožnjo vodnim ekosistemom, saj se običajno ne odstranijo iz okolja z naravnimi procesi, poleg tega pa se akumulirajo v sedimentu, iz katerega se lahko sproščajo in se pomikajo po prehranski verigi ter dosežejo človeka, pri katerem povzročajo kronična in akutna obolenja (Förstner in Wittmann, 1976).

Reka Voglajna, ki teče skozi železarsko mesto Štore pri Celju, je že dolga leta obremenjena zaradi industrijske dejavnosti v prispevnem območju. V reki se nalagajo strupene kovine, njihova vsebnost je najvišja v sedimentu. Vplivajo na bentoške združbe, najpogosteje kronično. Močno so jim izpostavljeni različni makroinvertebrati, ki so pomemben člen rečnih prehranjevalnih verig.

Namen naloge je bil ugotoviti, kakšen je vpliv različnih kovin na prisotne organizme v reki Voglajni, kako se to odraža na številčnosti osebkov in na številu prisotnih taksonov. V ta namen smo na reki Voglajni izbrali tri različna vzorčna mesta z različnim prispevnim območjem, na katerih smo opravili enkratno poletno vzorčenje. Za primerjavo smo si izbrali referenčno mesto na reki Velunji pri Šoštanju.

Cilji diplomskega dela so bili:

- spoznati združbo vodnih makroinvertebratov v močno degradiranem in tudi hidrološko spremenjenem okolju ter na referenčnem mestu,
- analizirati prisotnost in vsebnost naslednjih kovin v sedimentu: Cr, Cu, Pb, Cd in Ni,
- povezati zgradbo združbe makroinvertebratov z vsebnostjo kovin v reki Voglajni in spremembe v združbi zaradi prisotnosti kovin; s kemijskimi analizami in analizo bentoških organizmov določiti ekološko stanje vodnega ekosistema.

Delovne hipoteze so bile naslednje:

- najvišje koncentracije kovin v sedimentu določajo najmanjšo vrstno pestrost makroinvertebratov,
- nizka vrstna pestrost je posledica koncentracij kovin nad zakonsko dovoljenimi vrednostmi,
- največjo vrstno pestrost makroinvertebratov pričakujemo na vzorčnem mestu na Voglajni z najnižjo koncentracijo kovin v sedimentu.

## 2 PREGLED LITERATURE

### 2.1 REKA VOGLAJNA IN NJENO PRISPEVNO OBMOČJE

#### 2.1.1 Opis reke Voglajne in njenega porečja

Voglajna je 35 km dolga reka, njeno porečje pa obsega 412 km<sup>2</sup>. Izvir reke je hkrati iztok iz Slivniškega jezera, t. j. na skrajnem SZ kraku jezera, nastane pa z združitvijo Ločnice na SV delu in Drobinskega potoka na JV delu Slivniškega jezera. Pred izgradnjo jezua je po tem območju tekkel manjši potok Ločnica, v katerega se je na današnjem Z delu jezera izlival Drobinski potok. Takratna Ločnica se je na obrobju naselja Voglajna pri Šentjurju izlivala v takratno Voglajno, ki je imela več izvirov v hribovjih med Šentrupertom, Malo Brezo, Kostivnico in Trobnim dolom. Štraus (2006) navaja, da ima Voglajna več izvirov med Kozjanskimi hribi, teče čez Slivniško jezero, nato pa se iz njega izliva in vijuga po Voglajnski dolini. Slivniško jezero je umetnega nastanka. V letih med 1968 in 1972 so inženirji iz Železarne Štore načrtovali izgradnjo zajetja vode, ki bi »potopila« skoraj nič vredno dolino. Jez so leta 1975 zaprli, da bi preverili, če drži vodo. Tako je nastalo akumulacijsko jezero, ki je v takratnem času zagotavljalo tehnološke vode za Železarno Štore, hkrati pa varovalo dolino pred poplavami (Artiček, 2005). Limnološke raziskave kažejo, da je jezero v močno eutrofnem stanju, kar pa nikakor ni ugodno za pestro in stabilno populacijo ihtiofavne (Štraus, 2006).

Reka Voglajna ima panonski snežno–dežni režim s primarnim viškom novembra in decembra ter s sekundarnim marca (Žiberna, 2009). Iz Hidrološkega letopisa Slovenije 2009 (2012) lahko za to leto razberemo podatek, da je najvišji vodostaj reke Voglajne na merilni postaji Črnolica znašal 72 cm (5. 2. 2009), najnižji pa 45 cm (10. 9. 2009). Hkrati z najvišjim vodostajem so izmerili tudi največji pretok, ki je znašal 3,202 m<sup>3</sup>/s. Leta 2007 pa je najvišji vodostaj znašal kar 146 cm (3. 1. in 6. 3. 2007), kar je enkrat višji kot dve leti za tem. Največji pretok leta 2007, pri vodostaju 52 cm, pa je bil zelo nizek, in sicer le 0,61 m<sup>3</sup>/s (Hidrološki letopis..., 2010).

Območje reke Voglajne od pregrade Tratna do izliva s Savinjo sodi v območje Natura 2000. Voglajna ima od iztoka iz Slivniškega jezera do izliva v Savinjo pretežno ohranjeno naravno morfologijo in potek struge. Kljub temu, da okoliške kmetijske površine včasih segajo prav do roba brežine, ima v večjem delu ohranjeno strukturirano obrežno vegetacijo. Vodotok je življenjski prostor večjega števila ogroženih živalskih vrst: zlate nežice, pezdirka, blistavca, bolena in navadnega škržka (Natura, b. l.). Voglajna je od pregrade Tratna do Prožinske vasi opredeljena kot naravna vrednota (Naravne vrednote, b. l.), skupaj s Slivniškim jezerom pa je opredeljena tudi kot ekološko pomembno območje, saj vodotok predstavlja življenjski prostor ogroženih vrst rib, umetna akumulacija s trstišči pa je življenjski prostor ptic in dvoživk (Ekološko pomembna območja, b. l.).

Reka Voglajna na poti iz Slivniškega jezera proti Celju teče skozi raznoliko krajino, na tej poti pa se vanjo izliva nekaj večjih in precej manjših vodotokov. Na iztoku iz Slivniškega jezera je značaj reke precej hudourniški, saj je struga ozka in kar precej globoka (približno 30–50 cm), po dobrih 500 metrih pa se tok reke umiri, globina vode pa se precej zniža (15–20 cm). Krajino v zgornjem toku reke večinoma sestavljajo obširni travniki, tudi pašniki in njive, med katerimi so posamezna gospodarska poslopja. Do naselja Črnllica ostane krajina dokaj podobna, poveča se delež kmetij, več je tudi njiv napram travnikom. Tudi obrežna vegetacija reke do Črnllice je dokaj nespremenjena, bregovi so porasli z drevjem, grmičevjem in podrastjo (po večini trave, prave koprive, različne cvetnice). V svojem zgornjem toku dobi Voglajna prvi pritok, t. j. potok Ločica, ki je levi pritok in se v reko izliva na južnem delu naselja Gorica pri Slivnici. Nekaj kilometrov naprej pri kraju Voglajna se v reko izliva Jezerščica, ki je prav tako levi pritok Voglajne. Na poti proti Šentjurju teče Voglajna pod vznožjem Rifnika (568 m), kjer se vanjo izlivajo manjši potoki, ki pa nimajo bistvenega pomena. Voglajna od kraja Črnllica do Šentjurja teče skozi bolj poseljeno območje, prisotna je obrtna dejavnost, zaledje pa še vedno predstavljajo travniki in njive, katerih značilnost je intenzivna obdelava in uporaba pesticidov. Pri naselju Črnllica je na Voglajni postavljena avtomatska hidrološka postaja, ki meri pretok, vodostaj in temperaturo vode (Hidrološki letopis..., 2010). Vzhodno od Šentjurja se iz desne strani v Voglajno izliva Slomščica, v obrtni coni pa še Pešnica (desni pritok) in Kozarica (levi pritok). Od Šentjurja dalje se struga Voglajne precej razširi, do

Štor pa ne dobi nobenega pomembnega pritoka. Reka Hudinja, ki se v Voglajno izliva v industrijskem predelu Celja na njegovem jugovzhodnem obrobju, je zadnji in hkrati največji pritok reke, preden se pri kraju Polule kot levi pritok izlije v Savinjo. Brežine, ponekod pa tudi struga reke, so od Štor do Celja umetno narejene iz kamnitih blokov. Štraus (2006) navaja, da je kar 50 km povodja Voglajne reguliranega brez funkcionalnih pragov, jezov in drugih ribiških objektov, občutno zmanjšala pa sta se tudi površina in volumen vode.

Pokrajina ob Voglajni od vzhoda proti zahodu prehaja iz nižjega gričevnatega, subpanonskega sveta v Celjsko kotlino, ki je tipično predalpska (Ilešič, 1973). Zgornji in srednji tok Voglajne pripadata Voglajnsko-Zgornjesotelskem območju, ki obsega dokaj širok pas terciarnega gričevja v podaljšku Celjske kotline in to v podolgovatem okviru, ki ga pomenijo Konjiško – Boško hribovje na severu ter najbolj severni niz posavskih osamelcev (Resevna, Rifnik, Rudnica) na jugu. Samo Voglajnsko območje, katerega os je dolina Voglajne, na jugu, za ozkim Rifniškim podgorjem, kmalu zapre prekinjena hribovita pregraja Resevne, Rifnika in Žusma. Na severu pa se nad Voglajno terciarni svet razširi v obsežne Drameljske in Ponikevske gorice, segajoče daleč v prigorje Konjiške gore (Ilešič, 1973). Spodnji tok Voglajne, to iz Štor proti Celju, pa pripada obširni Savinjski ravnini, ki jo na severu omejujeta Hudinjsko in Ložniško gričevje, na jugu pa severno obrobje Posavskega hribovja z Mrzliškim pogorjem (Mrzlica, Gozdnik) (Perko in Orožen Adamič, 2001).

Podnebje Voglajnsko–Zgornjesotelskega območja je subpanonsko, na prehodu iz predalpskega v panonsko (Ilešič, 1973). Na zahodnem delu je nekoliko omiljeno zmerno celinsko podnebje, vzhodni del pa ima sočasno z zniževanjem gričevja vse več potez, značilnih za subpanonsko celinsko podnebje. Za tukajšnje podnebje je pomembna višinska razlika med dolinskim dnom in gričevnatimi slemen. Že nekaj 10 metrov nad dolinskim dnom se ne pobočjih vzdolž gričevnatih slemen vleče toplotni pas, kjer so vse srednje in maksimalne temperature višje, dnevna in sezonska nihanja pa manjša kot v dnu dolin. Zime so dokaj mrzle, poletja pa ne posebej vroča. Letna količina padavin je med 1000 in 1200 mm in se proti vzhodu območja rahlo znižuje. V Voglajnski dolini s peščeno-

prodnimi nanosi so se razvile rjave obrežne prsti ali pa oglejene prsti z velikim deležem ilovice in gline. Na območjih proti Štoram so se na predelih z andezitnimi tufi razvile silikatne prsti, na apnenčasti podlagi pa rjave karbonatne prsti. Podnebje Savinjske ravnine pa na drugi strani kaže izrazit prehod med alpskimi, celinskimi in sredozemskimi vplivi, ki ga lahko opredelimo kot zmerno celinsko podnebje. Povprečna letna količina padavin je med 1100 in 1250 mm, količina padavin pa pojema od zahoda proti vzhodu. Povprečna letna temperatura je med 8,5 in 9,1 °C in narašča od zahoda proti vzhodu. Reliefna zaprtost ravni vpliva na onesnaževanje ozračja, še zlasti v vzhodnem delu. Toplotni obrat, celjska industrija, veliko meglenih dni in prevlada brezvetrja povečujejo onesnaženost okolja. Najbolj razširjena prst na tem območju je rjava naplavljen (aluvialna) prst, ki je na glinasti in ilovnati podlagi slabše prepustna in slabo zračna. Voda tu pogosto zastaja in povzroča oglejene in psevdoglejene prsti (Perko in Orožen Adamič, 2001).

Iz geološke karte (Nosan, 1963) za dolino Voglajne na Voglajnsko – Sotelskem območju razberemo, da podlago Slivniškega jezera in območja zgornjega toka Voglajne do Črnoalice po večini sestavljajo kremenov porfir, kremenov keratofit, porfirit in njihovi tufi, v manjši meri pa se pojavljajo soteški skladi, laporasta glina s polami sivice in peščenjaka ter temno siv bituminozen lapor. Halocenske in recentne naplavine so tukaj redke, zato pa nasprotno na področju Voglajne od Črnoalice do Šentjurja predstavljajo največji delež kamnin, ki se zmanjšuje po toku navzdol proti Štoram. Na desnem bregu Voglajne med Šentjurjem in Štorami sta prisotna še lapor in peščeni lapor, v okolici Štor še andezit in andezitni tuf, na levem bregu pa apnenčev peščenjak, litotamnijski apnenec in konglomerat. Perko in Orožen Adamič (2001) pa za skrajni zahodni del Savinjske ravnine najajata, da to območje po večini predstavljajo kvartarne usedline, sestavljene predvsem iz karbonatnega peska in prod, na robu ravnine, ki prehaja v pobočje gričevnatega sveta, pa prevladujejo silikatni prod in ilovice iz pliocena in pleistocena.

### **2.1.2 Ocena kemijskega in ekološkega stanja reke Voglajne**

Intenzivno onesnaževanje Voglajne predvsem v okolici Celja sega v 70. leta prejšnjega stoletja. Pred tem časom, v 50. in 60. letih, pa je bila Voglajna še zelo čista (Križanec, 2008).

Štraus (2006) za leto 2006 navaja, da so izvorni deli povodja Voglajne še v 1. in 2. kakovostnem razredu, srednji in spodnji del pa po večini v 3., ponekod tudi v 4., na račun industrije in obrti, intenziviranja kmetijske pridelave ter predelave, urbanizacije in odsotnosti čiščenja odpadnih voda. Od leta 1976 dalje beležijo na Voglajni s pritoki 319 izlivov okolju nevarnih in škodljivih snovi, ki so imeli za posledico pogine rib, rakov, žab, piškurjev, školjk ter drugih vodnih organizmov (Štraus, 2006). Iz prizadetih predelov voda so tako povsem izginile številne vrste.

Voglajna se je s Hudinjo (spodnji in srednji tok) v obdobju 1989-1998 uvrščala med najbolj onesnažene površinske vodotoke (prevladoval je 3.-4. in 4. razred), saj je odvajala delno prečiščene ali neprečiščene odpadne vode naselij, industrije in živinorejskih farm (Plut, 2002). Podobno sliko pokaže tudi pregled poročil monitoringov površinskih vod v Sloveniji (Monitoring kakovosti..., 2003, 2004, 2005, 2006 in 2007; Ocena ekološkega..., 2010; Ocena stanja rek..., 2012) med leti 1995 in 2010. Ugotovimo, da je Voglajna med letoma 1995 in 2003 spadala v 3., ponekod tudi v 4. kakovostni razred. Leta 2003 so jo uvrstili v 4. kakovostni razred predvsem zaradi povišanih vsebnosti kovin (Ni, Pb, Zn in Cd) v vodi na vzorčnem mestu Celje. Omenjeno vzorčno mesto je bilo med vsemi, ki so jih spremljali, eno izmed najbolj onesnaženih v letu 2003. V obdobju od leta 2003 do leta 2010 pa se je kakovost reke postopoma pričela izboljševati. Za leto 2004 so sicer še potrdili slabo kemijsko stanje zaradi previsokih vrednosti kovin v vodi, a že naslednje leto se je kemijsko stanje izboljšalo, prav tako v prihodnjih letih. Leta 2005 so po spremembi zakonodaje prvič ugotavljali tudi ekološko stanje rek. Med letoma 2005 in 2010 so tako za Voglajno ugotovili dobro, na nekaterih mestih tudi zelo dobro ekološko stanje, le za leto 2005 je bilo ugotovljeno zmerno ekološko stanje zaradi preseženih vrednosti kovin (predvsem Co in Zn) in sulfata v vodi.

Vsebnost kovin se v sedimentu reke Voglajne pred letom 2003 ni določala, merili so le vsebnost kovin v vodi. Leta 2003 so prvič analizirali tudi sediment in ugotovili izredno povišane vrednosti Zn. Njegova koncentracija je znašala kar 11.000 mg/kg. Povišane vrednosti so beležili še za Cu (150 mg/kg), Cd (85 mg/kg), Ni (160 mg/kg), Pb (73 mg/kg) in Hg (0,54 mg/kg) (Monitoring kakovosti..., 2005).

Če podatke monitoringov na reki Voglajni za obdobje 2001–2010 primerjamo s tistimi za Savinjo, lahko na prvi pogled ugotovimo, da je bilo le za leto 2001 ugotovljeno slabo kemijsko stanje reke Savinje, v naslednjih letih pa se stanje izboljšalo in je bilo ocenjeno za dobro (Monitoring kakovosti..., 2003, 2004, 2005, 2006 in 2007; Ocena ekološkega..., 2010; Ocena stanja rek..., 2012). Poleg tega so na reki Savinji ugotavljali vsebnost kovin v vodi in v sedimentu. Povišane vsebnosti nekaterih kovin v sedimentu so tako zaznali med leti 2001 in 2005 (Monitoring kakovosti..., 2003, 2004, 2005, 2006 in 2007). Največ preseženih vrednosti je bilo, zanimivo, opaženo v letu 2003 na merilnem mestu Veliko Širje. Tega leta je bilo namreč tudi za Voglajno ugotovljeno izredno slabo kemijsko stanje na račun kovin (Monitoring kakovosti..., 2005).

Danes se je stanje Voglajne že precej izboljšalo, vzroke pa gre iskati v večji ozaveščenosti prebivalcev ter zmanjševanju števila stalnih onesnaževalcev in obsega onesnaževanja (Štraus, 2006). Velik del pa je prispevala tudi izgradnja čistilne naprave na Voglajni zahodno od Šentjurja, v naselju Hruševce. Kodrnja (2012) je ugotavljala vpliv čistilne naprave na združbo makroinvertebratov v reki Voglajni, na kateri si je izbrala tri vzorčna mesta, od katerih je najbolj relevantno mesto za iztokom iz čistilne naprave. Ugotovila je, da je število osebkov in taksonov na vzorčnem mestu tik za iztokom iz čistilne naprave po zagonu čistilne naprave povečalo v primerjavi z vzorčenjem na istem mestu leto pred tem. Stanje vodotoka se je v letu 2010 zaradi delovanja čistilne naprave Šentjur in nanj vezanega največjega onesnaževalca z organskimi snovmi (klavnice), izboljšalo na vzorčnem mestu pred čistilno napravo in za iztokom iz nje (Kodrnja, 2012).

### 2.1.3 Zgodovina železarstva v Štorah

V času industrijske revolucije so bile ustanovljene tovarne, katerih začetki so posledica izgradnje železnice, ki je povezala Celje, Maribor in Ljubljano s Trstom, Gradcem in Dunajem (Oder, 2011). Leta 1873 je bila ustanovljena Cinkarna Celje, ki je bilo do leta 1968 pretežno metalurško podjetje, po tem se je proizvodna dejavnost preusmerila na proizvodnjo in trženje pigmenta  $\text{TiO}_2$  (Zgodovina podjetja, b. l.). Dobrih 20 let po ustanovitvi cinkarne so ustanovili tovarno posode Emo, ki se je do obeh vojn specializirala za izdelovanje posode (Zgodovina, b. l.).

V Štorah pri Celju segajo začetki težke metalurške industrije v leto 1851, ko je Avstrijec Friedrich Bruno Andrieu zgradil valjarno in pudlarno v Štorah, kasneje pa so dozidali še livarno in kovačnico s parnimi stroji. Prvo večjo prenovo je železarna doživela tik pred prvo svetovno vojno, ko so parne stroje zamenjali s stroji na električno energijo, drugo pa pred drugo svetovno vojno, ko so ustanovili obrat za vlivanje cevi, s čimer je železarna v Štorah postala največja livarna v Sloveniji. V 50. letih so začeli s proizvodnjo vzmeti in specialnih profilov, obratovati pa je začel tudi sodoben in zmogljiv elektroplavž. Leta 1959 je podjetje prešlo v državno last in v Štorah so prvi v Jugoslaviji začeli s proizvodnjo valjev iz t.i. nodularne litine. Po drugi svetovni vojni so Štore z železarno postale eno izmed treh železarskih središč v Sloveniji. Ob osamosvojitvi Slovenije se je Železarna Štore razdelila na več manjših podjetjih, ki še danes nadaljujejo bogato železarsko tradicijo v Štorah, med njimi tudi Štore Steel (Oder, 2011).

Desetletja obratovanja industrije v celjski kotlini so se že v preteklosti kazale v povišanih koncentracijah kovin v sedimentih reke Voglajne, kar so potrdile številne raziskave, prva med njimi Štern in Förstner (1976), ko sta raziskovalca ugotovila, da je bila Voglajna ena najbolj onesnaženih rek tistega časa v Sloveniji. V vzorcu sedimenta iz Voglajne pri Skalni kleti v Celju sta izmerila za več kot 100x povišane vrednosti Cr in Zn, vrednosti Cu, Pb in Cd pa so bile povišane za faktor 25-50 v primerjavi s takratnim geokemičnim okoljem. Vzrok naj bi bila stara odlagališča tovarn, ki so predelovala Zn in Fe, tovarne s  $\text{TiO}_2$  in takratna tovarna posode v Gorici pri Slivnici (Štern in Förstner, 1976). Skoraj tri desetletja kasneje so bile koncentracije kovin v Voglajni še vedno povišane, saj so Frančiškovič-

Bilinski in sod. (2002) izmerili najvišje vrednosti S, P, Cr, Ni, Pb, Cu, Mo, Sb, W in Hg prav v sedimentih Voglajne v bližini Štor, kar je nakazovalo na to, da je bilo onesnaženje zaradi težke industrije v celjski regiji v tedanjem času še močno prisotno, a veliko manj v primerjavi s preteklostjo (Frančišković-Bilinski in sod., 2006).

## 2.2 REKA VELUNJA IN NJENO PRISPEVNO OBMOČJE

Reka Velunja izvira v hribovju pod Uršljo goro, natančneje pod Kotnikovim vrhom (1220 m n. m.), vijuga med dolinami Razborja in Mozirskih planin, dokler se pri kraju Gaberke ne izliva v Šoštanjško jezero. Iz njega priteče na jugozahodnem delu in se nato pri Termoelektrarni Šoštanj izliva v reko Pako. Šoštanjško ali Družmirsko jezero je najmlajše izmed Škalskih jezer, ki so nastala zaradi izkopavanja lignita na tem območju. Nastajati je pričelo leta 1975, leta 2005 pa je obsegalo več kot 63 ha in vsebovalo skoraj 15,3 milijone m<sup>3</sup> vode. Ker njegov edini pritok Velunja teče skozi večje strnjeno naselje Gaberke z intenzivnim kmetijstvom, obstaja nevarnost, da se stanje jezera poslabša. Šoštanjško jezero je glavni vir tehnološke vode šoštanjske termoelektrarne (Šterbenk in sod., 2004).

Reka Velunja ima hudourniški značaj, pogosto tudi poplavlja. Pri kraju Gaberke je merilna postaja z limnigrafom, ki meri vodostaj, pretok in temperaturo vode. Leta 2009 (Hidrološki letopis..., 2012) je najvišji vodostaj znašal 123 cm (29. 1. 2009), hkrati so zabeležili tudi največji letni pretok (0,930 m<sup>2</sup>/s). Najmanjši pretok tega leta je znašal 0,189 m<sup>2</sup>/s (9. 10. 2009). Ker je reka Velunja manjši vodotok, ni vključena v program monitoringa površinskih vod, ki ga urejata Uredba o stanju površinskih vod (Ur. l. št. 14/2009) in Pravilnik o monitoringu stanja površinskih voda (Ur. l. št. 10/2009).

Dolina reke Velunje poleg soteske Pake, ki sta del Velenjskega hribovja, predstavlja severno mejo Velenjske kotline. Podnebje v Velenjski kotlini je celinsko. Najhladnejši je njen severozahodni del, kjer je tudi največ padavin, več kot 1300 mm, ki se proti Velenju zmanjšujejo. Zaradi kotlinske lege in velikih izpustov iz termoelektrarne Šoštanj je Velenjska kotlina med najbolj onesnaženimi v Sloveniji. Kotlina je sestavljena in pliokvartarnih plasti in aluvialnega dna, kjer pridobijo večino premoga. Tu najdemo

pliocenski prod, pesek in glino, ponekod pa tudi do 100 metrov debelo premogovno plast lignita, ki se proti severu in jugu tanjša. Tukaj se je razvila predvsem rjava aluvialna prst, ponekod tudi psevdoglejene prsti. Severna hribovja, kjer je izvorni del reke Velunje in njen zgornji tok, so zgrajena iz kenozojskih magmatskih kamnin, nekaj pa je tudi metamorfnih kamnin iz paleozoika kot so tufi, tufiti in glinovci. Na teh kamninah so se razvila kisljava prst (Perko in Orožen Adamič, 2001).

## 2.3 STRESORJI

### 2.3.1 Vpliv stresorjev na združbe v vodotoku

Skoraj vse, kar je produkt človekovega delovanja, je lahko v določenem trenutku polutant. Tako so lahko substance, ki so esencialne za življenje (Cu, Zn), močno toksične v velikih količinah. Več kot 1500 snovi je bilo opredeljenih kot onesnaževala v celinskih vodnih ekosistemih (Mason, 1996).

Mason (1996) navaja seznam glavnih tipov strupenih onesnaževal:

- kovine: Pb, Ni, Cd, Zn, Cu in Hg, katerih vir so številni industrijski procesi in kmetijstvo,
- organske komponente: organokloridski pesticidi, herbicidi, PCBji...,
- plini: klor, amoniak,
- anioni: cianidi, fluoridi, sulfidi, sulfati,
- kisline in baze.

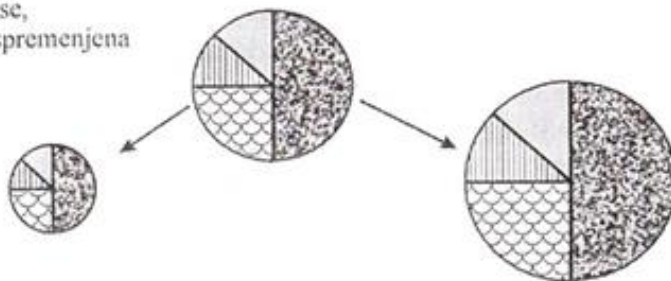
Ali bo neka snov izzvala učinek na organizem ali na združbo, je odvisno od koncentracije snovi in časa izpostavljenosti (t. j. doza). Učinek onesnaževala na tarčni organizem je lahko akuten ali kroničen. Akutna toksičnost se pojavijo hitro, je jasno definirana, običajno letalna in ireverzibilna, kronična toksičnost pa se razvije zaradi dolgotrajne izpostavljenosti nizkim dozam ali pa se pojavi dolgo po izpostavljenosti in je lahko letalna ali subletalna. Subletalne doze izzovejo okvare fizioloških ali vedenjskih procesov organizma (npr. slabša rast, nezmožnost reprodukcije). Na splošno je fitnes takih organizmov in ekosistema

zmanjšan, spremembe pa še zdaleč niso znotraj mej, v katerih so organizmi sposobni adaptacije (Mason, 1996).

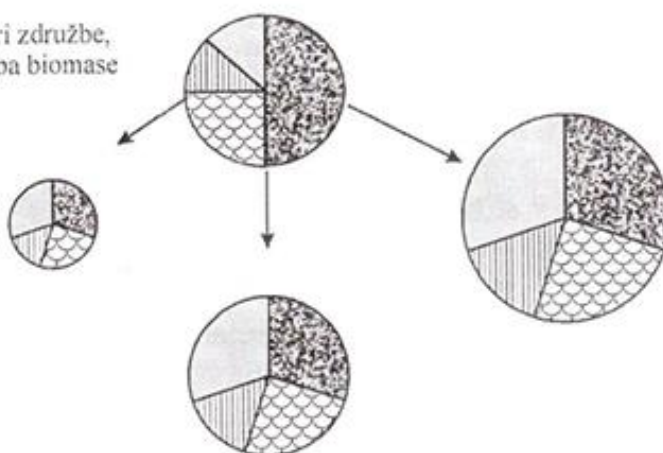
Večina vodnih organizmov je občutljiva na naravne ali antropogene spremembe v svojem okolju. Različni organizmi se odzivajo na različne načine, najopaznejši odzivi pa so smrt organizmov ali njihove migracije v druge habitate. Manj opazni so odzivi, kakršna sta zmanjšana reprodukcija in nenormalen metabolizem. Vodni organizmi preferirajo določene habitate, kjer je razmerje med fizikalnimi, kemijskimi in biotskimi značilnostmi zanje najbolj ugodno. Če pride do spremembe tega okolja, na primer zaradi povečane koncentracije težkih kovin, se lahko to odraža v združbi organizmov. Pride lahko do drugačne vrstne sestave, spremeni se lahko struktura združbe ali pa se spremeni biomasa (Urbanič in Toman, 2003). Zabeleženi učinki onesnaževanja so izguba nekaterih vrst, a verjetno pridobitev novih, zmanjšanje reprodukcije in diverzitete, a ne nujno na račun števila posameznih osebkov, in sprememba v ravnovesju procesov kot so plenilstvo, kompeticija in kroženje snovi (Mason, 1996). Možne odzive združbe na spremembo v okolju prikazuje slika 1, vpliv onesnaževal na organizme pa je prikazan na sliki 2.

Populacije lahko razvijejo toleranco do onesnaževal, kar jim omogoča preživetje v močno obremenjenih okoljih. To lahko dosežejo tako, da normalno funkcionirajo pri visokih stopnjah obremenitve ali pa vršijo metabolizacijo in detoksikacijo polutantov. Mehanizmi tolerance na onesnaževanje so izredno kompleksni in zajemajo več metabolnih sistemov. Tako so različne vrste rešile problem tolerance na določen polutant na različne načine (Mason, 1996).

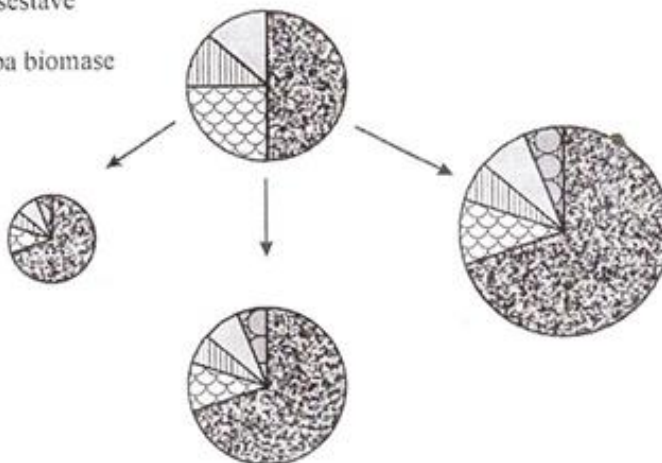
a) spremembe biomase,  
struktura združbe nespremenjena



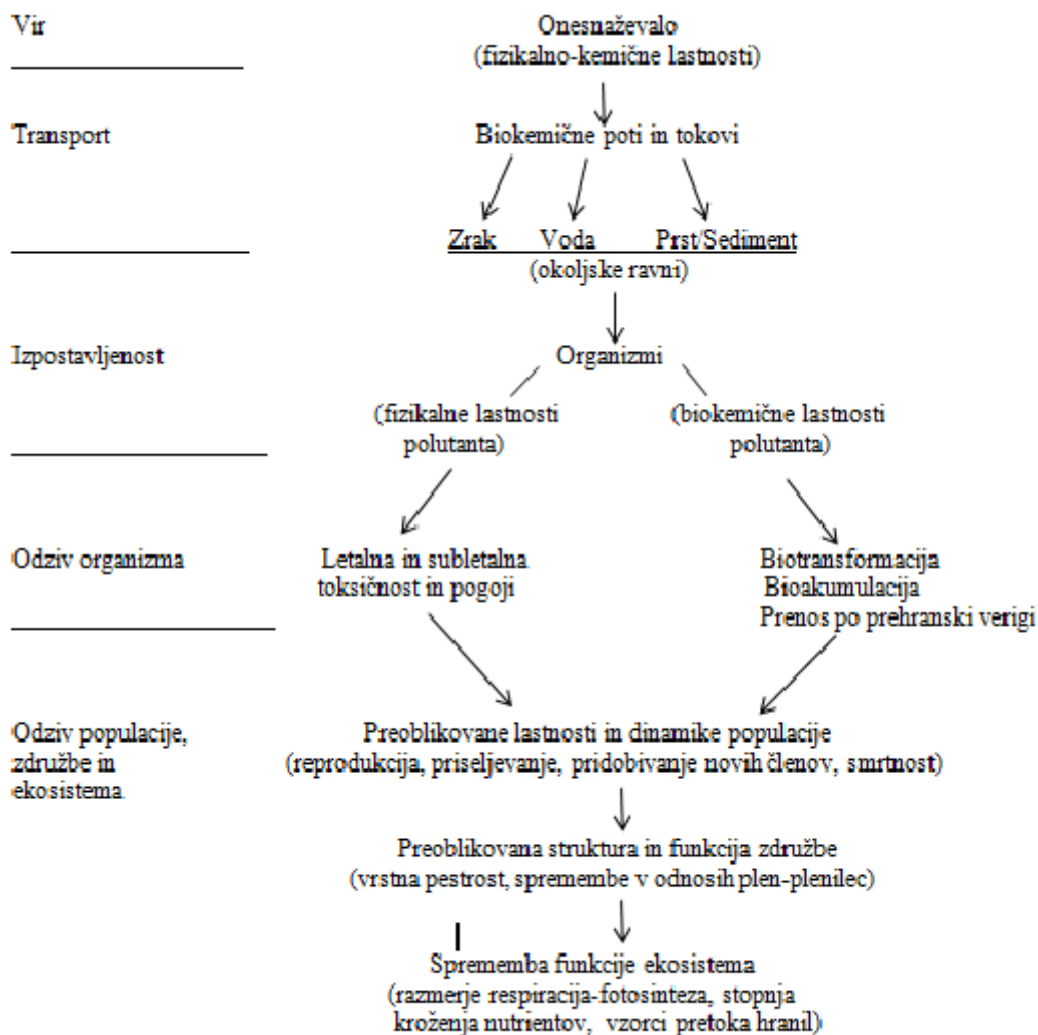
b) enak vrstni sestav,  
sprememba v strukturi združbe,  
možna tudi sprememba biomase



c) sprememba vrstne sestave  
in strukture združbe,  
možna tudi sprememba biomase



Slika 1: Možni odzivi združbe na spremembo okolja (Urbanič in Toman, 2003)



Slika 2: Vpliv onesnaževal na organizme in ekosistem (prirejeno po Connel in Miller, 1984)

### 2.3.2 Kovine kot stresor

Najbolj pomembne kovine z vidika onesnaževanja vodotokov so cink, Cu, Cd, Hg, Ni in Cr. Nekatere med njimi, na primer Cu in Zn, so za organizme esencialne snovi v sledovih, ki pa pri višjih koncentracijah postanejo toksične. Druge, kot na primer Pb in Cd, pa nimajo nobene biološke funkcije (Abel, 1996).

Glavni vir onesnaževanja s kovinami so industrijski procesi, predvsem tisti, povezani s pridobivanjem in predelavo kovinskih rud ter izdelavo izdelkov iz kovin. Poleg tega so kovine uporabljene v številnih industrijskih panogah: kot pigmenti v barvah v proizvodnji

barv; v tekstilni in usnjarski industriji; pri izdelovanju gume in papirja; v številnih drugih panogah (Abel, 1996).

Kovine lahko razvrstimo po padajoči toksičnosti kot sledečo lestvico, ki pa je zelo okvirna: Hg, Cd, Cu, Zn, Ni, Pb, Cr, Al, Co. Pri tem je potrebno upoštevati dejstvo, da bo lestvica drugačna za posamezno vrsto in eksperimentalne pogoje, saj okoljski pogoji vplivajo na kemijsko speciacijo kovin (Abel, 1996). Podobno navaja tudi Bryan (1971, cit. po Förstner in Wittmann, 1976), ki pravi, da je najbolj toksično Hg, ki mu sledijo Cd, Pb in druge kovine, čeprav ni stalne lestvice toksičnosti.

V okoljih, kjer ni prisotno onesnaževanje z različnimi polutanti, so koncentracije toksičnih elementov (med njimi težkih kovin) v kamninah in prsti (sedimentu) višje od tistih v vodi, te pa so višje od koncentracij v organizmih. Poleg tega so toksični elementi v kamninah in sedimentu dokaj netopni, zato je težje dostopni rastlinam in živalim, kar pomeni, da so ti elementi v takšni obliki dokaj netoksični. Nasprotno pa so ti elementi v vodi topni, torej so v takšni obliki na splošno dobro dostopni organizmom, zato je lahko že majhne koncentracije povzročijo močan toksični učinek. Nekateri elementi (Cd, Cr, Cu, Pb, Hg, Ni, Co...) so v okoljih konstantno prisotni v zelo majhnih koncentracijah in so potencialno zelo toksični že v majhnih količinah. Drugi elementi (Al, Fe) pa so v naravi lahko prisotni v velikih količinah, a ker je skoraj celotna količina v netopni obliki, so ti elementi t. i. nedostopni organizmom (Freedman, 1989).

Mason (1996) navaja, da so industrijski procesi močno povečali stopnjo mobilizacije številnih kovin. Tako je na primer izpust Pb zaradi človekovega delovanja 13-krat višji od geološke mobilizacije.

Težke kovine skupaj še z ostalimi elementi onesnaževanja (organsko onesnaževanje, onesnaževanje s hranili, detergenti, nafto, strupenimi snovmi in drugo) vplivajo na kakovost vodnega okolja kot življenjskega prostora za vodne organizme (Urbanič in Toman, 2003).

V vodi se težke kovine nahajajo kot ioni, oksidi in hidroksidi, ki zvišajo pH, in kompleksi z razgradljivimi spojinami, kelati. Vpliv kovin in dostopnost za organizme sta odvisna od zvrsti kovine (Rejic in Smodej, 1988), pa tudi od drugih faktorjev. Bryan (1976, cit. po Förstner in Wittmann, 1976) je navedel dejavnike, ki vplivajo na toksičnost kovin, ki so predstavljeni na sliki 3. Nekatere izmed njih obravnavamo v nadaljevanju.

**Trdota vode** vpliva na porazdelitev vseh dostopnih kovinskih ionov znotraj vsakega izmed neorganskih kompleksov, ki pa niso vsi enako toksični (Abel, 1996). Kovine v vodi tvorijo netopne karbonate ali pa se adsorbirajo na kalcijev karbonat (Förstner in Wittmann, 1976). Pb in Cu sta na primer bolj toksična v mehkejši vodi, višje koncentracije kalcija v vodi zmanjšujejo toksičnost kovin (Mason, 1996). Podobno pravita tudi Rejic in Smodej (1988), da se v mehki vodi kovine lažje raztapljajo kot v trdi.

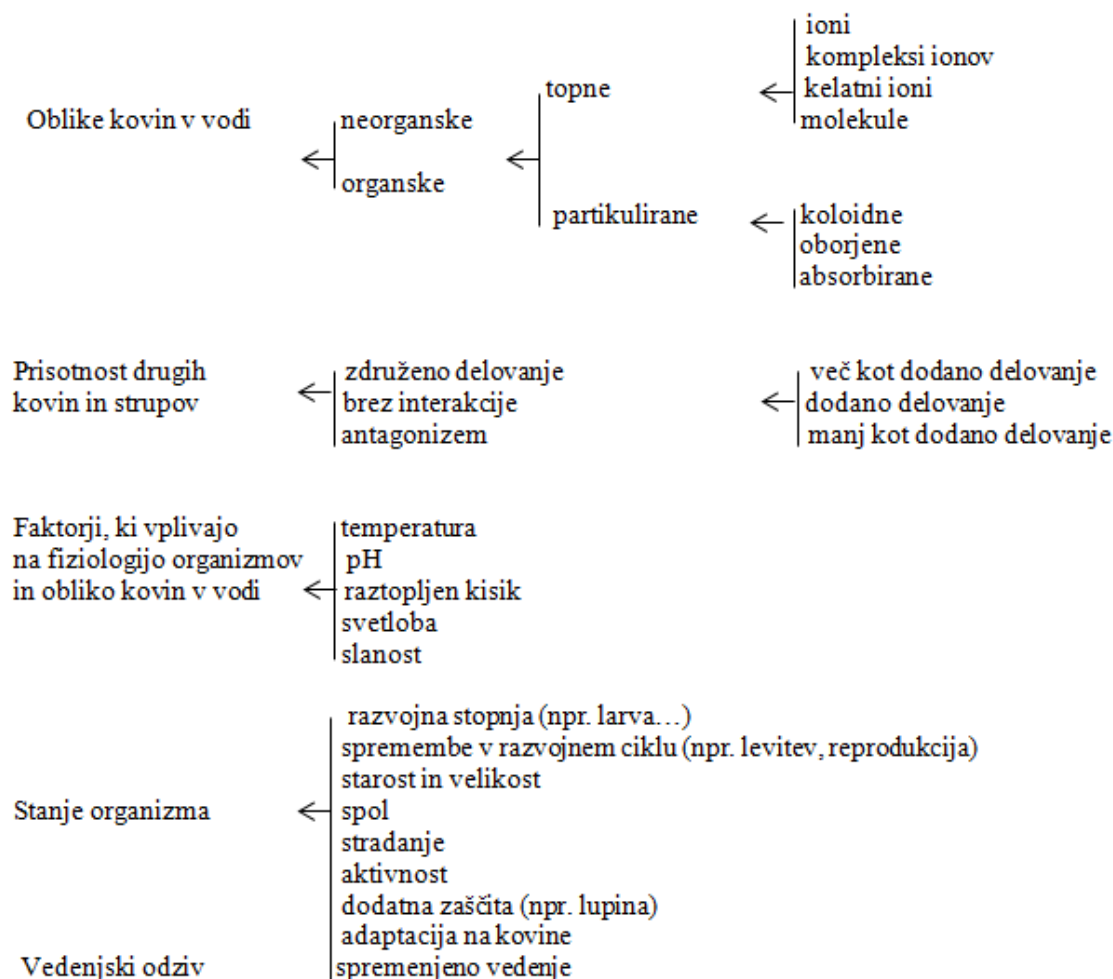
**Temperatura** vpliva na stopnjo respiracije organizmov. Pri višjih temperaturah je toksičnost kovin poveča, saj se poveča respiratorna stopnja (Lloyd, 1965, cit. po Förstner in Wittmann, 1976), kar skrajša življenjsko dobo organizma.

Nizka **koncentracija raztopljenega kisika** naj bi na splošno povzročila povečanje toksičnosti strupenih snovi (Abel, 1996). Kovine se lažje raztapljajo, če je kisika malo ali ga ni (Rejic in Smodej, 1988). Tako je Lloyd (1960, cit. po Abel, 1996) opazil rahlo povečanje stopnje toksičnosti Zn na šarenko (*Oncorhynchus mykiss*) pri nizkih koncentracijah kisika v vodi.

**pH** je pomemben določitelj stopnje toksičnosti pri tistih strupenih snoveh, ki ionizirajo v raztopinah (Abel, 1996). pH igra pomembno vlogo pri interakcijah med kovinami in parametri kot sta trdota vode in organske spojine (Förstner in Wittmann, 1976). Večina kovin se lažje raztapljajo pri kislem pH kot pri bazičnem (Rejic in Smodej, 1988). Tako so Schubauer-Berigan in sod. (1993, cit. po Khan, 2010) ugotovili najvišjo stopnjo toksičnosti Cd, Ni in Zn pri pH 8,3, najnižjo pa pri pH 6,3.

**Organska snov** vpliva na stopnjo vezave kovin v sediment. Na splošno velja, da višje koncentracije organske snovi določajo višjo stopnjo vezave kovin v sediment, torej je koncentracija prostih kovinskih ionov nižja, kar posledično pomeni povečanje verjetnosti za zmanjšanje toksičnosti zaradi kovin (Khan, 2010).

**Prisotnost drugih kovin** lahko privede do sinergističnih, antagonističnih ali potenciranih učinkov že prisotne kovine (Abel, 1996). Tako se na primer učinki mešanice Cu in Zn seštevajo (Lloyd, 1961, cit. po Abel, 1996; Sprague in Ramsay, 1965, cit. po Abel, 1996), isto so ugotovili tudi za mešanico Cu, Zn in Ni (Brown in Dalton, 1970, cit. po Abel, 1996; Marking, 1977, cit. po Abel, 1996).



Slika 3: Faktorji, ki vplivajo na toksičnost kovin (prirejeno po Bryan, 1976, cit. po Föstner in Wittmann, 1976)

Kovine kot mikroelementi so nujno potrebni za pravilno rast in razvoj organizmov, vendar le v majhnih količinah. Če so koncentracije kovin v telesu organizma povišane, se kovina, ki je bila prej nujno potreben mikroelement, spremeni v toksično snov. V rečnih

ekosistemih organizmi privzemajo kovine iz vode, v kateri živijo. Glavni ponor in s tem vir kovin v vodah predstavlja sediment. Če je koncentracija kovin v vodi oziroma v sedimentu povišana, se to odraža tudi v koncentraciji teh kovin v organizmih, ki se vzdolž prehranjevalne verige povečuje, kar v končni fazi pomeni, da niso ogroženi le nižji organizmi, temveč tudi višji – med njimi tudi človek. Povišane koncentracije kovin v rečnih ekosistemih zaradi svoje toksičnosti, absorpcije s strani organizmov in obstojnosti lahko tako postanejo problem (Mazej in sod, 2009).

Freedman (1989) opisuje dva splošna mehanizma toksičnosti kovin v organizmu:

- poškodba encimov: kovinski ioni se vežejo na encim in porušijo njihovo tridimenzionalno konfiguracijo, s čimer encimi spremenijo ali izgubijo svojo katalitično sposobnost,
- poškodba dednega materiala: kovinski ioni se vežejo na DNK, zaradi česar pride do motenj pri transkripciji in posledično do nesinteze specifičnih proteinov (predvsem encimov) oziroma do kakšnega drugega toksičnega efekta; posledica je genetska okvara, ki se kaže kot motnja v rasti in razvoju, bolezen ali smrt.

Evropska unija je sestavila t. i. Črni seznam, na katerem so opredeljene najbolj strupene snovi, in t. i. Sivi seznam, na katerem pa so manj toksične. Na Črnem seznamu od kovin tako najdemo Cd in njegove komponente, na Sivem seznamu pa poleg Cu, Ni, Cr in Pb še druge elemente, na primer Zn, AS, Se, Co, U, Ti, Ag in druge (Mason, 1996).

#### 2.3.2.1 Kadmij (Cd)

Večinoma se pojavlja v Zn rudah, kot primes v manjšem obsegu tudi v Pb in Cu rudah, v povišanih koncentracijah pa se pojavlja tudi v sedimentnih kamninah. Danes se v več kot 80 % uporablja za izdelovanje Ni-Cd baterij, v manjši meri Cd vsebujejo pigmenti in solarne celice, uporablja pa se tudi kot antikorozijska prevleka, stabilizator plastike in zlitina (Cadmium, b. l.a).

Svetovna proizvodnja Cd je v letu 2011 znašala 21.200 ton, leto kasneje pa 22.000 ton. Danes je največja proizvajalka kadmija Azija, pred leti pa je bila Nemčija, ki je bila več kot 100 let edina pomembna proizvajalka (Cadmium, b. l.b.)

Vsebnost Cd v okolju se je hitro povečala med letoma 1800 in 1960 zaradi vzpona industrializacije in povečane uporabe fosilnih goriv, v katerih se Cd pojavlja kot primes. Od l. 1960 do danes pa je opazen trend zmanjševanja koncentracij Cd v okolju, zaradi večjega nadzora nad emisijami izpušnih plinov in izboljšanja tehnologije produkcije, uporabe in odlaganja neuporabnega Cd in njegovih produktov (Cadmium, b. l.a).

Pojavljanje Cd nad naravno prisotnimi koncentracijami v okolju je indikator obremenjenosti (Cardwell in sod., 2002). Sharifi in sod. (2007) ugotavljajo, da za organizme ni esencialen element in je zanje nekoristen, zato posledično zastruplja in škodljivo vpliva na različne komponente vodnega okolja.

Cd je poleg Hg ena najbolj toksičnih kovin. Pri ljudeh se akutna zastrupitev s Cd kaže v obliki gripi podobnih simptomov (povišana telesna temperatura, bolečine v mišicah, občutek mrzlot), kronična izpostavljenost pa se kaže v obliki bolezni, imenovane Itai-itai, kar v dobesednem prevodu pomeni au-au (po krikih pacientov). Cd v tem primeru povzroči nepopravljivo poškodbo ledvic (disfunkcija proksimalnih renalnih tubulov) in kosti (mehčanje kosti in izguba kostne mase), kar povzroča strašne bolečine. Poleg tega je tudi kancerogen (Metals in medicine..., b. l).

#### 2.3.2.2 Svinec (Pb)

V naravi se pojavlja v rudah skupaj z Zn, Ag in Cu. Uporablja se v gradbeništvu, za izdelavo akumulatorjev, nabojev, uteži in zaščite pred sevanjem (Lead, b. l.b), preden pa so ugotovili njegove toksične učinke na organizme, se je množično uporabljal za izdelovanje vodovodnih cevi in pip ter barv, uporabljal pa se je tudi kot dodatek k bencinu (Lead (Pb), b. l.). Zastrupitve s Pb so zabeležene že iz časa starih Rimljanov, Grkov in Kitajcev (Lead, b. l.b), kar kaže na to, da so ga začeli uporabljati že zelo zgodaj v zgodovini človeštva. Z razvojem industrije je rasla tudi poraba Pb, vzporedno z njo pa njegova koncentracija v

okolju. Po nekaterih ocenah se je zaradi človekove aktivnosti koncentracija Pb v okolju v zadnjih 300 letih povečala za več kot 1000-krat. Gledano globalno je največji vir tega povečanja uporaba osvinčenega bencina (Sanacija onesnaženega okolja..., b. l.).

Celotna svetovna proizvodnja Pb je leta 2011 znašala 4.700 ton, leto kasneje pa 5.200 ton. Največja proizvajalka je Kitajska, ki je leta 2012 proizvedla kar polovico celotne svetovne količine svinca (Lead, b. l.a).

V normalnih razmerah je več kot 90 % svinca vezanega v skeletu. Čeprav Pb ni esencialen element, je pri sesalcih prisoten v vseh tkivih in organih. Pb lahko v telesu ostane imobiliziran tudi več let, zato metabolnih motenj ni mogoče zaznati. Visoka afiniteta  $Pb^{2+}$  do tiolne skupine in ligandov, ki vsebujejo fosfatno skupino, inhibira biosintezo hem skupine, kar posledično vpliva na permeabilnost membrane celic ledvic, jeter in možganov. Rezultat je bodisi zmanjšano delovanje bodisi popolna odpoved omenjenih tkiv, saj je Pb kumulativen strup (Förstner in Wittmann, 1976).

#### 2.3.2.3 Baker (Cu)

Cu je ena najstarejših uporabljenih kovin, hkrati pa je ta kovina bila ena tistih materialov, ki so omogočile razvoj civilizacij (Copper, b. l.a). V uporabi je že več ko 10.000 let, saj so ga poznale že najstarejše civilizacije (Copper, b. l.b). V Starem Egiptu je bilo veliko vsakodnevnih pripomočkov kot so posode za vodo, posoda za kuhanje, ročna ogledala, nakit, rezila, dleta, narejenih iz Cu. Iz njega so bili narejeni tudi pripomočki za kmetovanje. Stari Egipčani so s pomočjo instrumentov iz Cu zlitin opravljali kompleksne medicinske operacije (Copper facts..., b. l.).

Cu metalurgija je najbolj cvetela v času okoli prvega tisočletja n. š., in sicer v Južni Ameriki, še posebej v Peruju. Obredni in okrasni predmeti tistega časa kažejo postopke kovanja in žarjenja (segrevanje in ohlajanje, da se kovina omehča in spremeni lastnosti). V času Majev, Inkov in Aztekov so za zlitine s Cu najpogosteje uporabljali Au in Ag (Copper facts..., b. l.).

Zaradi svojih lastnosti, samostojnih ali v kombinaciji z drugimi materiali, visoke prevodnosti in kovnosti, sposobnosti termičnega in električnega prevajanja ter odpornosti na korozijo je Cu postal pomembna industrijska kovina, saj zaseda tretje mesto glede na svetovno porabo kovin (Copper, b. l.a).

Danes se Cu uporablja predvsem v gradbeni in elektroindustriji. Tako se v sanitetnih in elektroinstalacijah uporabi približno 75 % svetovne proizvodnje Cu. Ker je Cu biostatičen, na bakrenih površinah ne morejo rasti bakterije. Zato se uporablja pri proizvodnji živil, v klimatskih napravah in tudi pri izdelavi kljuk. Pomen Cu pa raste tudi v sektorju visoke tehnologije (npr. računalniški čipi, sončni kolektorji, hibridni motorji) (Baker, b. l.).

Celotna svetovna produkcija Cu je leta 2011 znašala 16.100 ton, leta 2012 pa 17.000 ton, največja proizvajalka te kovine pa je Čile, ki letno pridela več kot 5.000 ton bakra (Copper, b. l.a).

Cu je indikator industrijskega onesnaževanja v urbanih okoljih (Cardwell in sod., 2002), njegov izvor v vodnem okolju pa je tako naraven kot tudi antropogen (Serra Gasa, 2009).

#### 2.3.2.4 Krom (Cr)

Kitajci so ga uporabljali že pred več kot 2000 leti za impregnacijo orožja. V 18. stoletju so Cr uporabljali kot pigment v barvah in pri strojenju usnja, kasneje pa so ga uporabljali kot zaščitni sloj za avtomobilske dele in pohišstvo (Chromium, b. l.b). Ima zelo širok spekter uporabe, saj poveča trdoto ter preprečuje korozijo in oksidacijo (Chromium, b. l.a). Danes se uporablja v številnih industrijskih panogah, npr. za strojenje usnja, pri proizvodnji barv, fungicidov, eksplozivov, cementa, v keramični in steklarski industriji, pri kromiranju (Krom, 2008). Uporaba kroma za proizvodnjo jekla in ostalih nekovinskih zlitin je trenutno njegova najpomembnejša uporaba (Chromium, b. l.a).

Skupna proizvodnja Cr je leta 2011 znašala 23.300 ton, leta 2012 pa 24.000 ton. Največja proizvajalka je Južna Afrika, ki je leta 2012 proizvedla skoraj polovico svetovne količine (Chromium, b. l.a).

Običajno so glavni vir Cr v vodah industrijske odplake oz. je posledica človekovega delovanja (Krom, 2008).

Cr (0) in Cr (III) sta relativno netoksična, dobro topen Cr (VI) pa je mnogo bolj toksičen, predvsem zaradi visokega oksidacijskega potenciala in dobre prehodnosti skozi biološke membrane (Krom, 2008). Cr je esencialen mikroelement, ki pa je lahko pri povišanih koncentracijah toksičen za vodne organizme (Minago project, 2010), a organizmi (npr. sesalci) lahko tolerirajo 100 – 200 višje koncentracije Cr od običajno prisotnih koncentracij v telesu brez negativnih učinkov (Förstner in Wittmann, 1976).

#### 2.3.2.5 Nikelj (Ni)

Redko se pojavlja na površini Zemlje. Predvidevajo, da je notranje jedro sestavljeno iz zmesi Ni in Fe. Ni se v naravi vedno pojavlja skupaj s Fe (Nickel, b. l.b).

Uporaba Ni seže daleč nazaj v zgodovino človeštva, do 3500 let p. n. š. Dandanes je uporaben kot antikorozijski premaz, kot sestavni del kemijskih naprav in kot zlitina (Nickel, b. l.b), pomembna pa je tudi njegova uporaba v letalski industriji, uporablja se tudi za izdelovanje legiranega jekla (Nikelj, b. l.). Včasih so ga uporabljali za izdelovanje kovancev, a ker je v stiku s kožo lahko alergen, ga danes nadomeščajo z drugimi, cenejšimi materiali kot je Fe (Nickel, b. l.b).

Celotna produkcija Ni je leta 2011 znašala 1.940.000 ton, leta 2012 pa je bila proizvodnja ocenjena na 2.100.000 ton. Največje proizvajalke so Rusija, Filipini, Avstralija, Kanada, Nova Kaledonija in Indonezija (Nickel, b. l.a).

Ni je za nekatere mikroorganizme in rastline esencialen element, saj sestavlja aktivno mesto nekaterih njihovih encimov (Nickel, b. l.b).

## 2.4 USEDLINE

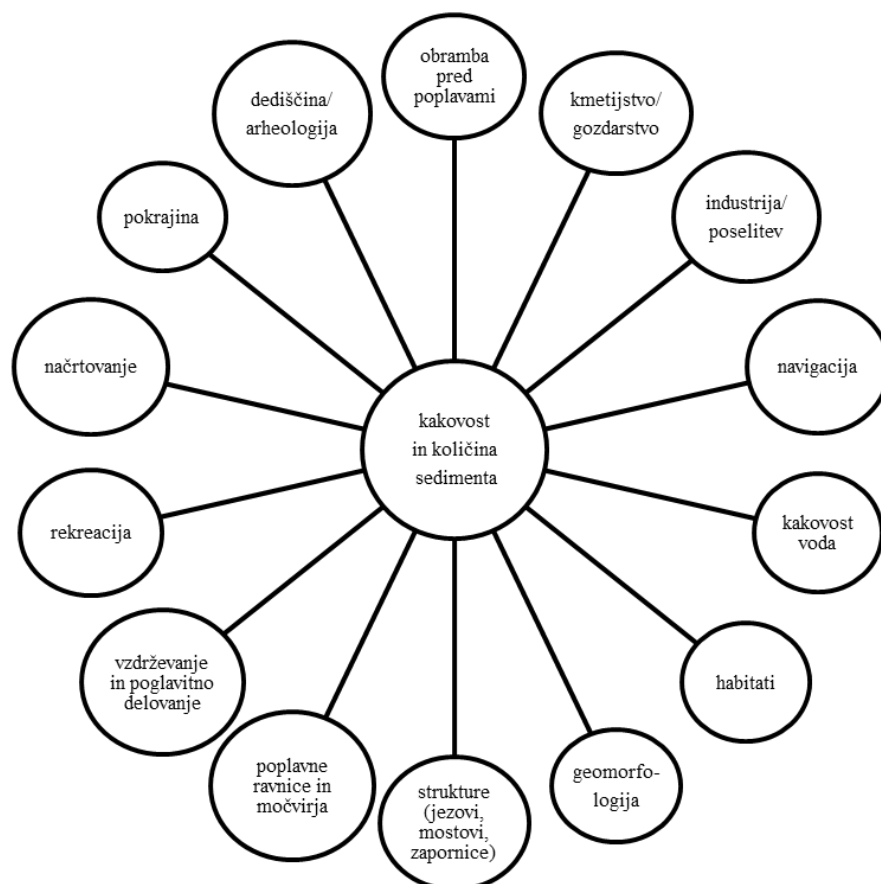
Usedline imajo »strop« in »dno«, vmesni prostor naseljujejo življenjske združbe delno ali v celoti. Zgornja meja usedlin, »strop«, je stikališče usedlin z vodo, spodnja meja, »dno«, pa globina, pod katero ni hrane in zato tudi ni življenja. Zgornja meja usedlin je nedvoumna, spodnja meja pa bolj ali manj nedoločljiva (Rejic in Smodej, 1988). Sediment je substrat za organizme in preko interakcij prekrivajoče vode (t. j. kroženje nutrientov) igra ključno vlogo znotraj vodnih ekosistemov (Westrich in Förstner, 2007).

Usedline imajo dva vira: na kopnem in v vodnih telesih. S kopnega jih prinašajo vetrovi, deževnica in snežnica, v vodnih telesih nastajajo iz biološke proizvodnje in kemijskih dogajanj. Kot življenjski prostor so usedline iz dveh delov: trdnega in tekočega. Trdni del je iz zrn različnih premerov, tekoči del je voda, ki napolnjuje prostor med zrn, imenujemo jo intersticijska. Trdni del je iz nerazgradljivih in razgradljivih snovi, delež obojih je časovno in krajevno spremenljiv, posebej pri razgradljivih snoveh (Rejic in Smodej, 1988). V vodotokih so usedline raznovrstne, spremenljive in gibljive zaradi hitrosti vodnega toka in razgradnje. Zrnatost je v širokem razponu od najdrobnejših delcev do kamnov in skal. Usedline so enoten pojem, vendar je upravičeno razlikovati naslednje dele: plavje, ki ga vodni tok stalno plavi, površinsko plast, ki jo vodni tok menjaje plavi in odlaga, površinski sloj, ki se menjaje premika in miruje, ter globinskega, ki miruje. Valovanje in turbolenca pritiskata na usedline in jih deloma valita, deloma potiskata vzdolž toka (Rejic in Smodej, 1988).

Na koncentracijo kovin v vodi močno vpliva tok vode v rečni strugi, zato analiza sedimenta zagotavlja veliko bolj stabilno podlago za raziskovanje onesnaženosti vodnega okolja zaradi kovin, ki se akumulirajo v suspendiranem in rečnem sedimentu. Poleg tega so številne študije pokazale, da je določanje koncentracij kovin v suspendiranem in rečnem sedimentu bolj občutljiv indikator obremenjenosti vodnih sistemov v primerjavi s topnimi oblikami kovin (Jain, 1999 – 2000).

Če hočemo z analizo rečnih sedimentov ugotoviti stopnjo onesnaženja, je zelo pomembno, da poznamo naravno stanje, to je naravno geokemično ozadje sedimenta na opazovanem

območju. Le primerjava naravne koncentracije s koncentracijo v vzorčenem sedimentu lahko omogoči pravi vpogled v onesnaženost območja (Gosar, 1997, cit. po Teršič in sod., 2006).



**Slika 4: Shematski prikaz nekaterih glavnih vplivov na sediment znotraj rečne struge (prirejeno po Owens in sod., 2004, cit. po Sediment dynamics..., 2007)**

## 2.5 VELIKI VODNI NEVREtenČARJI

### 2.5.1 Definicija

Združbo makroinvertebratov po definiciji predstavljajo vodni nevretenčarji, ki pri vzorčenju ostanejo v mreži z odprtinami 0,5 x 0,5 mm (Urbanič in Toman, 2003). Običajno so to organizmi, večji od 1 mm, vidni s prostim očesom. Taksonomsko so zelo raznolika skupina. Najznačilnejše skupine so:

- vrtinčarji (Turbellaria),
- polži (Gastropoda),
- školjke (Bivalvia),
- maloščetinci (Oligochaeta),
- pijavke (Hirudinea),
- raki (Crustacea): postranice (Amphipoda), oslički (Isopoda),
- žuželke (Insecta): enodnevnice (Ephemeroptera), vrbnice (Plecoptera), kačji pastirji (Odonata), hrošči (Coleoptera), mladoletnice (Trichoptera), dvokrilci (Diptera).

Makroinvertebrati so, poleg makrofitov in perifitona, najpogostejše uporabljena skupina organizmov za ugotavljanje stanja okolja. Ker so sedentarni organizmi in imajo relativno dolgo življenjsko dobo, so uporabni za ocenjevanje kakovosti vode na določenem področju preko daljšega obdobja. Ker gre za heterogeno skupino organizmov, lahko že z eno samo tehniko vzorčenja zajamemo zadovoljivo veliko število vrst iz različnih redov. Zato je velika verjetnost, da bo vsaj nekaj izmed vrst reagiralo na točno določene spremembe v okolju. Seveda pa ima omenjena skupina organizmov poleg prednosti tudi pomanjkljivosti. Da bi zagotovili reprezentativen vzorec, moramo na enem vzorčnem mestu odvzeti veliko podvzorcev, odvisno od tega, kakšen tip ekosistema vzorčimo. Poleg tega moramo upoštevati tudi sezono vzorčenja, saj se nekatere skupine organizmov v določenem obdobju leta ne pojavljajo (Mason, 1996).

Veliki vodni nevretenčarji odražajo ekološke razmere posameznega vzorčnega mesta, skupaj s fizikalnimi lastnostmi in niso le odraz organskega obremenjevanja, ampak tudi različnih stresorjev, ki so lahko posledica anorganskega onesnaževanja, toksičnosti, kislosti, morfoloških sprememb vodnih habitatov in zmanjšanje količine vode (Urbanič in Toman, 2003). Bentoški makroinvertebrati so tako lahko visoko občutljivi indikatorji kakovosti vode, ker so sedentarni organizmi in so zato pogosto tesno povezani s sedimentom (Ordóñez in sod., 2011).

## 2.5.2 Vpliv kovin na makroinvertebrate

V rekah, ki so obremenjene s težkimi kovinami, se vpliv kovin na nevretenčarsko favno kaže kot eliminacija oziroma upad števila določenih vrst. Če se onesnaževanje preneha, si nevretenčarska favna hitro opomore. Podoben proces se odvija tudi z večanjem razdalje od vira onesnaževanja, ko koncentracije onesnaževal upadajo (Abel, 1996).

Študije o vplivu kovin na vodne organizme segajo precej daleč nazaj. Tako je Carpenter (1922 in 1924, cit. po Abel, 1996) v 20. letih prejšnjega stoletja v rekah v vzhodnem delu Walesa opazil manj vrst nevretenčarjev v tistih predelih rek, ki so bila blizu svinčevih rudnikov, ter da so razlike v abundanci nevretenčarjev očitno posledica Pb v odpadnih vodah iz rudnika in ne fizičnih razlik v rečni strugi oziroma katerega koli drugega parametra kakovosti vode. Nekatere skupine nevretenčarjev (Platyhelminthes, Mollusca, Crustacea, Oligochaeta in mnogi insekti) nikoli niso bile prisotne na najbolj obremenjenih področjih, nekatere vrste insektov kot na primer vrste *Cloeon simile* (Ephemeroptera), *Simulium latipes* (Diptera) in *Velia currens* (Hemiptera) pa so očitno kazale toleranco na povečane koncentracije Pb. Nadaljne raziskave Carpenterja (1925, cit. po Abel, 1996) so pokazale, da so odpadne vode iz rudnikov poleg Pb vsebovale še druge toksične snovi, med katerimi so identificirali Zn kot pomemben faktor. Carpenter (1924, cit. po Abel, 1966) je tako v reki Rheidol naštel 29 vrst, medtem ko sta več kot desetletje kasneje Laurie in Jones (1938, cit. po Abel, 1996) v isti reki zabeležila 103 vrste, kar je bila posledica očitne redukcije v koncentracijah kovin v preteklih letih, dve desetletji kasneje pa so našteali že 130 vrst, med katerimi še vedno ni bilo mehkužcev in rakov (Jones, 1949, cit. po Abel, 1996). V 80. letih pa sta Brooker in Morris (1980, cit. po Abel, 1996) zabeležila 134 vrst.

V naslednjih desetletjih raziskav, so se izboljšale tehnike taksonomije, ekološkega vzorčenja in kemijskih analiz, ki so podale bolj natančne informacije o vplivu s kovinami obremenjenih rek (Abel, 1996).

Marqués in sod. (2003) so proučevali okoljske vplive rudarjenja na vodotok in prisotno združbo makroinvertebratov. Ugotovili so, da sta ena izmed glavnih abiotskih faktorjev, ki povzročajo spremembe, intenzivna akumulacija kovin v sedimentu in izrazito povišane

vrednosti kovin v vodnem stolpcu. Rezultati so pokazali velika nihanja gostote organizmov iz družin Simuliidae, Baetidae, Tubificidae in Chironomidae. Tudi vrstna pestrost se je izrazito zmanjšala: na dveh mestih, kjer so izmerili najvišje vsebnosti kovin v sedimentu, so ugotovili prisotnost dveh tolerantnih družin Chironomidae in Tubificidae, katerih osebki so predstavljali kar 80 % vseh najdenih organizmov na teh dveh območjih. Tudi struktura združbe se je spremenila, in sicer so na območjih s povišanimi koncentracijami kovin v sedimentu zaznali tolerantne vrste iz družin Simuliidae, Culicidae, Hydrophilidae, Dolichopodidae, Chironomidae, Psychodidae, Tipulidae in Chrysomelidae in občutljive vrste iz družin Gammaridae, Ephemeridae in Ceratopogonidae. Prav tako se je spremenila sestava na območjih s povišanimi koncentracijami kovin v vodnem stolpcu, kjer so tolerantne vrste pripadale družinam Coenagrionidae, Hydrobiidae, Lumbricidae in Polycentropodidae, občutljive družine pa so bile Ephemeridae, Athericidae, Sericostomatidae, Leptophlebiidae, Baetidae, Gammaridae, Perlidae, Heptageniidae in Leptoceridae.

Tudi Smolders in sod. (2003) so proučevali ekološke vplive onesnaženja s Zn, Cu, Pb in Cd na vodotok. Primerjava med vzorčnim mestom v zgornjem toku, ki je močno obremenjeno s kovinami, in tistimi v spodnjem toku, ki je relativno neobremenjeno, je pokazala veliko razliko med vsebnostjo kovin v sedimentu in v vodi ter spremembo v vrstni sestavi združbe makroinvertebratov. Na obremenjenem območju so ugotovili več kot 1000x višje koncentracije Pb, Cd, Cu in Zn kot so naravno prisotne koncentracije za te kovine, tudi diverziteta združbe bentoških makroinvertebratov je bila močno reducirana: 97 % makroinvertebratov so predstavljale ličinke trzač (Chironomidae).

Milani in sod. (2003) so proučevali občutljivost različnih vrst vodnih nevretenčarjev na prisotne kovine v vodnem stolpcu in v sedimentu. Za kovine v vodi so ugotovili, da je vrsta *Hyaella azteca* (Amphipoda) občutljiva na onesnaženje s Cd in Ni, *Chironomus riparius* (Chironomidae) pa je pokazala občutljivost na Cu. V primeru korelacije kovin v sedimentu in taksoni so ugotovili, da sta na Cu najbolj občutljiva taksona *Hyaella azteca* in *Hexagenia spp.*, medtem ko sta največjo občutljivost na Cd pokazali vrsti *H. azteca* in *C. riparius*. Na Ni je bila najbolj občutljiva vrsta *H. azteca*, ki se je torej izkazala za najbolj občutljivo vrsto na vse prisotne kovine tako v vodi kot v sedimentu.

Bolj kot o neposrednem vplivu kovin na makroinvertebrate raziskovalci poročajo o posrednem. Tako je Jones (1940, cit. po Abel, 1996) na območju obremenjenim s kovinami opazil odsotnost mladoletnic s tulci, medtem ko so plenilske vrste (*Rhyacophila sp.* in *Polycentropus sp.*) bile prisotne. Naknadne raziskave so pokazale, da so larve mladoletnic tulce gradile tudi z materialom iz rudnika, ki je vseboval kovine, kar je nakazovalo na to, da imajo kovine posreden vpliv na nekatere vrste v naravnih ekosistemih. Abel (1996) pa ugotavlja, da na odsotnost pijavk (Hirudinea), maloščetincev (Oligochaeta) in ploskih črvov (Platyhelminthes) naj ne bi vplivala sama toksičnost kovin, temveč fizična sprememba struge vodotoka, ki jo povzročajo delci v odplakah iz rudnikov. Vpliv fizičnih sprememb vodotoka zaradi prisotnih kovin navaja tudi Armitage (1980, cit. po Abel, 1996), ki je opazil, da povečana razrast alg na dnu struge zaradi odsotnosti herbivorov, ki so izginili kot posledica prisotnih kovin, vpliva na spremembo distribucije živali, ki niso neposredno prizadete zaradi kovin.

Poleg omenjenih učinkov kovin na makroinvertebrate je treba omeniti še bioakumulacijo in s tem povezane strukture, ki vršijo vezavo kovin. Bioakumulacija je kopičenje kovin v tkivu prizadetih organizmov preko daljšega časovnega obdobja, pri čemer prihaja do subletalne toksičnosti. Za prenos na višje trofične nivoje je pomemben predvsem t. i. faktor biokoncentracije (BCF), ki pove razmerje med koncentracijo kovin v organizmu in v vodi po dolgotrajnejši izpostavljenosti organizma kovinam (Abel, 1996). Ena izmed struktur, ki vežejo kovine, so metalotionini. Gre za skupino proteinov z nizko molekulsko maso (6000–20000) in z visoko vsebnostjo aminokislin s tiolno skupino (predvsem cisteina), ki vežejo kovinske ione ter tako ščitijo celico pred njihovimi toksičnimi vplivi. Običajno so v tkivu nevretenčarjev in vretenčarjev prisotni le v nizkih koncentracijah, ki pa se povečajo, ko je organizem izpostavljen povišanim koncentracijam kovin (Kagi in Nordberg, 1979, cit. po Abel, 1996).

Povzamemo lahko, da so splošni vplivi, ki se vedno pojavijo v vodnem ekosistemu, obremenjenem s kovinami, zelo podobni. Pride do zmanjšanja števila vrst, hkrati pa se zmanjša število osebkov tistih vrst, ki niso bile popolnoma eliminirane. Nekatere vrste so očitno bolj občutljive na prisotnost kovin kot druge (Abel, 1996).

### 3 MATERIAL IN METODE

Na rekah Voglajni in Velunji smo izvedli enkratno t.i. poletno vzorčenje. Raziskave smo opravili 30. 8. 2011, in sicer najprej na Voglajni, nato še na Velunji. Zaradi obilnih in pogostih padavin v juniju in juliju smo bili primorani počakati na ustrezne razmere. To pomeni, da vsaj dva tedna pred vzorčenjem ni smelo biti visokih vod. To je bilo pomembno predvsem za vzorčenje sedimenta, saj bi ga hitrejši tok in visok vodostaj premešala in s tem sprostila kovine v vodotok. Vzorčenje tako ne bi bilo reprezentativno. Poleg vzorčenja sedimenta in vodnih nevretenčarjev smo na vsakem vzorčnem mestu merili tudi hidromorfološke in fizikalne parametre. Analizo kemijskih parametrov smo opravili v laboratoriju kasneje, zato smo vzorce shranili v hladilniku oziroma jih po potrebi zamrznili. Analizo težkih kovin smo opravili na inštitutu ERICo v Velenju.

#### 3.1 OPIS VZORČNIH MEST

Na reki Voglajni smo izbrali tri lokacije za vzorčenje makroinvertebratov in sedimenta. Prvo vzorčno mesto (Vog Slivn. j.) je bilo blizu iztoka Voglajne iz Slivniškega jezera, kar je predstavljalo relativno neobremenjeno mesto s težkimi kovinami in kmetijskimi polutanti ter dobro ekološko stanje vodotoka glede na ostali dve lokaciji. Drugo in tretje vzorčno mesto sta bili izbrani glede na lokacijo železarne v Štorah in čistilne naprave v Vrbnem. Tako smo drugo vzorčenje (Vog PRED) opravili na lokaciji pred čistilno napravo in železarno, s čimer smo želeli prikazati stanje vodotoka, ko le-ta še ni pod vplivom industrijske cone, je pa že obremenjeno s polutanti s kmetijskih površin. Tretje vzorčno mesto (Vog ZA) smo izbrali na lokaciji za čistilno napravo in železarno. Pri tem smo zajeli stanje reke po prehodu skozi čistilno napravo v Vrbnem in industrijsko območje Štor.

Na reki Velunji pri Šoštanju smo izbrali eno vzorčno mesto (Velunja), ki je predstavljalo naše referenčno mesto. Predvidevali smo, da je ta reka manj obremenjena s težkimi kovinami in da je v boljšem ekološkem stanju v primerjavi z Voglajno.

### 3.1.1 Vzorčno mesto izvirni del (Vog Slivn. j.)

Lokacija: 230 m nižje od iztoka Slivniškega jezera

Nadmorska višina: 280 m

Oddaljenost od izvira: 230 m

Ravninske koordinate v Gauss-Krugerjevi projekciji: Y=533888 X=117213

Prvo vzorčno mesto je bilo približno 230 m od izvira reke, ki je hkrati tudi iztok Slivniškega jezera. Na tem delu je bil vodotok širok približno 4 m in globok približno 15 cm, voda pa je bila nenavadno rjave barve in neprijetnega vonja po škropivu. Struga in brežine so bile naravne, dno struge so v 70 % prekrivali prodniki, manjši del pa majhni kamni in pesek z muljem. Opazili smo večji skupek nitastih zelenih alg. Obrežno vegetacijo so po večini sestavljale vrbe (*Salix* spp.) in topoli (*Populus* sp.), od podrasti pa velika kopriva (*Urtica dioica*), kobulnice in trave. Največji delež zaledja so zajemali pašniki in travniki ter kmetijske površine, ki so bili pretežno na desnem bregu reke, medtem ko je bilo zaledje na levem bregu poraslo z gozdom. V neposredni bližini vzorčnega mesta sta bili 2 stanovanjski hiši s pripadajočimi manjšimi vinogradi in njivami, drugače pa so bile stanovanjske hiše na tem območju redko posejane.



Slika 5: Ortofoto posnetek z označenim prvim vzorčnim mestom na Voglajni, 230 m nižje od iztoka Slivniškega jezera

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

### 3.1.2 Vzorčno mesto pred čistilno napravo in železarno (Vog PRED)

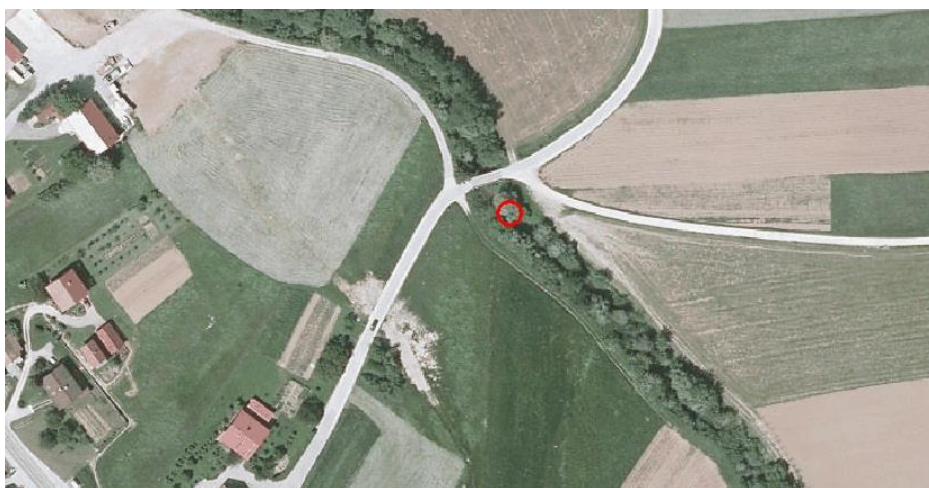
Lokacija: 440 m nižje od avtomatske merilne postaje Črnolica pri Šentjurju

Nadmorska višina: 263 m

Oddaljenost od izvira: 1,3 km

Ravninske koordinate v Gauss-Krugerjevi projekciji: Y=532988 X=117808

Drugo mesto smo izbrali 440 m nižje od avtomatske merilne postaje Črnolica pri Šentjurju, kar je pomenilo pred čistilno napravo in železarno. Struga reke tukaj je bila široka približno 6,5 m, globina vode je bila 30 cm. Dno je bilo prekrito z velikimi in majhnimi kamni, nekaj malega je bilo peska z muljem in skal. Struga je bila naravna, prav tako brežine, ki so bile porasle z drevesi. Največji delež so zavzemale vrbe (*Salix* spp.), manjši pa leska (*Corylus avellana*). V podrastju so bile najbolj pogoste različne kobulnice, velika kopriva (*Urtica dioica*) in navadni plotni slak (*Calystegia sepium*), manjši delež je zavzemal navadni gabez (*Symphytum officinale*), opazili pa smo tudi navadni hmelj (*Humulus lupulus*), ki se je vzpenjal po drevju. Več kot 80 % zaledja na tej lokaciji so predstavljala obsežna polja, na katerih gojijo predvsem koruzo. Polja so bila občasno presekana z manjšimi travniki in pašniki. Večina kmetijskih površin je bila na desnem bregu reke, medtem ko je bilo na levem ob glavni prometni cesti večje naselje.



Slika 6: Ortofoto posnetek z označenim drugim vzorčnim mestom na Voglajni, 440m nižje od avtomatske merilne postaje Črnolica

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

### 3.1.3 Vzorčno mesto za čistilno napravo in železarno (Vog ZA)

Lokacija: 670 m pred mostom čez Voglajno na Teharjah

Nadmorska višina: 239 m

Oddaljenost od izvira: 13 km

Ravninske koordinate v Gauss-Krugerjevi projekciji: Y= 523339 X=120017

Tretje mesto je bilo izbrano tik za iztoki odpadnih vod iz kompleksa podjetij ob Voglajni, ki so naslednice nekdanje Železarne Štore. Vodotok je bil širok približno 7 m, globina vode je bila okoli 50 cm. Na tem delu je bila struga delno regulirana, na dnu smo tako opazili pravilno položene velike kamne ter ostanke debel in vej. Nekaj malega je bilo majhnih kamnov in skal, medtem ko je bilo peska z muljem le 10 %. Tudi brežine so bile delno regulirane, in sicer so bile po desnem bregu pozidane s kamni, levi breg je bil naraven, a je tudi ta vzdolž struge proti Celju kmalu pozidan s kamni. Mesto vzorčenja je vključevalo tudi manjšo pregrado iz velikih skal, visoko približno 30 – 40 cm. Pred pregrado se je voda močno upočasnila, iztok pa je bil urejen skozi veliko betonsko cev na levi strani. V strugi na drugi strani pregrade smo v mirni vodi opazili številne ribe, velike približno 20 – 30 cm. Kjer brežina ni bila regulirana, so rasla različna drevesa. Največji delež so zasedale vrbe (*Salix* spp.) in topoli (*Populus* sp.), manjši del pa gaber (*Carpinus betulus*), javor (*Acer* sp.) in leska (*Corylus avellana*). V podrasti smo opazili različne kobulnice, veliko koprivo (*Urtica dioica*), navadni plotni slak (*Calystegia sepium*), različne trave in invazivno rastlino žlezavo nedotiko (*Impatiens glandulifera*). Zaledje Voglajne na tej lokaciji predstavlja industrijska cona z železnico in glavno prometno cesto Celje – Šentjur, ki se razprostira na desnem bregu reke, približno 1,5 km po toku navzgor od vzorčnega mesta. Leva stran zaledja pa je večinoma porasla z gozdom oziroma je v neposredni bližini mesta vzorčenja presekana s stanovanjskimi objekti in travniki tik ob strugi.



Slika 7: Ortofoto posnetek z označenim tretjim vzorčnim mestom na Voglajni, 670 m pred mostom čez Voglajno na Teharski cesti

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

#### 3.1.4 Vzorčno mesto na reki Velunji

Lokacija: približno 2 km zračne razdalje SV od Šoštanjskega jezera, 282 m dolvodno od mostu čez Velunjo na glavni cesti Velenje–Škale v kraju Gaberke

Nadmorska višina: 383 m

Oddaljenost od izvira: 11,57 km (zračne razdalje)

Ravninske koordinate v Gauss-Krugerjevi projekciji: Y=506298 X=138498

Četrto vzorčno mesto smo izbrali na reki Velunji pri Šoštanju, in sicer v kraju Gaberke. Struga reke je bila široka približno 5 m, globina pa 15 cm. 40 % substrata so predstavljali majhni kamni, manjši delež pa prod, veliki kamni in pesek z muljem. Le 5 % substrata so zajemale skale. Struga reke je bila naravna, prav tako brežine, ki so jih v večjem deležu poraščale vrbe (*Salix* spp.), manjši delež med drevesnimi vrstami pa so predstavljali črna jelša (*Alnus glutinosa*), hrast (*Quercus* sp.) in črni bezeg (*Sambucus nigra*). V podrastju smo najprej opazili invazivno rastlino žlezavo nedotiko (*Impatiens glandulifera*) in veliko koprivo (*Urtica dioica*), večji delež podrasti pa so zasedale trave. V neposredni bližini vzorčnega mesta na levem bregu reke je stanovanjska hiša, na desnem pa polje koruze.

Zaledje sestavljajo predvsem travniki in polja z vmesnimi strnjenimi naselji večinoma ob cesti ter gozd na zahodnem pobočju hriba Ležen.



**Slika 8: Ortofoto posnetek z označenim četrtim vzorčnim mestom na Velunji, 282 m dolovodno od mostu čez glavno cesto Šoštanj - Škale v kraju Gaberke**

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

### 3.2 VZORČENJE IN DOLOČANJE MAKROINVERTEBRATOV

Na vsaki lokaciji smo opravili po eno vzorčenje, pri čemer smo uporabili standardizirano metodo multihabitatnega vzorčenja (AQEM, 2002). Posamezen vzorec je bil sestavljen iz 20 vzorčnih podenot, nabranih na hidrološko različnih mikrohabitatih. Vzorčili smo s standardno ročno mrežo z odprtinami 0,5 x 0,5 mm in okvirjem 25 x 25 cm, ki je pritrjen na dolgo leseno držalo. Mrežo smo pri vzorčenju postavili pravokotno na substrat z odprtino proti toku in opravili tako imenovano metodo »kick sampling«. Približno 0,5 m pred odprtino mreže smo tako dvignili usedline in živali, ki jih je vodni tok odnesel v mrežo. Večje kamne smo pobrali z dna in jih dobro sprali v vodnem toku proti mreži. Posamezne nabrane vzorce smo razdelili na polovice, ki smo jih shranili v plastične vrečke in fiksirali v 5 % formaldehidu. V laboratoriju smo nabrane vzorce sprali pod tekočo vodo skozi sito z odprtinami 0,5 mm. Iz vzorcev smo pobrali ličinke in odrasle vodne makroinvertebrate ter jih shranili v 70 % etanolu. Nabrane živali smo v laboratoriju s

pomočjo določevalnih ključev določili do določene taksonomske ravni in jih nato shranili v steklenih kozarcih s 70 % etanolom.

### 3.3 VZORČENJE SEDIMENTA

Hkrati z vzorčenjem makroinvertebratov smo opravili tudi vzorčenje sedimenta, ki je potekalo v skladu s standardom SIST ISO 5667-12. Pred samim vzorčenjem smo poskrbeli za primerno zaščitno opremo (zaščitna obleka, rokavice, obutev) ter za čisto vzorčevalno posodo, ki smo jo predhodno dobro očistili z detergentom, osušili in sterilizirali. Vzorčevalna oprema je izbrana tako, da je po zagotovilih proizvajalca izključena kontaminacija vzorcev z materialom. Na vsaki lokaciji smo opravili po eno vzorčenje, posamezen vzorec pa je bil sestavljen iz 20 vzorčnih podenot. V strugi smo poiskali zamuljene dele oziroma dele, kjer je bila granulacija sedimenta najmanjša. To je bilo običajno tam, kje je bil vodni tok najpočasnejši, se pravi ob robu struge. Uporabili smo t. i. linijsko vzorčenje, ker sta reki Voglajna in Velunja manjša vodotoka. Vzorčili smo na globini od 0 do 20 cm globoko v sediment. Vzorce smo zajemali s plastično zajemalko oziroma z Ekmanovim škarjastim grabilcem, kjer je to bilo mogoče (vzorčno mesto Vog PRED). Na vsakem vzorčnem mestu smo odvzeli približno 2 kg vzorca, ki smo ga primerno označili (datum, ura, mesto vzorčenja, tip vzorca, vzorčevalec). Vzorec smo shranili v temno steklenico in ga med transportom do laboratorija hranili v hladilni torbi. Po vzorčenju je sledilo obvezno razkuževanje rok, čiščenje opreme in sterilizacija.

### 3.4 PRIPRAVA VZORCEV IN ANALIZA SEDIMENTA

Priprava in analiza vzorcev sedimenta je potekala na inštitutu ERICo Velenje, v laboratoriju, ki je akreditiran po standardu ISO/IEC 17025. Priprava vzorcev sedimentov je potekala v skladu s standardom SIST ISO 11464. Vzorec sedimenta smo najprej posušili do konstantne teže v sušilniku pri 37 °C, ga homogenizirali ter presejali preko sit z določenim premerom odprtin. Določeno maso vzorca smo zatehtali v posebne posode in mu dodali reagente določene kvalitete (voda, HCl, HNO<sub>3</sub>), posode pa nato postavili v aparat za mikrovalovni razklop (MilestoneEthos plus MicrowaveLabstation). Vzorec smo po mikrovalovnem razklopu po potrebi še redčili. Sledilo je merjenje koncentracije kovin v

vzorcu sedimenta na aparatu ICP-MS, Agilent 7500. Pred merjenjem vzorca smo naredili umeritveno krivuljo, da smo izmerili znane koncentracije kovin v standardu. Pri tem smo uporabili standardni referenčni material NIST 1643e. Nato smo v vzorcih določali koncentracije bakra, niklja, kadmija, svineca in kroma. Koncentracije posameznih kovin smo nato preračunali v mg/kg s.s.

### 3.5 MERITVE OKOLJSKIH SPREMENLJIVK

#### 3.5.1 Hidromorfološki parametri

Številne vrednosti fizikalnih in kemijskih parametrov ter prisotnost življenjskih združb so med drugim, tudi posledica hidroloških razmer (Urbanič in Toman, 2003). Na vzorčnih mestih smo izmerili globino vode (m), širino struge (m) ter določili tip in deleže substrata.

Za vsako izmed štirih vzorčnih mest smo s pomočjo spletne aplikacije Atlas okolja na internetni strani Agencije Republike Slovenije za okolje določili nadmorsko višino (m n. m.), ravninske koordinate v Gauss-Krügerjevi projekciji (X, Y) ter izmerili odaljenost (km) vzorčnega mesta od izvira vodotoka.

##### 3.5.1.1 Globina

Na osnovi izmerjenih globin vode določimo vodnatost vodnega telesa. Globino vodotokov smo izmerili z lesenim metrom, in sicer na različnih oddaljenostih od brega. Kot končni rezultat smo vzeli približno povprečno vrednost izmerjenih globin na posameznem vzorčnem mestu.

##### 3.5.1.2 Substrat

Substrat vpliva na transport številnih nutrientov in odpadnih snovi in sodeluje pri izmenjavi snovi z vodo. Poznavanje velikosti delcev omogoča razumevanje transporta, izvora in ekološkega vpliva substrata v vodnih okoljih. Delimo ga v dve osnovni skupini: anorganski (mineralni) in organski substrat. (Urbanič in Toman, 2003).

Za določitev deleža anorganskega in organskega substrata smo uporabili sistem AQEM (2002). Oba sistema se uporabljata pri ekološkem vrednotenju vodotokov v Evropski uniji. Razvrstili smo ju glede na vrsto in velikost delcev, nato smo določili deleže, ki jih posamezna kategorija zaseda na rečnem dnu (Urbanič in Toman, 2003).

**Preglednica 1: Razvrstitev anorganskega substrata po velikosti delcev (po AQEM, 2002)**

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

**Preglednica 2: Razvrstitev organskih substratov (po AQEM, 2002)**

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

### 3.5.2 Fizikalni in kemijski parametri

Na vseh štirih vzorčnih mestih smo pred vzorčenjem makroinvertebratov zabeležili navidezno barvo in vonj vode ter izmerili naslednje spremenljivke:

- pH,
- temperatura vode (°C),
- koncentracija raztopljenega kisika (mg/L),

- nasičenost s kisikom (%),
- elektroprevodnost ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ).

Na mestu vzorčenja smo odvzeli vzorce vode in jih shranili v hladilniku (oziroma jih zamrznili) za kasnejšo laboratorijsko analizo vsebnosti nitratov in ortofosfatov ter za določitev suspendiranih snovi. V laboratoriju smo izmerili tudi motnost vzorcev vode iz vseh štirih vzorčnih mest.

#### 3.5.2.1 Barva vode

Od barve in motnosti vode je odvisna globina, do katere prodre svetloba, zato vplivata na fotosintetsko aktivnost oz. primarno produkcijo. Barva vode je rezultat valovnih dolžin svetlobe, ki jih voda ne absorbira, ali raztopljenih oz. partikulatnih snovi. Dejanska barva je barva, merjena po filtraciji ali centrifugiranju vode. Lastna barva je posledica prisotnih obarvanih delcev in je rezultat loma žarkov in odbijanja svetlobe od suspendiranih delcev (Urbanič in Toman, 2003).

Na vseh štirih vzorčnih mestih smo zabeležili lastno barvo vode.

#### 3.5.2.2 Vonj vode

Vonj vode je običajno rezultat nestabilnih hlapnih organskih snovi, ki jih proizvajajo fitoplanktoni, makrofiti ali pa nastajajo pri razgradnji organskih snovi, in nakazuje povečano anaerobno biotsko aktivnost (Urbanič in Toman, 2003).

Na vzorčnih mestih smo zabeležili vonj vode, in sicer po subjektivni presoji. Naša ocenjevalna lestvica je imela 3 stopnje: brez vonja, rahlo neprijeten vonj in neprijeten vonj.

#### 3.5.2.3 pH

pH vpliva na mnoge biotske in kemijske procese v vodi. Spremembe v pH so lahko odraz prisotnosti efluentov, še zlasti, če je z meritvami ugotovljena tudi povišana prevodnost (Urbanič in Toman, 2003).

Na terenu smo pH vode merili z napravo HACH HQd Field Case (HQ40d multi).

#### 3.5.2.4 Temperatura in motnost vode

Temperatura vode neposredno vpliva na fizikalne, kemijske in biotske procese v vodnih telesih in posledično na vrednosti mnogih spremenljivk. Ob zvišanju temperature se kemijske reakcije pospešijo, zmanjša se topnost nekaterih plinov v vodi ( $O_2$ ,  $CO_2$  ...). Tudi metabolna aktivnost organizmov je povezana s temperaturo. V toplejši vodi zvišana stopnja respiracije vodi v povečano privzemanje kisika in pospešeno dekompozicijo organskih snovi. Zviša se stopnja rasti, zaradi tega se poveča motnost vode. Ker temperatura močno vpliva na mnoge pomembne dejavnike in procese v vodi, je zelo pomemben parameter pri določanju kakovosti voda (Urbanič in Toman, 2003).

Temperaturo vode ( $^{\circ}C$ ) smo na vseh vzorčnih mestih merili le enkrat, in sicer pred vzorčenjem makroinvertebratov in sedimenta. Merili smo z napravo HACH HQd Field Case (HQ40d multi).

Motnost posameznih vzorcev vode iz štirih vzorčnih mest smo izmerili v laboratoriju s spektrofotometrom pri 750 nm.

#### 3.5.2.5 Koncentracija raztopljenega kisika in nasičenost s kisikom

Koncentracija kisika je odvisna od fizikalnih, kemijskih in biotskih procesov v vodi. Z višanjem temperature in slanosti vode se topnost kisika zmanjša, medtem ko z večanjem turbulence narašča. Meritve koncentracije raztopljenega kisika so uporabne za ugotavljanje stopnje organske onesnaženosti vodnih teles, razpada organskih snovi in za določanje samočistilne sposobnosti vodnih teles (Urbanič in Toman, 2003).

Nasičenost vode s kisikom je odvisna od temperature, zračnega tlaka in koncentracije ionov. 100 % nasičenost pomeni najvišjo možno nasičenost vode ob danem zračnem tlaku in temperaturi. Kljub temu nasičenost lahko čez dan presega 100 %, če je primarna produkcija v vodi večja od respiracije. Takrat govorimo o biogenem prezračevanju.

Vrednosti pod 100 % nakazujejo višjo respiracijsko aktivnost od fotosintetske (Urbanič in Toman, 2003).

Koncentracijo raztopljenega kisika (mg/L) in nasičenost s kisikom (%) smo na terenu merili z napravo HACH HQd Field Case (HQ40d multi).

#### 3.5.2.6 Elektroprevodnost

Elektroprevodnost, skrajšano prevodnost, je opredeljena kot sposobnost vode, da prevaja električni tok. Bolj ko je vodno telo obremenjeno s hranili, tem višja je prevodnost. (Urbanič in Toman, 2003).

Na vseh štirih vzorčnih mestih smo elektroprevodnost ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) merili z napravo HACH HQd Field Case (HQ40d multi).

#### 3.5.2.7 Koncentracija nitratnih ionov

Vzorci vode, ki smo jih odvzeli na vsakem vzorčnem mestu, smo shranili v hladilniku oziroma jih zamrznili. Čez nekaj dni smo v laboratoriju opravili analizo nitratov.

Za določitev koncentracije nitratnih ionov (mg/L) smo uporabili metodo z natrijevim silicilatom. Nitratni ioni tvorijo v mediju brezvodne žveplove kisline z natrijevim silicilatom rumeno obarvano nitrosalicilno kislino, ki jo določimo fotometrično pri 430 nm. Izračunamo povprečno vrednost ekstinkcije po enačbi

$$E_{pov} = \frac{E1 + E2}{2} \quad \dots(1)$$

$E_{pov}$ ...povprečna vrednost ekstinkcije

$E1$ ...vrednost ekstinkcije vzorca v prvi pralelelki

$E2$ ... vrednost ekstinkcije vzorca v drugi pralelelki.

Nato smo izračunali še koncentracijo nitratov v vzorcu po enačbi:

$$NO_3^-(mg/l) = E_{pov} \times 9,63 \quad \dots(2)$$

(Urbanič in Toman, 2003).

### 3.5.2.8 Koncentracija ortofosfatnih ionov

Vzorke vode, ki smo jih odvzeli na vsakem vzorčnem mestu, smo shranili v hladilniku oziroma zamrznili. Čez nekaj dni smo v laboratoriju opravili analizo nitratov.

Za določitev koncentracije ortofosfatov smo uporabili metodo s kositrovim (II) kloridom. Amonmolibdat tvori v kislem mediju fosformolibdat, ki ga reduciramo s kositrovim (II) kloridom v intenzivno modro obarvan kompleks. Spojini s spektrofotometrom pri valovni dolžini 690 nm izmerimo ekstinkcijo. Izračunamo povprečno vrednost ekstinkcije o enačbi:

$$E_{pov} = \frac{E1 + E2}{2} \quad \dots(3)$$

$E_{pov}$ ...povprečna vrednost ekstinkcije

$E1$ ...vrednost ekstinkcije vzorca v prvi pralelelki

$E2$ ... vrednost ekstinkcije vzorca v drugi pralelelki.

Nato smo izračunali koncentracijo ortofosfatov v vzorcu:

$$PO_4^{3-}(mg/L) = E_{pov} \times 1,38 \quad \dots(4)$$

(Urbanič in Toman, 2003).

Meja detekcije ortofosfatnih ionov v vzorcu vode je bila 0,1 mg/L.

### 3.5.2.9 Sušina, skupne suspendirane snovi, skupne raztopljene snovi in organske snovi

Izraz sušina uporabljamo za snovi, ki ostanejo v posodi po sušenju pri temperaturi 105 °C. Sušino sestavljajo skupne suspendirane snovi (TSS) in skupne raztopljene snovi (TDS). Dobljena vrednost je le približno enaka skupni količini raztopljenih in suspendiranih snovi v vodi, saj se del karbonatov med sušenjem spremeni v CO<sub>2</sub> (Urbanič in Toman, 2003).

Raztopljene snovi v vodi so tiste, ki po filtriranju vode skozi stekleni filter ostanejo v vodi, izraz skupne suspendirane snovi pa se nanaša na suho maso snovi, ki jih s filtracijo skozi stekleni filter odstranimo iz znanega volumna vodnega vzorca. Pod tem izrazom so zajete anorganske in organske snovi v vodi. (Urbanič in Toman, 2003). Pri določanju skupnih suspendiranih snovi smo namesto filter papirja uporabili keramične lončke.

Sušino smo določili tako, da smo 1 liter vzorca vode z vzorčnega mesta segreli na sobno temperaturo. Lončke smo sušili v sušilniku pri temperaturi 105 °C do konstantne temperature in ohlajene stehali. V lončke smo nalili po 100 ml vzorca vode in jih 24 ur sušili pri temperaturi 105 °C. Lončke smo ohladili in ponovno stehali. Vrednost sušine smo izračunali po enačbi:

$$\text{sušina (mg/L)} = \frac{B - A}{C} \quad \dots(5)$$

A...masa praznega lončka (mg)

B...masa lončka + sušina (mg)

C...volumen sušenega vzorca (L).

TDS smo določali po istem postopku kot sušino, vendar s to razliko, da smo v lončke nalili vzorec vode, ki smo ga predhodno prefiltrirali skozi steklen valj. Vrednost TDS smo izračunali po enačbi:

$$\text{skupne raztopljene snovi (mg/l)} = \frac{B - A}{C} \quad \dots (6)$$

(Urbanič in Toman, 2003).

TSS (mg/L) predstavlja razliko med sušino (mg/L) in TDS (mg/L).

Po določanju sušine smo iste lončke dali v sežigalnik na 500 °C. Ko se teža lončkov ni več spreminjala oz. ko je bila dosežena konstantna teža, smo lončke ohladili in stekali. Razlika med težo lončka po sušenju (masa suhe snovi) in po sežigu (masa pepela) je predstavljala maso organskih snovi.

### 3.6 BIOLOŠKE IN STATISTIČNE ANALIZE

#### 3.6.1 Analiza sestave združbe makroinvertebratov

Ulovljene makroinvertebrate smo s pomočjo določevalnih ključev določili do družine, rodu oziroma vrste. Za vsako vzorčno mesto smo zapisali skupno število ulovljenih osebkov in število določenih taksonov. Pri prikazih števila najdenih osebkov in števila taksonov nismo upoštevali naslednjih najdenih taksonov: Hydrozoa, Nematoda, Hydracarina, Cyclopoida in Cladocera. Prav tako nismo upoštevali morebitnih najdenih bub.

#### 3.6.2 Deleži osebkov posameznih višjih taksonomskih skupin

Osebkke bentoških makroinvertebratov smo razvrstili v 13 višjih taksonomskih skupin:: Gastropoda, Bivalvia, Hirudinea, Oligochaeta, Amphipoda, Isopoda, Ephemeroptera, Plecoptera, Odonata, Coleoptera, Trichoptera, Diptera, Megaloptera. Poleg naštetih taksonov smo v nekaterih vzorcih našli še druge makroinvertebrate – Hydrozoa, Nematoda, Hydracarina, Cyclopoida in Cladocera, ki pa jih nismo upoštevali pri izračunu deležev višjih taksonomskih skupin. Prav tako pri izračunu nismo upoštevali morebitnih najdenih bub.

Delež osebkov višjih taksonomskih skupin smo izračunali s pomočjo spodnje formule, pri čemer smo upoštevali vsako vzorčno mesto posebej.

$$p_i = \frac{n_i}{n}$$

... (7)

$p_i$ .....delež osebkov i-tega višjega taksona

$n_i$ .....število osebkov i-tega višjega taksona

$n$ .....število vseh osebkov v vzorcu

### 3.6.3 Deleži prehranskih skupin

Taksone smo razvrstili v 6 prehranskih skupin po Fauna Aquatica Austriaca (Moog, 1995), ki so sledeče: detritivori (DET), strgalci (WEI), drobilci (ZKL, HOL, MIN), filtratorji (AFIL, PFIL), plenilci (RÄU, PAR) in drugo (SON). Nato smo določili deleže prehranskih skupin glede na vzorčno mesto.

### 3.6.4 Shannon-Wienerjev diverzitetni indeks

Omenjeni indeks spada med t. i. diverzitetne indekse. Najpreprostejša mera diverzitete je število vrst, prisotnih v združbi, vendar običajno ni zadostna. Poleg števila vrst je pomembna tudi pogostost osebkov posameznih vrst. Njihova praktična vrednost je v tem, da ni potrebno poznati natančne taksonomske uvrstitve vseh osebkov. Pomembno je, da razlikujemo osebkke različnih vrst, ne pa tudi, kateri vrsti pripadajo (Urbanič in Toman, 2003).

Shannon-Wienerjev diverzitetni indeks je najbolj razširjena mera za diverzitetu. Pozitivna stran tega indeksa je, da ni odvisen od površine, s katere so bili vzorci pobrani, je brezdimenzijski in v njem je upoštevana relativna abundanca vsakega taksona. Odvisen je od sezone in določanja taksonomskega nivoja organizmov (Urbanič in Toman, 2003).

Enačba za izračun Shannon-Wienerjevega diverzitetnega indeksa (Washington, 1984) je:

$$H' = - \sum_{i=1}^n p_i \times \log_2 p_i$$

...(8)

$H'$ ....diverziteta

$p_i$ .....delež taksona »i«

$n$ .....število taksonov

Višja kot je vrednost  $H'$ , večja je diverziteta. V analizi vrednotenja voda dosega  $H'$  maksimalne vrednosti 4 – 5. Na osnovi Shannon-Wienerjevega diverzitetnega indeksa sta Wilhm in Dorris (Washington, 1984) predlagala interpretacijo kakovosti vodnega okolja, ki jo prikazuje preglednica 3 (Urbanič in Toman, 2003).

**Preglednica 3: Kakovost vodnega okolja v odvisnosti od vrednosti Shannon-Wienerjevega diverzitetnega indeksa (po Wilhm&Dorris, 1966, cit. po Washington, 1984)**

| Vrednost diverzitetnega indeksa | Kakovost vode       |
|---------------------------------|---------------------|
| $H' > 3$                        | Neobremenjena       |
| $H' = 2-3$                      | Malo obremenjena    |
| $H' = 1-2$                      | Srednje obremenjena |
| $H' < 1$                        | Močno obremenjena   |

### 3.6.5 Klastrska analiza združbe makroinvertebratov

Podobnost med vzorčnimi mesti prikazujemo s klastersko analizo združbe velikih vodnih nevretenčarjev. Za mero podobnosti smo izbrali Bray-Curtisov in Sørensenov indeks podobnosti.

#### 3.6.5.1 Bray- Curtisov indeks

Osnova tega indeksa je število osebkov tistih taksonov, ki so skupni dvema vzorcema. Enačba Bray- Curtisovega indeksa je naslednja:

$$S_{BC} = \frac{2W}{(A + B)} \quad \dots(9)$$

$S_{BC}$  ....Bray- Curtisova enačba

W .....število skupnih osebkov v obeh vzorcih

A .....število osebkov v 1. vzorcu

B .....število osebkov v 2. vzorcu

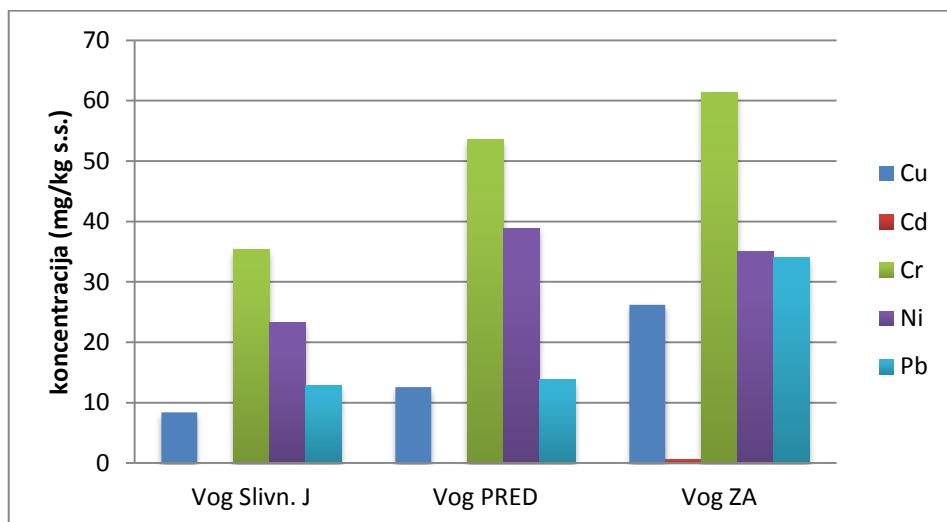
Podatke smo predhodno logaritmirali, da se je pomen zelo številčnih taksonov nekoliko ublažil. Vzorčna mesta, ki bodo imela med seboj podobno število osebkov, bodo imela vrednost indeksa okoli 0. Vrednosti okoli 1 bodo imela mesta z najmanjšo stopnjo podobnosti. Rezultati so prikazani v obliki dendrograma, ki smo ga naredili z računalniškim programom SYN-TAX (Podani, 2001).

#### 3.6.5.2 Sørensenov indeks podobnosti

Osnova omenjenega indeksa je število skupnih vrst dveh vzorcev, rezultati pa so prikazani v obliki dendrograma. Vzorčna mesta, ki bodo imela med seboj največ podobnih taksonov, bodo imela vrednost indeksa okoli 0, mesta z najmanjšo medsebojsno podobnostjo pa bodo imela vrednost indeksa okoli 1.

## 4 REZULTATI

### 4.1 ANALIZA SEDIMENTA



Slika 9: Vsebnost kovin v sedimentu na treh vzorčnih mestih na reki Voglajni

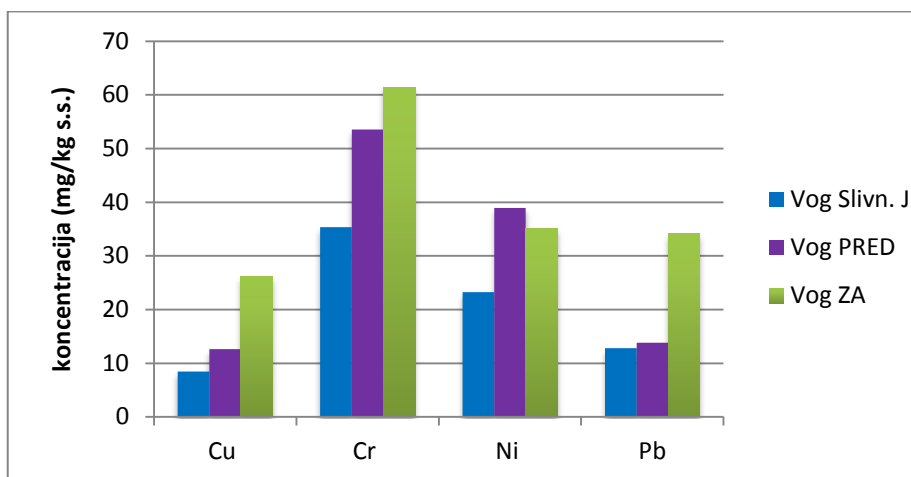
Najvišje vrednosti kovin v sedimentu smo izmerili na vzorčnem mestu Vog ZA, najnižje pa na vzorčnem mestu Vog Slivn. j.

Na vzorčnem mestu Vog Slivn. j. smo izmerili najvišjo koncentracijo za Cr (35,3 mg/kg s.s.), najnižjo pa za Cu (8,4 mg/kg s.s.). Hkrati sta omenjeni vrednosti tudi najvišji izmerjeni za ti dve kovini. Vrednost za Ni na tem vzorčnem mestu je znašala 23,2 mg/kg s.s., za Pb pa 12,8 mg/kg s.s. Koncentracija Cd je bila pod mejo detekcije (0,4 mg/kg s.s.).

Na vzorčnem mestu Vog PRED je bila najvišja izmerjena koncentracija za Cr (53,5 mg/kg s.s.), najnižja pa za Cu (12,6 mg/kg s.s.). Druga najvišja izmerjena koncentracija je znašala 38,9 mg/kg s.s., in sicer smo jo izmerili za Ni. Vsebnost Pb je znašala 13,8 mg/kg s.s. Koncentracija Cd je bila tudi tukaj pod mejo detekcije (0,4 mg/kg s.s.).

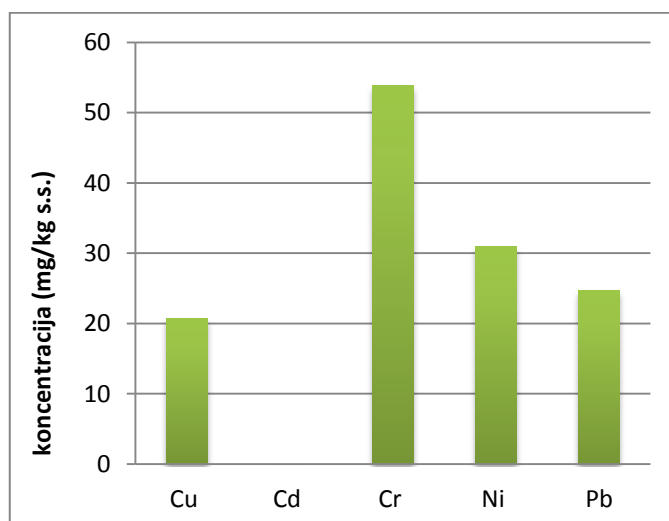
Na vzorčnem mestu Vog ZA je najvišja izmerjena vrednost znašala 61,4 mg/kg s.s., in sicer za Cr, najnižjo vrednost pa smo izmerili za Cd (0,6 mg/kg s.s.). Koncentraciji Ni in

Pb sta bili zelo podobni, znašali sta 35,0 mg/kg s.s. in 34,1 mg/kg s.s. Koncentracija Cu je znašala 26,2 mg/kg s.s.



**Slika 10: Koncentracije kovin glede na tri vzorčna mesta na reki Voglajni**

Slika 10 prikazuje vrednosti izmerjenih koncentracij Cu, Cr, Ni in Pb glede na tri vzorčna mesta na Voglajni. Iz nje lahko razberemo, da so najvišje izmerjene koncentracije na vseh treh mestih za Cr, druge najvišje pa za Ni. Za Cu so bile na vseh treh mestih izmerjene najnižje vrednosti. Na sliki nismo prikazali vsebnosti Cd, saj smo le na vzorčnem mestu Vog ZA izmerili koncentracije nad mejo detekcije, na ostalih dveh pa sta bili koncentraciji pod to mejo.



**Slika 11: Koncentracije kovin v sedimentu na vzorčnem mestu na reki Velunji**

Najvišjo koncentracijo v sedimentu reke Velunje smo izmerili za Cr (53,8 mg/kg s.s.), najnižjo pa za Cu (20,7 mg/kg s.s.). Koncentracija Ni je znašala 30,9 mg/kg s.s., koncentracija Pb pa 24,7 mg/kg s.s. Koncentracija Cd je bila pod mejo detekcije (0,4 mg/kg s.s.).

## 4.2 MERITVE OKOLJSKIH SPREMENLJIVK

### 4.2.1 Hidromorfološki parametri

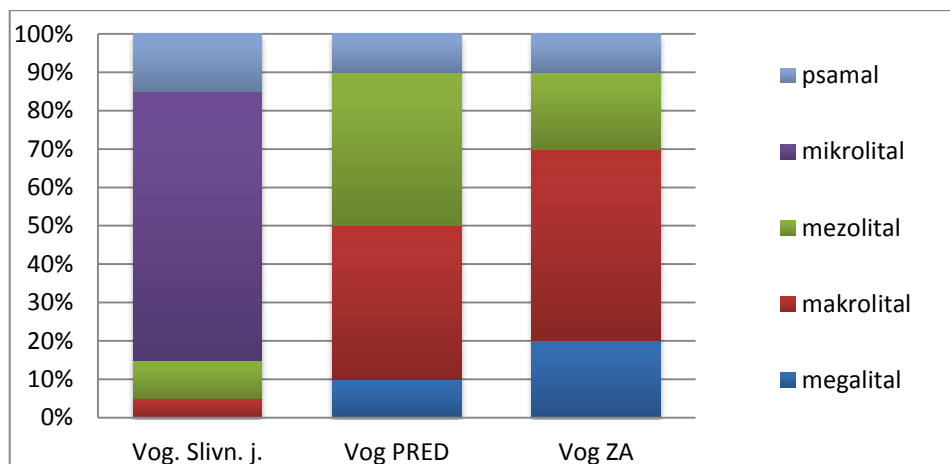
#### 4.2.1.1 Globina in širina struge

**Preglednica 4: Hidromorfološki parametri za tri vzorčna mesta na reki Voglajni in za vzorčno mesto na reki Velunji**

| VZORČNO MESTO     |               |          |        |         |
|-------------------|---------------|----------|--------|---------|
|                   | Vog Slivn. j. | Vog PRED | Vog ZA | Velunja |
| globina vode (m)  | 0,15          | 0,30     | 0,50   | 0,15    |
| širina struge (m) | 4,30          | 6,50     | 7,30   | 5,20    |

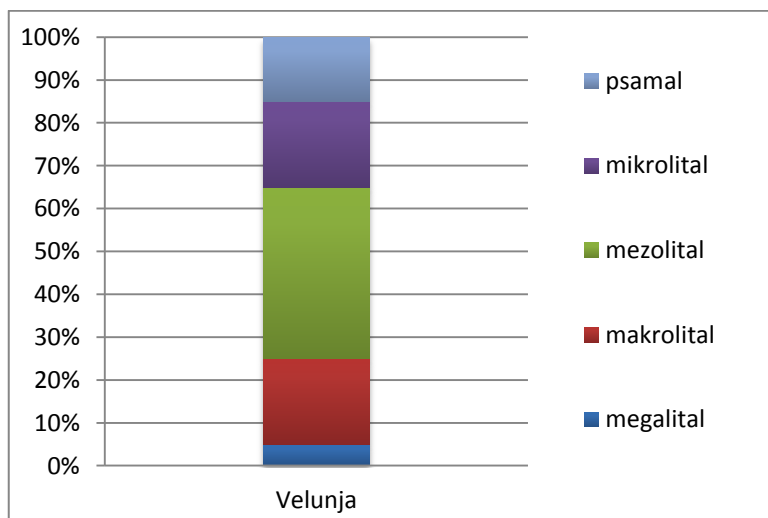
Največjo širino in globino smo izmerili na reki Voglajni, in sicer na vzorčnem mestu Vog ZA, kjer je širina struge znašala 7,3 metre, globina pa 0,5 metra. Najmanjšo širino struge smo izmerili na vzorčnem mestu Vog Slivn. j., medtem ko je bila najnižja globina (0,15 m) izmerjena na dveh vzorčnih mestih, t. j. na Velunji in na vzorčnem mestu Vog Slivn. j.

#### 4.2.1.2 Substrat



Slika 12: Deleži anorganskega substrata na treh vzorčnih mestih na reki Voglajni

Na vzorčnem mestu Vog. Slivn. j. je največji delež (70 %) anorganskega substrata zavzemal mikrolital, psamal ob robovih struge je zavzemal 15 % anorganskega substrata, medtem ko so najmanjši delež (5 %) predstavljali veliki kamni. Na vzorčnem mestu Vog PRED sta največji delež struge zasedala makrolital in mezolital (oba po 40 %), megalital je predstavljal 10 % anorganskega substrata, prav tako pa psamal, ki smo ga našli ob robu struge. Na vzorčnem mestu Vog ZA pa je prevladoval makrolital (50 %), megalital in mikrolital pa sta predstavljala vsak po 20 % anorganskega substrata. Najmanjši delež je pripadal psamalu (10 %).



Slika 13: Deleži anorganskega substrata na vzorčnem mestu na reki Velunji

Največji delež (40 %) anorganskega substrata na vzorčnem mestu na Velunji je zavzemal mezolital, najmanjši (5 %) pa megalital. Ostali trije tipi anorganskega substrata (makrolital, mikrolital, psamal) so bili zastopani s približno enakimi deleži (20 %, 20 % in 15 %).

**Preglednica 5: Deleži organskega substrata na treh vzorčnih mestih na reki Voglajni in na vzorčnem mestu na reki Velunji**

| <b>VZORČNO MESTO</b>                    |                      |                 |               |                |
|-----------------------------------------|----------------------|-----------------|---------------|----------------|
|                                         | <b>Vog Slivn. j.</b> | <b>Vog PRED</b> | <b>Vog ZA</b> | <b>Velunja</b> |
| <b>Makroalge (%)</b>                    | 98                   | 0               | 0             | 0              |
| <b>Ksilal (les) (%)</b>                 | 0                    | 0               | 40            | 0              |
| <b>Večji organski delci (CPOM) (%)</b>  | +                    | +               | +             | +              |
| <b>Manjši organski delci (FPOM) (%)</b> | 0                    | 0               | 35            | 0              |

+substrat zajema manj kot 5% površine rečnega dna

Največji delež organskega substrata smo našli na Voglajni, in sicer na vzorčnem mestu Vog. Slivn. j., kjer so makroalge zavzele kar 98 % vsega prisotnega organskega substrata. Manj kot 5 % delež so predstavljali večji organski delci. Na vzorčnem mestu Vog ZA je največji delež organskega substrata zavzemal ksilal (40 %), ki je gradil vodno pregrado, 35 % pa je bilo manjših organskih delcev. Na vzorčnem mestu Vog PRED in na vzorčnem mestu na Velunji nismo opazili pomembnega deleža organskega substrata, smo pa na vseh štirih mestih našli manjše deleže večjih organskih delcev, predvsem listja, vendar je omenjen tip substrata zajemal manj kot 5 % površine rečnega dna. Drugih tipov organskega substrata na vzorčnih mestih nismo našli, prav tako nismo opazili makrofitov.

## **4.2.2 Fizikalni in kemijski parametri**

### **4.2.2.1 Barva in vonj**

**Preglednica 6: Lastna barva in vonj vode na treh vzorčnih mestih na reki Voglajni in na vzorčnem mestu na reki Velunji**

| VZORČNO MESTO            |                          |                       |                       |                       |
|--------------------------|--------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
|                          | Vog Slivn. J.            | Vog PRED              | Vog ZA                | Velunja               |
| <b>lastna barva vode</b> | rjavkasto oranžna        | ni opazne obarvanosti | ni opazne obarvanosti | ni opazne obarvanosti |
| <b>vonj vode</b>         | neprijeten (po škropivu) | rahlo neprijeten      | neprijeten            | brez vonja            |

Na Voglajni smo na vseh treh vzorčnih mestih zaznali neprijeten vonj vode, na vzorčnem mestu Vog Slivn. j. je imela vonj po škropivu. Na tem mestu smo opazili tudi rjavkasto oranžno barvo vode, medtem ko na ostalih dveh vzorčnih mestih na Voglajni in na vzorčnem mestu na Velunji ni bilo opazne obarvanosti vode. Na Velunji nismo zaznali neprijetnega vonja vode.

#### 4.2.2.2 pH

**Preglednica 7: pH vode na treh vzorčnih mestih na reki Voglajni in na vzorčnem mestu na reki Velunji**

| VZORČNO MESTO |               |          |        |         |
|---------------|---------------|----------|--------|---------|
|               | Vog Slivn. J. | Vog PRED | Vog ZA | Velunja |
| <b>pH</b>     | 7,4           | 7,9      | 8,0    | 8,2     |

Na vzorčnem mestu na Velunji smo izmerili najvišjo pH vrednost (8,2). Na Voglajni smo najvišjo pH vrednost (8,0) izmerili na vzorčnem mestu Vog ZA. Najnižji pH smo izmerili na Voglajni, in sicer na vzorčnem mestu Vog Slivn. j, kjer je pH vode znašal 7,4.

#### 4.2.2.3 Temperatura vode in motnost

**Preglednica 8: Temperatura vode na treh vzorčnih mestih na reki Voglajni in na vzorčnem mestu na reki Velunji**

| VZORČNO MESTO                |               |          |        |         |
|------------------------------|---------------|----------|--------|---------|
|                              | Vog Slivn. J. | Vog PRED | Vog ZA | Velunja |
| <b>ura merjenja</b>          | 10:50         | 9:10     | 12:35  | 16:05   |
| <b>temperatura vode (°C)</b> | 20,4          | 17,7     | 19,7   | 16,5    |

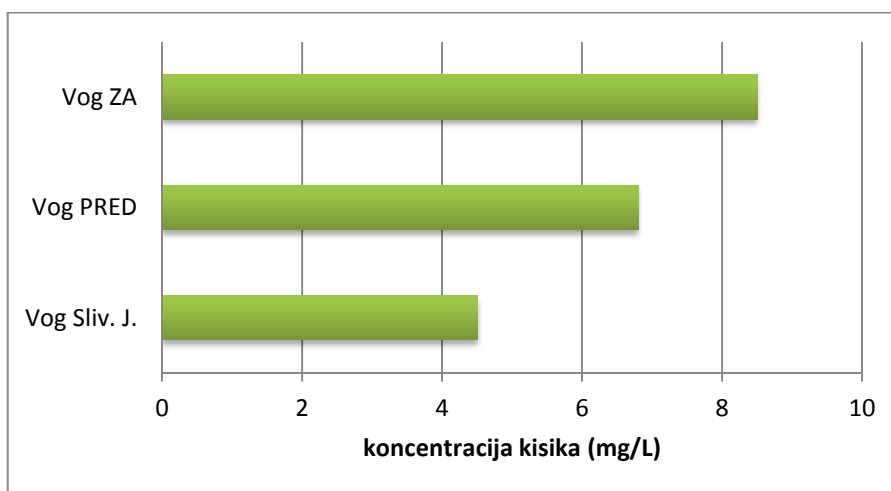
Temperatura vode v Velunji je bila nižja kot na vseh treh vzorčnih mestih na Voglajni – znašala je 16,5 °C. Najvišjo temperaturo smo izmerili na vzorčnem mestu Vog Slivn. j., in sicer 20,4 °C.

**Preglednica 9: Motnost vode na treh vzorčnih mestih na reki Voglajni in na vzorčnem mestu na reki Velunji**

| VZORČNO MESTO |               |          |        |                    |
|---------------|---------------|----------|--------|--------------------|
|               | Vog Slivn. j. | Vog PRED | Vog ZA | Velunja            |
| Motnost       | 0,051         | 0,005    | 0,004  | pod mejo detekcije |

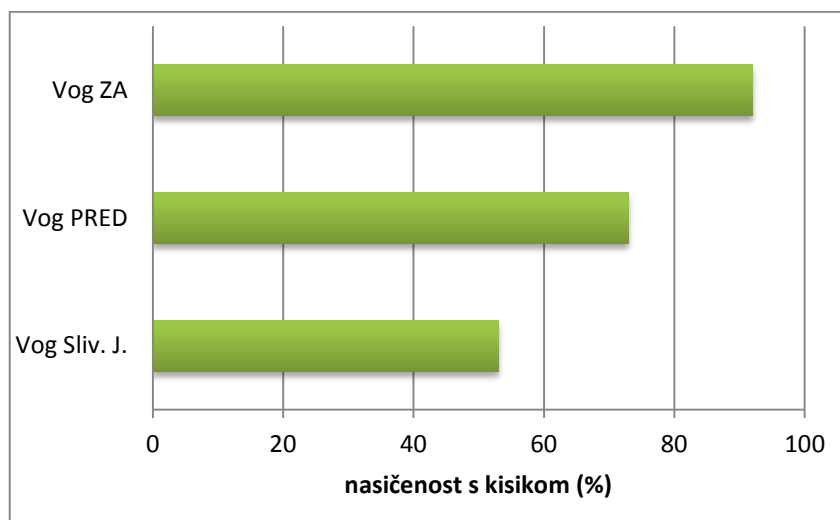
Najvišjo motnost vode smo izmerili na vzorčnem mestu Vog Slivn. j. (0,051), vrednosti na vzorčnih mestih Vog PRED in Vog ZA pa sta znašali 0,005 in 0,004. V vzorcu vode iz Velunje je bila vrednost za motnost pod mejo detekcije.

#### 4.2.2.4 Koncentracija kisika in nasičenost s kisikom



**Slika 14: Koncentracija kisika na treh vzorčnih mestih na reki Voglajni**

Najvišjo koncentracijo kisika na reki Voglajni smo izmerili na vzorčnem mestu Vog ZA (8,5 mg/L), in sicer ob 12:35, najnižjo pa na vzorčnem mestu Vog Slivn. j. (4,5 mg/L) ob 10:50. Koncentracija kisika na vzorčnem mestu Vog PRED je znašala 6,8 mg/L.



Slika 15: Nasičenost vode s kisikom na treh vzorčnih mestih na reki Voglajni

Najvišjo nasičenost s kisikom na reki Voglajni smo ob 12:35 izmerili na vzorčnem mestu Vog ZA (92 %), najnižjo pa na vzorčnem mestu Vog Slivn. j. (53 %). Na vzorčnem mestu Vog PRED smo ob 9:10 izmerili 73 % nasičenost s kisikom.

Preglednica 10: Koncentracija kisika in nasičenost s kisikom na vzorčnem mestu na Velunji

|                             | Velunja |
|-----------------------------|---------|
| ura merjenja                | 16:05   |
| koncentracija kisika (mg/L) | 10,0    |
| unasičenost s kisikom (%)   | 105     |

Na vzorčnem mestu na reki Velunji ob 16:05 je bila izmerjena koncentracija kisika 10,0 mg/L, nasičenost vode s kisikom pa je bila 105 %.

#### 4.2.2.5 Elektroprevodnost

Preglednica 11: Elektroprevodnost vode na treh vzorčnih mestih na reki Voglajni in na vzorčnem mestu na reki Velunji

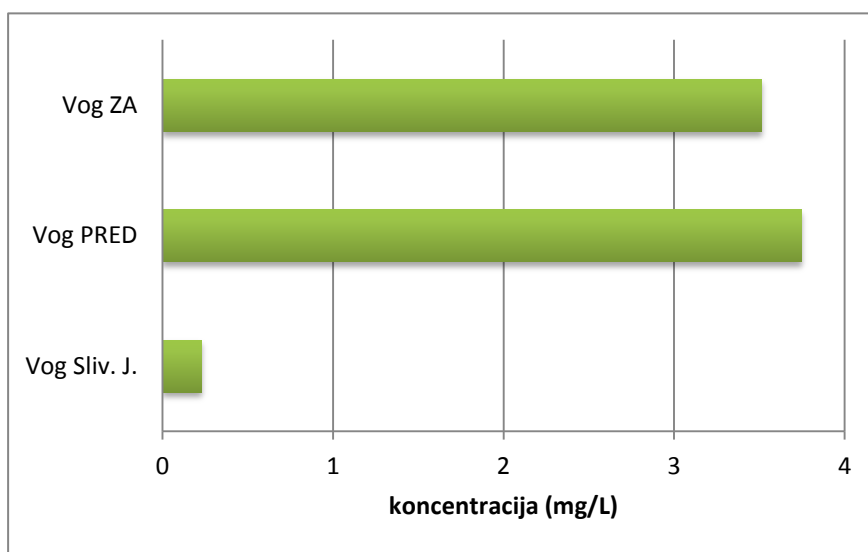
| VZORČNO MESTO                                 |               |          |        |         |
|-----------------------------------------------|---------------|----------|--------|---------|
|                                               | Vog Slivn. j. | Vog PRED | Vog ZA | Velunja |
| elektroprevodnost ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) | 300           | 360      | 540    | 309     |

Najvišjo elektroprevodnost na reki Voglajni smo izmerili na vzorčnem mestu Vog ZA, ki je znašala 540  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , najnižjo pa na vzorčnem mestu Vog. Slivn. j. Na vzorčnem mestu Vog PRED je izmerjena prevodnost znašala 360  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Prevodnost, izmerjena na Velunji, je znašala 309  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

#### 4.2.2.6 Koncentracija nitratnih ionov

**Preglednica 12: Koncentracija nitratov na treh vzorčnih mestih na reki Voglajni in na vzorčnem mestu na reki Velunji**

| VZORČNO MESTO | Koncentracija nitratov (mg/L) |
|---------------|-------------------------------|
| Vog Sliv. J.  | 0,23                          |
| Vog PRED      | 3,75                          |
| Vog ZA        | 3,51                          |
| Velunja       | 3,87                          |



**Slika 16: Koncentracija nitratov na treh vzorčnih mestih na reki Voglajni**

Na reki Voglajni smo najnižjo vsebnost nitratov izmerili na vzorčnem mestu Vog Slivn. j. (0,23 mg/L), najvišjo pa na vzorčnem mestu Vog PRED (3,75 mg/L). Na vzorčnem mestu Vog ZA je izmerjena vrednost nitratov znašala 3,51 mg/L.

Na vzorčnem mestu na reki Velunji je bila koncentracija nitratov 3,87 mg/L.

#### 4.2.2.7 Koncentracija ortofosfatnih ionov

**Preglednica 13: Koncentracija ortofosfatov na treh vzorčnih mestih na reki Voglajni in na vzorčnem mestu na reki Velunji**

| VZORČNO MESTO | Koncentracija ortofosfatov (mg/L) |
|---------------|-----------------------------------|
| Vog Sliv. J.  | pod mejo detekcije                |
| Vog PRED      | pod mejo detekcije                |
| Vog ZA        | pod mejo detekcije                |
| Velunja       | pod mejo detekcije                |

Na vseh treh vzorčnih mestih na reki Voglajni in na vzorčnem mestu na reki Velunji so bile izmerjene koncentracije ortofosfatov pod mejo detekcije.

#### 4.2.2.8 Sušina, skupne suspendirane snovi, skupne raztopljene snovi in organske snovi

**Preglednica 14: Vrednosti sušine, TDS, TSS in organskih snovi na treh vzorčnih mestih na reki Voglajni in na vzorčnem mestu na reki Velunji**

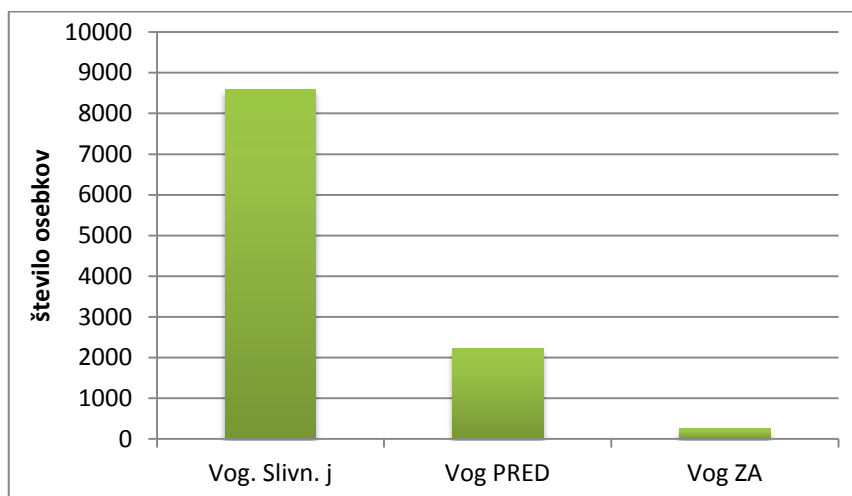
| VZORČNO MESTO | sušina (mg/L) | TDS (mg/L) | TSS (mg/L) | organske snovi (mg) |
|---------------|---------------|------------|------------|---------------------|
| Vog Sliv. J.  | 230           | 210        | 20         | 21,4                |
| Vog PRED      | 270           | 200        | 70         | 22,8                |
| Vog ZA        | 410           | 390        | 20         | 29                  |
| Velunja       | 220           | 200        | 20         | 20,2                |

Najvišjo vrednost sušine (410 mg/L) na reki Voglajni smo izmerili na vzorčnem mestu Vog ZA, najnižjo (230 mg/L) pa na vzorčnem mestu Vog. Slivn. j. Na mestu Vog PRED je sušina znašala 270 mg/L. Najvišjo vsebnost skupnih suspendiranih snovi (70 mg/L) smo izmerili na vzorčnem mestu Vog PRED, najnižjo pa na vzorčnih mestih Vog Slivn. j. in Vog ZA (20 mg/L). Najvišja vsebnost skupnih raztopljenih snovi je bila ugotovljena na vzorčnem mestu Vog ZA, in sicer je znašala 390 mg/L. Na ostalih dveh mestih je TDS vrednost znašala 210 mg/L (Vog. Slivn. j.) in 200 mg/L (Vog PRED). Največ organskih snovi smo ugotovili za vzorčno mesto Vog Za (29 mg), najnižjo pa za vzorčno mesto Vog Slivn. j. (21,4 mg). Na vzorčnem mestu Vog PRED je masa organskih snovi znašala 22,8 mg.

Na vzorčnem mestu na reki Velunji smo izmerili 20 mg/L skupnih suspendiranih snovi in 200 mg/L skupnih raztopljenih snovi, sušina je znašala 220mg/L, masa organske snovi pa 20,2 mg.

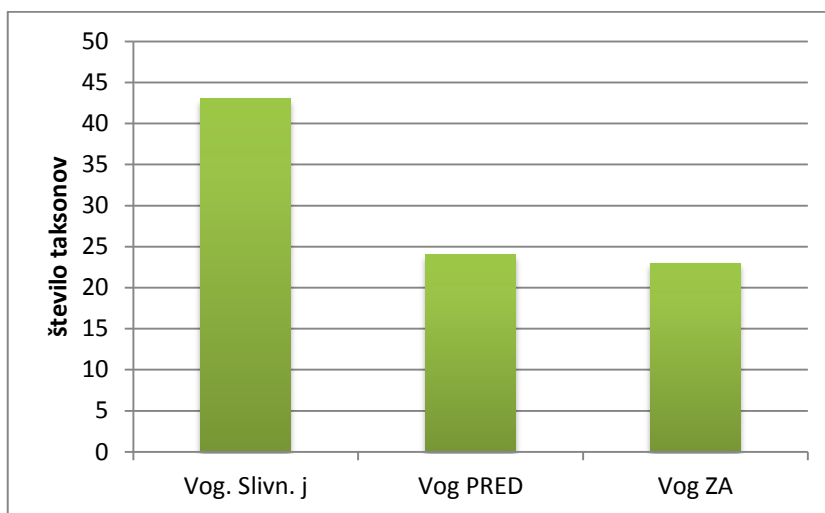
#### 4.3 BIOLOŠKE IN STATISTIČNE ANALIZE

##### 4.3.1 Analiza sestave združbe makroinvertebratov



Slika 17: Število osebkov na treh vzorčnih mestih na reki Voglajni

Na reki Voglajni smo skupaj našli 11077 osebkov, od tega največ na vzorčnem mestu Vog. Slivn. j., in sicer 8595. Najmanj osebkov smo našli na vzorčnem mestu Vog ZA (253). Na vzorčnem mestu Vog PRED pa smo našli 2229 osebkov.



**Slika 18: Število taksonov na treh vzorčnih mestih na reki Voglajni**

Na reki Voglajni smo na treh vzorčnih mestih skupaj našli 50 taksonov. Seznam vseh najdenih taksonov je naveden v prilogi A.

Na reki Voglajni smo največ, to je 43, različnih taksonov ulovili na vzorčnem mestu Vog. Slivn. j, najmanj (23) pa na vzorčnem mestu Vog ZA. Na vzorčnem mestu Vog PRED smo našli 24 različnih taksonov.

**Preglednica 15: Število osebkov in število taksonov na vzorčnem mestu na reki Velunji**

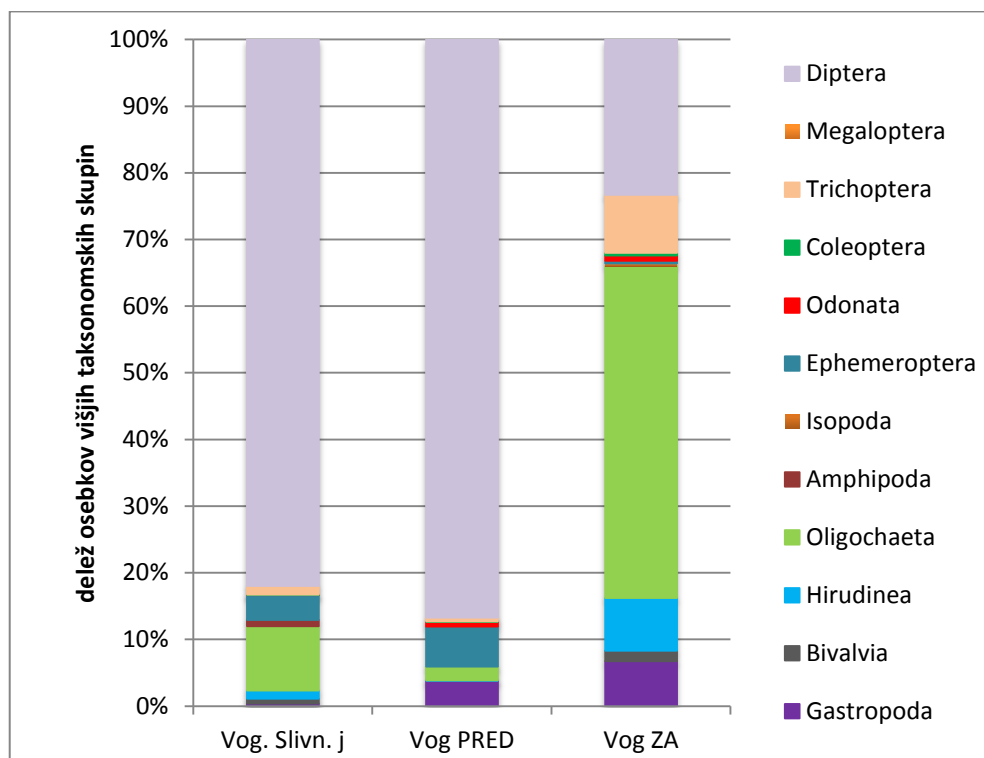
| vzorčno mesto | št. osebkov | št. taksonov |
|---------------|-------------|--------------|
| Velunja       | 457         | 22           |

Na vzorčnem mestu na reki Velunji smo skupaj našli 457 osebkov, ki so pripadali 22 različnim taksonom. Podroben pregled vseh najdenih taksonov prikazuje preglednica pod prilogo A.

#### **4.3.2 Delež osebkov posameznih višjih taksonomskih skupin**

Skupno smo na treh vzorčnih mestih na reki Voglajni in na vzorčnem mestu na reki Velunji našli 56 različnih taksonov, ki smo jih razvrstili v 13 višjih taksonomskih skupin: polži (Gastropoda), školjke (Bivalvia), maloščetinci (Oligochaeta), pijavke (Hirudinea), postrance (Amphipoda), enakonožci (Isopoda), enodnevnice (Ephemeroptera), vrbnice

(Plecoptera), kačji pastirji (Odonata), hrošči (Coleoptera), mladoletnice (Trichoptera), velekrilci (Megaloptera) in dvokrilci (Diptera).



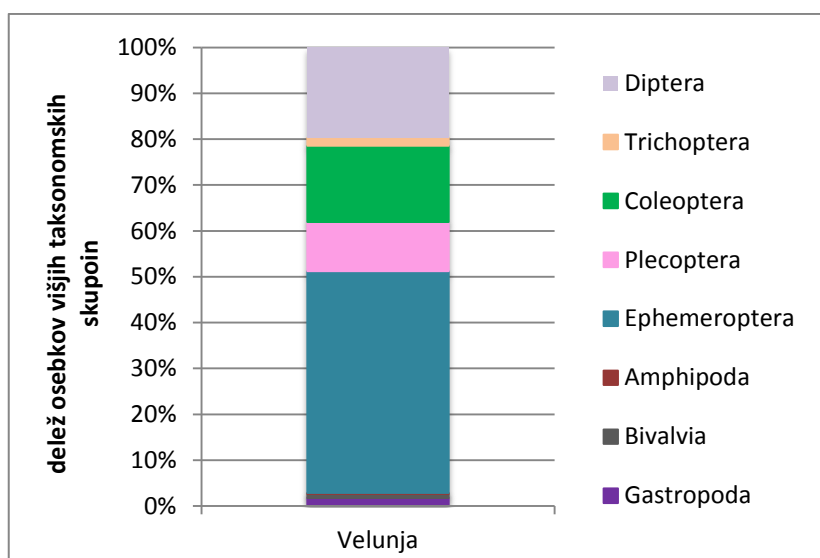
Slika 19: Deleži osebkov višjih taksonomskih skupin na treh vzorčnih mestih na reki Voglajni

Na vzorčnem mestu Vog.Slivn. j. je večinski delež najdenih osebkov (82 %) pripadal dvokrilcem, medtem ko je drugi najbolj zastopan takson (maloščetinci) predstavljal le 10 %. Enodnevnice z edinim rodом *Baetis* sp. so bile zastopane s slabimi 4 %, mladoletnice (predvsem *Hydropsyche* sp.) in pijavke (po večini *Helobdella stagnalis*) pa so predstavljale vsaka po 1,5 %. Manj kot 1 % delež so predstavljali polži (5 različnih rodov), školjke (*Pisidium* sp.), kačji pastirji (*Gomphus* sp.), hrošči (*Orectochilus villosus*), postrance (*Gammarus fossarum*) in velekrilci z edino vrsto *Sialis fuliginosa* (megaloptera).

Na vzorčnem mestu Vog PRED smo našli največ predstavnikov dvokrilcev, in sicer okoli 87 %, medtem ko so enodnevnice z edinim predstavnikom *Baetis* sp. predstavljale le 6 %. Pomemben delež so imeli polži, večinoma vrsti *Physella acuta* in *Ancylus fluviatilis* (4 %), in maloščetinci z vrsto *Stylodrilus heringianus* (2 %), medtem ko so kačji pastirji

(*Calopteryx splendens*), pijavke (*Helobdella stagnalis*), hrošči (odrasel predstavnik vrste *Hydraena sp.*) in mladoletnice (*Hydropsyche sp.*) zavzemali manj kot 1 %.

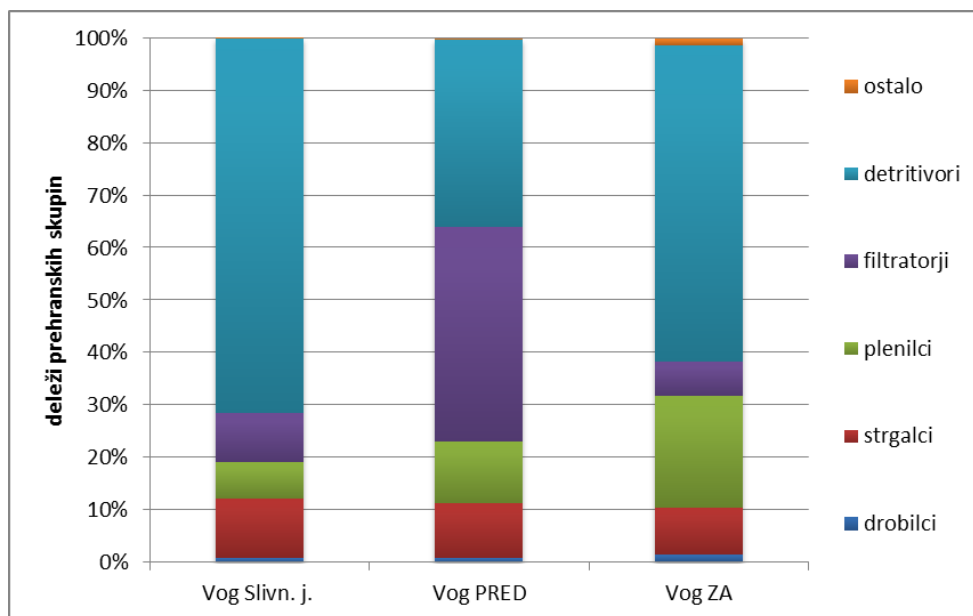
Na vzorčnem mestu Vog ZA so bili najbolj zastopani predstavniki maloščetincev s 50 %, ki so jim sledili dvokrilci (23 %). Mladoletnice (predvsem *Hydropsyche sp.*) in pijavke (večinoma *Erpobdella oculata*) so predstavljale vsaka po 8 %, polži (*Physella acuta*) pa 7 %. Školjke (*Pisidium sp.*) so bile zastopane s 7 %, medtem ko so enakonožci (*Asellus aquaticus*), enodnevnice (*Baetis sp.*), kačji pastirji (*Gomphus sp.*) in hrošči (*Limnius sp.*) predstavljali manj kot 1 %.



Slika 20: Deleži osebkov višjih taksonomskih skupin na vzorčnem mestu na reki Velunji

Na vzorčnem mestu na reki Velunji smo našli 8 različnih višjih taksonomskih skupin, od katerih so največji delež (49 %) predstavljale enodnevnice iz rodu *Baetis*. Sledili so jim dvokrilci z 20 % in hrošči s 17 %, ki smo jih razvrstili v 5 rodov, med katerimi je največ predstavnikov pripadalo rodu *Limnius*, našli pa smo tudi osebke rodov *Limnius*, *Hydraena* in *Esolus*. Vrtnice (večinoma *Leuctra sp.*, en osebek pa iz družine Perlidae) so imele 11 %, mladoletnice (*Hydropsyche sp.* in *Rhyacophila sp.*) in polži (*Ancylus fluviatilis*) pa vsak po 2 %. Školjke (*Pisidium sp.*) in postranice (*Gammarus fossarum*) so bile zastopane z manj kot 1 %.

#### 4.3.3 Sestava prehranskih skupin makroinvertebratov



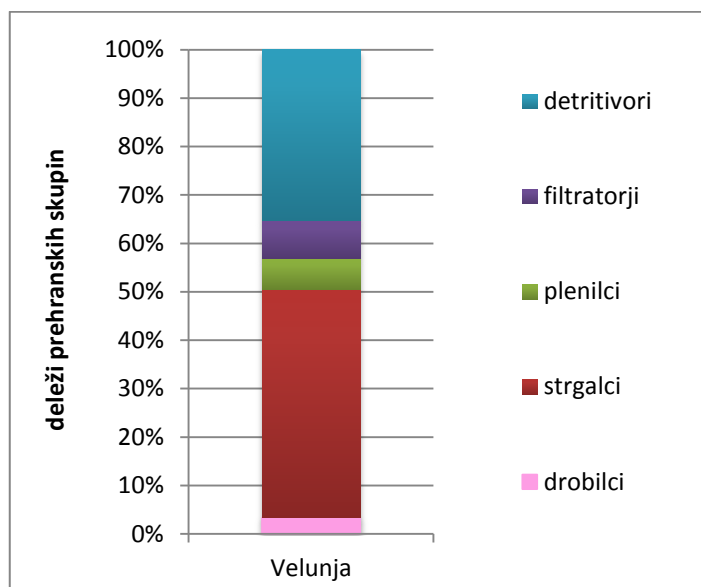
Slika 21: Deleži prehranskih skupin na treh vzorčnih mestih na reki Voglajni

Na vseh vzorčnih mestih na reki Voglajni smo našli predstavnike, ki spadajo v šest prehranskih skupin, med drugim tudi v kategorijo »ostalo«. Organizmov v tej skupini ne moremo opredeliti v nobeno izmed petih običajnih skupin.

Na vzorčnem mestu Vog Slivn. j. so prevladovali detritivori (71 %), sledili so jim strgalci (11,5 %), filtratorji (10 %) in plenilci (7 %). Najmanjši delež so zasedli drobilci (1%).

Na vzorčnem mestu Vog PRED so prevladovali filtratorji z 41 %, detritivori pa so zavzemali 36 %. Plenilci in strgalci so bili zastopani z enakim deležem (11–12 %), drobilci pa z 1%.

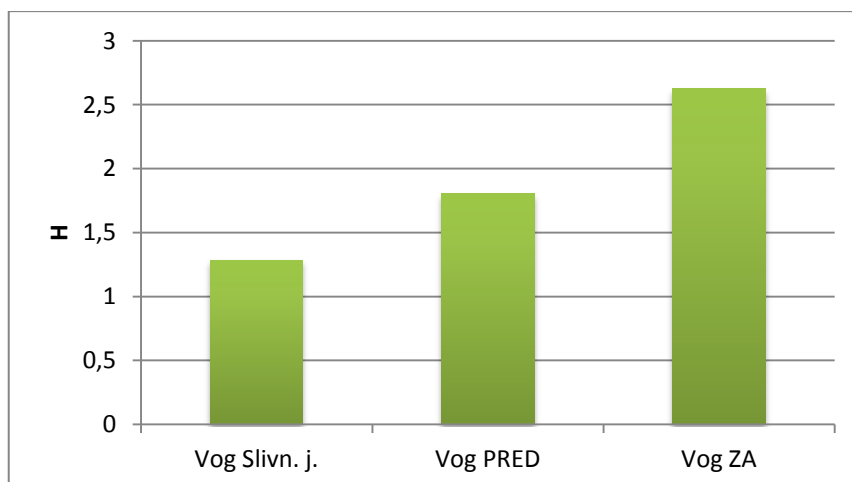
Na vzorčnem mestu Vog ZA je največji delež pripadal detritivorom (60 %), plenilci pa so predstavljali 21 % delež. Sledili so strgalci (9 %) in filtratorji (6 %), drobilci pa so zavzemali 1,5 % delež.



Slika 22: Deleži prehranskih skupin na vzorčnem mestu na reki Velunji

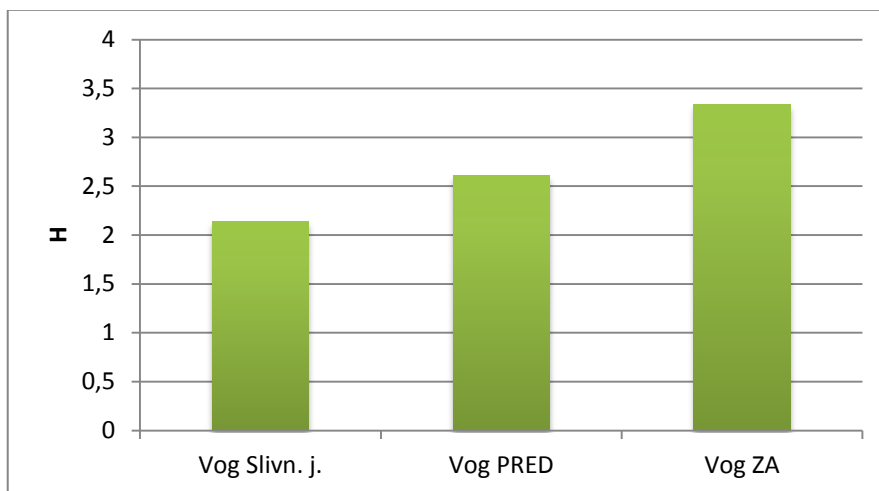
Na vzorčnem mestu na reki Velunji smo organizme razvrstili v pet prehranskih skupin. Največji delež (47 %) so zavzemali strgalci, detritivori pa so bili zastopani s 35 % deležem. Filtratorji in plenilci so predstavljali približno enak delež (8 % in 6%), najmanjši delež pa je pripadal drobilcem (3 %).

#### 4.3.4 Shannon-Wienerjev diverzitetni indeks



Slika 23: Vrednosti Shannon-Wienerjevega diverzitetnega indeksa na nivoju družine na treh vzorčnih mestih na reki Voglajni

Na reki Voglajni smo vrednosti Shannon-Wienerjevega diverzitetnega indeksa naredili na nivoju družine. Najvišjo vrednost indeksa smo izračunali za vzorčno mesto Vog ZA (2,7), najnižjo pa na vzorčnem mestu Vog Slivn. j. (1,3). Na vzorčnem mestu Vog PRED je vrednost indeksa znašala 1,8.



**Slika 24: Vrednosti Shannon-Wienerjevega diverzitetnega indeksa na nivoju rodu na treh vzorčnih mestih na reki Voglajni**

Na reki Voglajni smo vrednosti Shannon-Wienerjevega diverzitetnega indeksa naredili tudi na nivoju rodu. Najvišjo vrednost smo izračunali na vzorčnem mestu Vog ZA, ki je znašala 3,3, najnižjo pa na vzorčnem mestu Vog Slivn. j. (2,1). Na vzorčnem mestu Vog PRED je vrednost znašala 2,6.

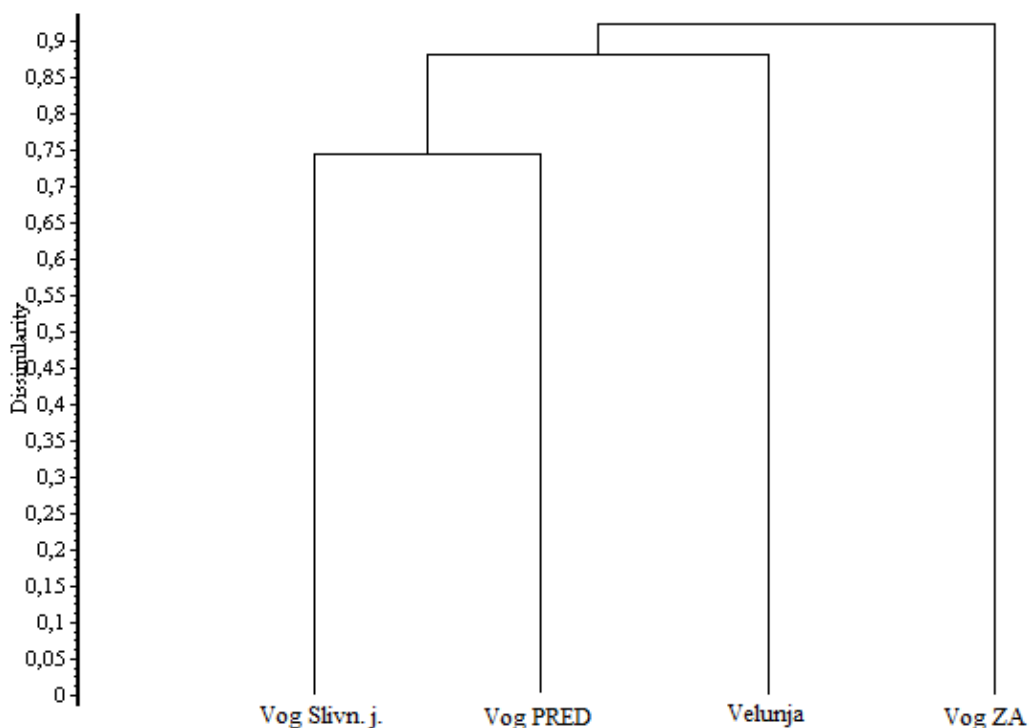
**Preglednica 16: Vrednosti Shannon-Wienerjevega diverzitetnega indeksa na nivoju družine in rodu na vzorčnem mestu na reki Velunji**

| Velunja             |     |
|---------------------|-----|
| $H'$ (nivo družine) | 2,5 |
| $H'$ (nivo rodu)    | 2,8 |

Na vzorčnem mestu na reki Velunji je vrednost Shannon-Wienerjevega diverzitetnega indeksa na podlagi družine znašala 2,5, na podlagi rodu pa 2,8.

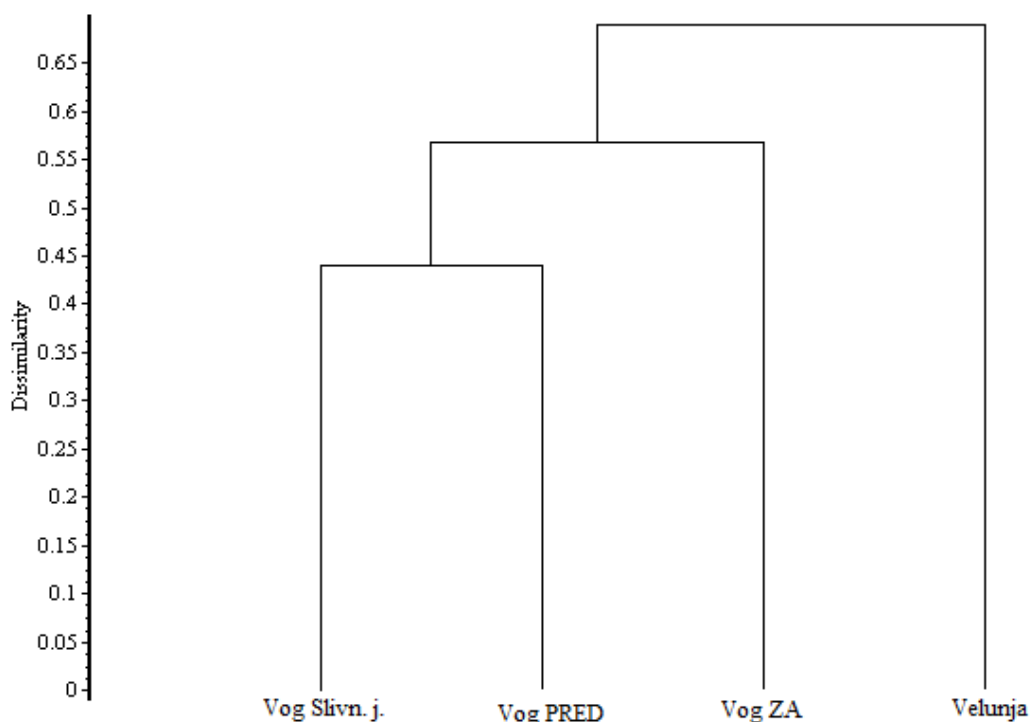
#### 4.3.5 Klastrska analiza združbe makroinvertebratov

##### 4.3.5.1 Bray – Curtisov indeks



**Slika 25: Dendrogram podobnosti štirih vzorcev nevretenčarjev, nabranih na treh vzorčnih mestih na reki Voglajni in enem vzorčnem mestu na reki Velunji. Uporabili smo Bray–Curtisov indeks podobnosti**

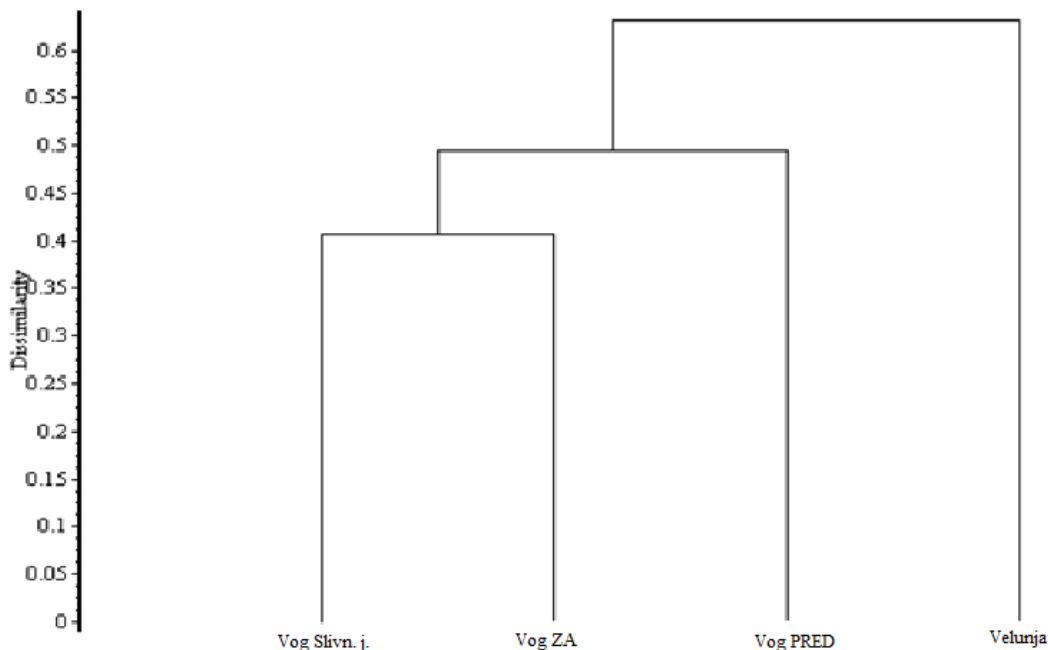
Iz dendrograma je razvidno, da so si vzorčna mesta na reki Voglajni močno različna. Najbolj podobni mesti, in sicer v samo 25 %, sta Vog. Slivn. j. in Vog PRED, medtem ko je bilo tretje vzorčno mesto, Vog ZA, najbolj različno – več kot v 90 % napram vzorčnima mestoma v zgornjem toku reke Voglajne. Prvi dve mesti na Voglajni sta bolj podobni referenčnemu mestu na reki Velunji kot vzorčnemu mestu Vog ZA.



**Slika 26: Dendrogram podobnosti štirih vzorcev nevretenčarejv, nabranih na treh vzorčnih mestih na reki Voglajni in enem vzorčnem mestu na reki Velunji. Uporabili smo Bray–Curtisov indeks podobnosti na osnovi logaritmiranih vrednosti**

Iz zgornjega dendrograma, ki smo ga naredili na podlagi Bray–Curtisovega indeksa podobnosti na osnovi logaritmiranih vrednosti, je razvidno, da sta si na reki Voglajni najbolj podobni vzorčni mesti v zgornjem toku reke (Vog. Slivn. j. in Vog PRED), in sicer v 55 %, medtem ko se tretje vzorčno mesto v spodnjem toku precej razlikuje. Referenčno mesto na reki Velunji je v primerjavi z mesti na reki Voglajni precej drugačno.

#### 4.3.5.2 Sørensenov indeks podobnosti



**Slika 27: Dendrogram različnosti štirih vzorcev nevretenčarjev, nabranih na treh vzorčnih mestih na reki Voglajni in enem vzorčnem mestu na reki Velunji. Uporabili smo Sørensenov indeks**

Iz dendrograma je razvidno, da je bila podobnost vzorcev združbe nevretenčarjev največja na vzorčnih mestih Vog Slivn. j. in Vog ZA, in sicer smo našli približno 58 % skupnih taksonov. Združba, ki smo jo nabrali na tretjem vzorčnem mestu na reki Voglajni, pa je v primerjavi z drugima dvema mestoma za 8 % drugačna. Združba na referenčnem vzorčnem mestu na reki Velunji se je izkazala za precej drugačno v primerjavi z združbo na reki Voglajni, saj sta združbi različni za približno 20 %.

## 5 RAZPRAVA IN SKLEPI

### 5.1 RAZPRAVA

#### 5.1.1 Sediment in vsebnost kovin

Trenutno veljavna zakonodaja v Sloveniji narekuje vsakoletno spremljanje stanja večjih vodotokov, med katere sodi tudi reka Voglajna. Monitoring med drugim narekuje tudi spremljanje koncentracij kovin v vodi in v sedimentu, predvsem Cd in Hg, ki sta opredeljena kot prednostno nevarne snovi (PNS), merijo pa se tudi druge kovine, ki so opredeljene kot prednostne snovi (PS) (Cu, Ni, Pb, Cr, Zn).

Analiza sedimenta reke Voglajne je pokazala naraščanje koncentracij kovin po toku, razen za Ni, ki je imel višek na srednjem vzorčnem mestu, t. j. vzorčno mesto, označeno kot Vog PRED. Vzrok za to gre iskati v že stoletja trajajoči industriji na območju Štor, ki predstavlja glavnino zaledja vzorčnega mesta za ČN in železarno, medtem ko je prvo vzorčno mesto v zgornjem toku reke neobremenjeno z vplivom industrije. Najbolj linearno je naraščala koncentracija **Cr**, za katerega smo na vseh treh vzorčnih mestih izmerili najvišje vsebnosti v sedimentu. Cr je esencialen mikroelement, ki pa je lahko pri povišanih koncentracijah toksičen za vodne organizme (Minago project, 2010). Koncentracije **Pb** in **Cu** so močno narasle na zadnjem vzorčnem mestu v primerjavi s prvima dvema mestoma, kar bi lahko kazalo na obremenitev zaradi dolgoletne prisotnosti železarske industrije v zaledju zadnjega vzorčnega mesta. Cu je namreč indikator industrijskega onesnaževanja v urbanih okoljih (Cardwell in sod., 2002). Najbolj nepričakovane rezultate smo dobili za **Cd**, saj smo le na vzorčnem mestu za ČN in železarno izmerili koncentracijo nad mejo detekcije, na ostalih dveh mestih pa je bila koncentracija prenizka, da bi jo izmerili. Vrednosti nad to mejo nakazujejo na neko dogajanje v sedimentu in potencialen vpliv Cd na prisotno združbo. Cd je zelo toksičen že v majhnih koncentracijah, zato bi bilo smiselno meriti vsebnost te kovine v sedimentu večkrat kot to sedaj opravljajo pristojni organi. Vzrok za višje koncentracije **Ni** in **Cr** na vzorčnem mestu pred ČN in železarno lahko razložimo kot depozite nekdanje tovarne posode v kraju Gorica pri Slivnici, kjer so za

emajliranje uporabljali zmes Ni in Cr. Isto razlago za povišane vrednosti kovin v sedimentu reke Voglajne pri Celju sta podala Štern in Förstner (1976).

Pri primerjavi izmerjenih koncentracij kovin na reki Voglajni s koncentracijami na reki Velunji opazimo, da so slednje na splošno sicer nižje od tistih na reki Voglajni, vendar so najbolj primerljive s koncentracijami na vzorčnem mestu Vog PRED in Vog ZA. Reko Velunjo smo vzeli kot referenčno mesto, a se je v primeru vsebnosti kovin v sedimentu za bolj referenčno in manj obremenjeno s kovinami izkazalo vzorčno mesto Vog Slivn. j. Reka Velunja leži v neposredni bližini Termoelektrarne Šoštanj in verjetno so višje koncentracije kovin v sedimentu posledica onesnaževanja zraka in usedanja atmosferskih delcev z vezanimi ioni kovin v sedimente reke Velunje.

Če najvišje koncentracije izmerjenih kovin v sedimentu na treh vzorčnih mestih na reki Voglajni primerjamo s koncentracijami, ki so bile izmerjene leta 2003 v okviru letnega monitoringa površinskih vod (Monitoring..., 2005), opazimo, da so takratne koncentracije precej višje. Tako so izmerili več kot 140 % višjo vsebnost Cd (85 mg/kg), skoraj šestkrat višjo vsebnost Cu (150 mg/kg), približno štirikrat višjo vsebnost Ni (160 mg/kg) in dvakrat višjo vsebnost Pb (73 mg/kg). Tudi raziskave, ki so jih opravili Franciškovič-Bilinski in sod. (2002), so pokazale povišane vrednosti kovin v sedimentih Voglajne blizu Štor. Ti podatki nam povedo, da se je obremenjevanje reke Voglajne v približno desetletju precej zmanjšalo, saj monitoringi po letu 2003 (Monitoring..., 2006, 2007; Ocena ekološkega..., 2010; Ocena stanja rek..., 2012) ne navajajo trenda naraščanja kovin v sedimentu.

Glede na ugotovljene nizke koncentracije kovin v sedimentu reke Voglajne, ki ne izkazujejo trenda naraščanja, pa njihov negativen vpliv na združbo makroinvertebratov in na ekosistem reke predvsem v predelu Štor in Celja ni izključen. Kovine niso vključene v biološke sisteme, vendar pa imajo verjetno subletalen in kroničen vpliv na prisotne organizme. Tudi Di Veroli in sod. (2010) so ugotovili, da vrednosti kovin (Cr, Cu, Pb, Ni, Cd, Zn) v sedimentu proučevanega jezera niso kazale na večjo onesnaženost, pa vendar so opazili povečanje deformacij čeljusti pri vrsti *Chironomus plumosus* iz jesenskih vzorcev, ker so ti bili dlje časa v stiku s sedimentom v primerjavi s populacijo iz spomladanskih vzorcev. Vzrok naj bi bil sinergizem med različnimi toksikanti v jezeru (kovine,

pesticidi...). Kot pravi Ochieng in sod. (2008) lahko nizke koncentracije kovin služijo kot zgodnje opozorilo za degradacijo okolja zaradi prisotnih toksičnih substanc. Posledično verjetno prihaja tudi do bioakumulacije kovin v prehranski verigi, vendar bi za potrditev te teze bile potrebne nadaljnje raziskave, ki bi zajemale tudi merjenje kovin v organizmih, predvsem v plenilcih (npr. ribe), ki so na vrhu prehranskih verig. Samo z analizo sedimenta dobimo namreč malo informacij o količini kovin, ki prehajajo v biomaso v vodnem ekosistemu. Če se ugotovijo povišane koncentracije kovin v sedimentu, to še ne pomeni povišanih koncentracij v organizmih (Förstner in Wittmann, 1976). V prihodnje bi bilo smiselno analizirati tudi različne kovinine zvrsti v sedimentu ter ugotavljati koncentracije kovin in kovininih zvrsti v vodi. Hkrati bi bila smiselna tudi podrobnejša analiza prisotnosti ionov v vodi kot je na primer  $\text{Ca}^{2+}$ , ki dokazano vpliva na toksičnost kovin. K analizi petih že merjenih kovin pa bi lahko dodali še druge, predvsem Zn, in sicer iz dveh razlogov: kjer se pojavlja Cd, se vedno tudi Zn (Förstner in Wittmann, 1976), in zaradi dolgoletnih povišanih vrednosti Zn v zraku in prsti na območju Celjske kotline.

Izmerjene koncentracije kovin v sedimentih so odraz trenutnega stanja reke Voglajne.

### **5.1.2 Hidromorfološki, fizikalni in kemijski parametri**

Namen vrednotenja kakovosti voda je definirati stanje voda in zagotoviti osnovo za ugotavljanje trendov v spreminjanju kakovosti. Da dobimo najpopolnejšo predstav o vodnem telesu in njegovi kakovosti, moramo fizikalne, kemijske in biološke analize izvesti istočasno. Medtem ko nam prvi dve analizi pokažeta le trenutno stanje vodotoka, pa z biološkimi metodami ugotavljamo stanje, ki je rezultat vseh prisotnih abiotičnih in biotičnih dejavnikov, ki vplivajo na prisotne življenjske združbe (Urbanič in Toman, 2003).

Primerjava treh vzorčnih mest na reki Voglajni glede na izmerjene hidromorfološke, fizikalne in kemijske parametre pokaže zanimive razlike med mesti.

Struga reke Voglajne se od najbolj zgornjega vzorčnega mesta (Vog. Slivn. j.) proti najbolj spodnjemu (Vog. ZA) precej razširi in poglobi, hitrost vodnega toka pa se postopoma zmanjšuje. Brežine in struga reke na izvirnem mestu ter mestu pred ČN in železarno so še popolnoma naravne, medtem ko so na območju industrijskega kraja Štore in naprej proti

Celju umetno narejene iz zazidanih kamnov, na strugi pa so umetno (iz skal in lesenih hlodov) narejene stopničaste pregrade. Na vseh treh mestih smo zaznali neprijeten vonj vode, na mestu izvirni del je imel vonj po škropivu, kar je nakazovalo na morebitno prisotnost pesticidov v vodi. Hkrati pa smo samo na tem mestu opazili rjavkasto barvo vode, zaradi česar je bila voda rahlo motna, kar je bila verjetno posledica prisotnih huminskih kislin. Referenčno mesto na reki Velunji je bilo glede širine in globine vodotoka, brežin in hitrosti toka podobno vzorčnemu mestu izvirni del na reki Voglajni.

Glede na tip **anorganskega in organskega substrata** smo ugotovili razlike med vzorčnim mestom izvirni del in ostalima dvema mestoma. Na najbolj zgornjem vzorčnem mestu so prevladovali veliki prodniki (mikrolital), v manjšem obsegu so bili prisotni še majhni in veliki kamni ter psamal, ni pa bilo velikih skal. Na drugih dveh vzorčnih mestih so bili prisotni enaki tipi anorganskega substrata, le razmerja med njimi so bila drugačna. Primerjalno z mestom pred ČN in železarno se je na mestu za ČN in železarno delež velikih skal in velikih kamnov povečal, delež majhnih kamnov zmanjšal, delež psamala pa je ostal približno enak. Na zgornjem mestu smo našli nitaste zelene alge, ki so predstavljale kar 98 % organskega substrata in prekrivale le 5 % celotne struge. Anorganski substrat na referenčnem mestu je bil bolj heterogen kot na vzorčnih mestih na Voglajni, z bolj ali manj enakomerno razporejenimi petimi tipi. Glede na organski substrat pa je bilo referenčno mesto podobno mestu pred ČN in železarno, saj je na obeh mestih bilo prisotno le listje.

Ker reka Voglajna teče po karbonatni podlagi, je voda rahlo bazična, saj smo na vseh vzorčnih mestih izmerili **pH** vrednost med 7,4 in 8,0, kar je v mejah normale za tekoče vode. Najnižja vrednost, ki je bila izmerjena na izvirnem delu, je verjetno posledica merjenja v zgodnjem dopoldanskem času, ko je bila fotosintetska aktivnost še nizka in so bile v vodi zaradi respiracije v nočnem času prisotne višje koncentracije raztopljenega CO<sub>2</sub>. Nasproten proces pa se je odvijal v popoldanskem času (porabljanje CO<sub>2</sub> in naraščanje pH vrednosti), ko smo na vzorčnem mestu za ČN in železarno izmerili najvišjo pH vrednost. Dnevno nihanje je v največji meri rezultat fotosintetske aktivnosti in respiracije primarnih producentov (Urbanič in Toman, 2003). Na referenčnem mestu je bila izmerjena najvišja pH vrednost (8,2), kar je še v okviru normalnih mej. Razlog za

visoko vrednost gre iskati v merjenju v popoldanskem času, ko je koncentracija CO<sub>2</sub> že močno upadla, saj smo na tem mestu izmerili 105 % nasičenost s kisikom.

**Temperatura vode** na reki Voglajni se je gibala med 17,7 °C in 20,5 °C. Ker smo izvedli poletno vzorčenje, so bile temperature vode temu primerno visoke. Tudi Kodrnja (2012) je na reki Voglajni ob vzorčenju 25. 8. 2009 izmerila podobne temperature, medtem ko so bile novembrske približno 1x nižje. Temperatura, merjena v dopoldanskem času, je bila praviloma nižja od popoldanske, poleg tega pa smo nižje temperature izmerili na tistih mestih, kjer je bila stopnja senčenja večja. To velja za vzorčno mesto pred ČN in železarno, kjer je bil vodotok popolnoma v senci dreves, čeprav smo temperaturo merili blizu opoldneva v sončnem vremenu. Senčenje namreč zmanjšuje visoke poletne temperature in krajša čas trajanja najvišjih dnevnih temperatur (Giller in Malmqvist, 1998). Da smo na mestu izvorni del kljub dopoldnevu izmerili dokaj visoko temperaturo (20,4 °C) sta verjetno vplivala nizka stopnja senčenja in nizek vodostaj. Na vzorčnem mestu za ČN in železarno pa smo izmerili višjo temperaturo zaradi popoldanskega merjenja, globlje struge in zastajajoče vode za pregrado.

Temperatura vode je imela, poleg časa merjenja in drugih fizikalnih, kemijskih in bioloških dejavnikov, vpliv tudi na **koncentracijo raztopljenega kisika in nasičenost s kisikom**. Koncentracija O<sub>2</sub> se je povečevala po reki Voglajni, prav tako je naraščala nasičenost s kisikom, ki pa nikjer ni presegla 100 %. Na izvirnem delu smo pričakovali višjo vsebnost O<sub>2</sub>, saj na to mesto ne vplivata povečana urbanizacija in industrija, kmetijstvo pa ima manjši vpliv, izmerili pa smo najnižjo vsebnost (4,5 mg/L in 53 % nasičenost). To je bila najverjetneje posledica merjenja v dopoldanskem času, višje temperature vode, nizkega vodostaja in prisotnosti velikega števila makroinvertebratov. Poleg tega na to mesto ključno vpliva Slivniško jezero, iz katerega iztekata organsko obogatena voda in sediment. Presenetljivo smo najvišjo vsebnost O<sub>2</sub> namerili na mestu za ČN in železarno, kjer pa smo zaradi globlje in stoječe vode, odsotnosti makrofitov in regulirane struge pričakovali nizko vsebnost O<sub>2</sub>. Razlog za takšne rezultate gre najverjetneje iskati v popoldanskem merjenju vsebnosti kisika, skoraj nični stopnji senčenja in majhni abundanci makroinvertebratov. Višja temperatura vode na tem mestu očitno ni imela ključnega vpliva na kisikove razmere.

Kot pravita Allan in Castillo (2007) celokupna fotosinteza prispeva k povišanim koncentracijam  $O_2$  čez dan, medtem ko celokupna respiracija povzroči znižanje koncentracij  $O_2$  ponoči. Ker smo na vzorčnih mestih merili okoljske parametre v različnih delih dneva, so rezultati nenatančni in zato med seboj težje primerljivi. Bolj reprezentativno sliko stanja na treh različnih mestih bi dobili z merjenjem parametrov ob čim manjšem časovnem razmiku. Na referenčnem mestu smo izmerili najnižjo temperaturo ( $16,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), kar je posledica drugačne klime. Velunja namreč sodi v alpsko hidroekoregijo, medtem ko je reka Voglajna v celoti uvrščena v panonsko. Zaradi nižje temperature vode smo izmerili visoko koncentracijo  $O_2$  in kar 105 % nasičenost s kisikom, kar je kazalo na biogeno prezračevanje. To se zgodi v primeru, ko je primarna produkcija v vodi višja od respiracije (Urbanič in Toman, 2003).

Koncentracije **nitratnih ionov** v površinskih vodah običajno ne presegajo  $1\text{ mg/L}$ . Koncentracije nad to mejo so posledica spiranja gnojnih kmetijskih površin, koncentracije nad  $10\text{ mg/L}$  pa nakazujejo prisotnost komunalnih in industrijskih odpadnih voda (Urbanič in Toman, 2003). Na vzorčnih mestih na reki Voglajni so se izmerjene vrednosti nitratov gibale med  $0,23\text{ mg/L}$  in  $3,75\text{ mg/L}$ , kar je precejšnja razlika. Na dveh mestih (Vog PRED in Vog ZA) so koncentracije presegle mejo  $1\text{ mg/L}$ , kar predvsem na mestu pred ČN in železarno nakazuje na negativen vpliv intenzivnega kmetijstva. Na mestu za ČN in železarno pa je povišana koncentracija nitratov verjetno posledica neurejenih komunalnih izpustov v predelu Štor. Na referenčnem mestu smo izmerili najvišje koncentracije nitratnih ionov ( $3,87\text{ mg/L}$ ), kar je posledica spiranja s kmetijskih površin. Visoke koncentracije nitratov na omenjenih mestih pa so verjetno tudi posledica odsotnosti makrofitov, z izjemo nitastih zelenih alg na vzorčnem mestu izvirni del. Fotoavtotrofni organizmi namreč asimilirajo in vgrajujejo nitratni ion v lastne celične proteine (Urbanič in Toman, 2003). Izmerjene vrednosti sicer niso kazale na močno organsko obremenjevanje, čeprav so morda drugi rezultati kazali na to (nizka diverziteta in visoka prevladujoča abundanca taksona Diptera na mestu izvirni del). Kljub temu pa je na tem mestu potrebno poudariti, da so se pri samem postopku merjenja koncentracije nitratnih ionov zgodile napake, ki so zagotovo vplivale na rezultate. Poleg tega je, kot pravita Urbanič in Toman (2003), določanje koncentracije nitratnih ionov težavno zaradi kompleksnosti postopkov določanja, visoke verjetnosti, da so v vzorcu prisotne interferirajoče substance in

omejenega območja detekcije. Nenazadnje pa se koncentracije nitratov v vodi spreminjajo dnevno in sezonsko, zato bi za natančnejšo ugotavljanje stanja bilo potrebno kontinuirano merjenje v določenih časovnih presledkih, izbrati pa bi morali tudi bolj zanesljiv postopek merjenja.

V vodi je fosfor redko prisoten v višjih koncentracijah, predvsem zaradi aktivnega privzemanja primarnih producentov. V neobremenjenih vodnih telesih koncentracije ne presegajo vrednosti 0,1 mg/L, kmetijske površine pa prispevajo k povišanim koncentracijam v vodotokih, prav tako tudi komunalne in industrijske vode (Urbanič in Toman, 2003). Koncentracije **ortofosfatnih ionov** na treh vzorčnih mestih na reki Voglajni niso presegle meje 0,1 mg/L, prav tako ne na referenčnem mestu. Na vseh vzorčnih mestih so bile koncentracije namreč pod mejo detekcije. Za vzorčno mesto izvirni del lahko vrednost pod mejo detekcije razlagamo tudi s prisotnimi nitastimi zelenimi algami, ki porabljajo v vodi raztopljen fosfat. Glede na to, da zaledje na mestih izvirni del in pred ČN in železarno po večini predstavljajo intenzivne kmetijske površine, so tako koncentracije pod mejo detekcije malo verjetne. Če temu dodamo še nekatere rezultate (povišana koncentracija nitratnih ionov na mestih pred in za ČN in železarno, nizka biodiverzitet in visoka prevladujoča abundanca taksona Diptera na vzorčnem mestu izvirni del) ne moremo trditi, da je reka Voglajna neobremenjen vodotok. Vzrok, da smo izmerili koncentracije ortofosfatov pod mejo detekcije, so verjetno premalo natančen postopek določanja in napake med postopkom. Poleg tega bi, kot v primeru nitratnih ionov, bilo potrebno kontinuirano merjenje v določenih časovnih presledkih.

**Skupne suspendirane snovi (TSS)** so seštevke organskih in anorganskih snovi v vodi. Velike količine slednjih posredno in neposredno negativno delujejo na organizme. Prihaja do trenja med delci in organizmi in zato do poškodb vitalnih delov organizmov, poveča se kalnost voda in usedanje, zaradi česar se zmanjša primarna produkcija in izraba hranil, kar vodi v povečano verjetnost evtrofnih procesov. Za razliko od anorganskih predstavljajo organske suspendirane snovi za heterotrofne organizme vir hrane, povečana je respiratorna aktivnost, posledica pa je zniževanje koncentracije raztopljenega kisika in slabšanje kakovosti vode (Urbanič in Toman, 2003). **Skupne raztopljene snovi (TDS)** so seštevke koncentracije raztopljenih velikih ionov ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{HNO}_3^-$ ,  $\text{HSO}_4^{2-}$ ,  $\text{CO}_3^-$ ),

drugi ioni pa minimalno prispevajo k TDS v vodi (Allan in Castillo, 2007). Količina TSS je bila največja na vzorčnem mestu pred ČN in železarno, 3,5x večja kot na drugih dveh mestih na Voglajni. Verjetno je to posledica večje količine suspendiranih organskih snovi, saj smo po sežigu za to mesto ugotovili le 4,2 mg anorganskih snovi. To skupaj z nižjo koncentracijo kisika in nižjo diverziteto nakazuje na morebitno organsko obremenjenost tega vzorčnega mesta. Enkrat višjo vsebnost TDS v primerjavi z drugima dvema mestoma smo ugotovili na mestu za ČN in železarno. To nakazuje na povišano vsebnost mineralnih snovi, kar sta potrdili analizi sežiga (visoka vsebnost anorganskih snovi po sežigu) in nitratnih ionov (presežena meja 1 mg/L za približno 3,5x). Hkrati smo na tem mestu ugotovili najvišjo vsebnost organskih snovi, ki je bila v primerjavi z ostalima mestoma in referenčnim mestom rahlo višja. Iz tega lahko sklepamo, da je vzorčno mesto Vog ZA organsko obremenjeno. Vrednosti sušine, TSS, TDS in organskih snovi za referenčno mesto ne nakazujejo na organsko oz. mineralno obremenjenost reke Velunje na tem mestu.

**Elektroprevodnost** vode je približna mera za določanje količine skupnih raztopljenih snovi v vodi. Destilirana voda ima veliko upornost prevajanja toka elektronov, medtem ko prisotnost ionov zmanjša to upornost. Razmerje med TDS in prevodnostjo je običajno premosorazmerno (Walling, 1984, cit. po Allan in Castillo, 2007). Prevodnost vode na reki Voglajni je naraščala po toku. Tako smo najvišjo vrednost izmerili na vzorčnem mestu za ČN in železarno, kar se da razložiti v visoko koncentracijo ionov, saj je bila vrednost TDS na tem mestu najvišja, in najvišjo izmerjeno vsebnostjo organskih snovi. Na referenčnem mestu je bila prevodnost podobna kot na mestih izviri del in pred ČN in železarno na reki Voglajni.

Izmerjene vrednosti hidromorfoloških, fizikalnih in kemijskih parametrov so odraz trenutnega stanja reke Voglajne. Za bolj natančno sliko stanja reke Voglajne so potrebne kontinuirane meritve v primernih časovnih razmikih.

### 5.1.3 Biološke in statistične analize

Vodni organizmi preferirajo določene habitate, kjer je razmerje med fizikalnimi, kemijskimi in biotskimi značilnostmi zanje najbolj ugodno. Če pride so spremembe tega okolja, na primer zaradi povečane koncentracije težkih kovin, se lahko to odraža v združbi organizmov. Pride lahko do drugačne vrstne sestave, spremeni se lahko struktura združbe ali pa se spremeni biomasa. Prisotnost ali odsotnost določenih organizmov tako uporabljamo kot merilo za vrednotenje kakovosti voda in spremenjenosti okolja. V ta namen so raziskovalci ekološke izsledke povzeli v t.i. indeksih, ki predstavljajo objektivni prikaz stanja vodotoka (Urbanič in Toman, 2003).

#### 5.1.3.1 Analiza sestave združbe in Shannon-Wienerjev diverzitetni indeks

Največjo vrstno pestrost smo ugotovili za vzorčno mesto izvorni del, na katerem smo našli 43 različnih taksonov, hkrati pa smo našli tudi največ osebkov, kar 8595. Prevladovali so detritivori (71 %). Samo na tem mestu so bile prisotne nitaste zelene alge, kar je med drugim vzrok za visoko skupno število osebkov. Obrast namreč poveča abundanco živali zaradi zagotovljene strukturne kompleksnosti – zagotavlja habitate, ki nudijo zavetje in mesta za hranjenje (Thomaz in Riberioda Cunha, 2010). Večji del osebkov (82 %) so predstavljali dvokrilci, drugi najbolj zastopani so bili maloščetinci z 10 %, medtem ko je ostalih 41 taksonov predstavljajo le 8 %. Velika abundanca dvokrilcev je tako močno zmanjšala diverziteto, saj smo na tem mestu ugotovili najnižjo vrednost Shannon-Wienerjevega diverzitetnega indeksa. Vzrok za tako številčno pojavljanje ličink dvokrilcev, ki so detritivori, kot tudi maloščetincev z dominanco taksona Tubificidae in posledično nizko diverziteto je organska obremenjenost, ki izhaja iz Slivniškega jezera, za katerega so limnološke raziskave pokazale, da je v močno evtrofnem stanju (Štraus, 2006).

Podobno, a malo višjo vrednost Shannon-Wienerjevega diverzitetnega indeksa smo izračunali za vzorčno mesto pred ČN in železarno zaradi prevlade dvokrilcev (87 %). Največji delež so predstavljali filtratorji z rodом *Simulium*., sledili so jim detritivori. Tudi v tem primeru je vzrok močne abundance dvokrilcev in visokega deleža filtratorjev organska obremenjenost. Na tem mestu smo izmerili tudi najvišjo koncentracijo nitratov.

Omenjeno vzorčno mesto je namreč obdano z obširnimi kmetijskimi površinami, ki predstavljajo vir nitrata. Številčnost taksonov je bila v primerjavi z mestom izvirni del precej nižja, skoraj 4x, število taksonov pa skoraj 2x. Morda so temu vzrok višje koncentracije Cr in Ni v sedimentu skupaj z organskim obremenjevanjem.

Na vzorčnem mestu **za** ČN in železarno smo ugotovili najvišjo vrednost Shannon-Wienerjevega diverzitetnega indeksa. Vzrok je v najbolj enakomerni zastopanosti prisotnih taksonov. Prevladovali so detritivori - maloščetinci, ki so predstavljali 50 %, precej velik pa je bil tudi delež plenilcev, predvsem na račun pijavk. Hkrati smo na tem mestu ugotovili najmanjšo vrstno pestrost, ki je primerljiva z vzorčnim mestom **pred** ČN in železarno in referenčnim mestom, in najmanjšo abundanco organizmov, ki je bila skoraj 9x manjša kot na vzorčnem mestu pred ČN in železarno in skoraj 2x manjša kot na referenčnem mestu. To se sklada z ugotovitvami Lazaridon-Dimitriadona in sod. (2004), da onesnaženost s težkimi kovinami povzroči zmanjšanje abundance in/ali diverzitete bentoških makroinvertebratov v vodotokih. Podobno navajajo tudi Marqués in sod (2003). Na tem vzorčnem mestu so dominirali maloščetinci, kar je skladno z ugotovitvami Watanabeja in sod. (2000), da na mestih z visokimi koncentracijami kovin prevladujejo maloščetinci. V primerjavi z ostalima dvema mestoma na reki Voglajni je na tem mestu, upoštevajoč deleže višjih taksonomskih skupin, močno narasel procent polžev in pijavk. Tudi Gray (2004) poroča o dominanci teh dveh taksonov na urbanih področjih v primerjavi z neurbanimi predeli. V primerjavi z ostalima mestoma pa je opazna odsotnost oziroma minimalna stopnja pojavljanja nekaterih taksonov na mestu za ČN in železarno. Na tem mestu smo našli eno ličinko rodu *Baetis*, medtem ko so bile ličinke vrbnic popolnoma odsotne. To je skladno z ugotovitvami Deacona in sod. (2001), ki so poročali o zmanjšanju abundance enodnevnice in vrbnic na obremenjenih območjih zaradi delovanja rudnika, rod *Baetis* pa se je izkazal za občutljivega. Nasprotno pa Rolinc (1988) za *Baetis* navaja, da je tolerant na onesnaževanje s kovinami. Vzrok naj bi bil v prisotnosti posebnih proteinov v črevesju, ki vežejo kovine (Sumi in sod., 1991, cit. po Kazanci in Dügel, 2010). Tudi dokaj visoka številčnost rodu *Hydropsyche* na tem mestu v primerjavi z referenčnim mestom bi lahko bila dokaz vpliva kovin na makroinvertebrate. Kazanci in Dügel (2010) sta namreč ugotovila pozitivno korelacijo med Cd in Ni za omenjen rod mladoletnic, nasprotno pa poroča Rolinc (1988), ki je ugotovil zmanjšano abundanco na mestih z

najvišjimi koncentracijami kovin. Tudi Rosenberg in Resh (1993, cit. po Kazanci in Dügel, 2010) pravita, da so nekatere vrste mladoletnic in enodnevnice visoko tolerantne do onesnaževanja s težkimi kovinami. Ker pa kovine na mestu za ČN in železarno niso izkazovale trenda naraščanja, a so bile koncentracije štirih od petih kovin tukaj najvišje, na zgradbo bentoške združbe (majhna abundanca in najnižja vrstna pestrost) verjetno vplivajo še drugi dejavniki, npr. organsko obremenjevanje, ki se je na tem mestu kazalo v višjih koncentracijah nitratnih in fosfatnih ionov ter v najvišji elektroprevodnosti. Tudi Poulton in sod. (1995) so na mestih z nižjimi koncentracijami kovin ugotovili negativne vplive na bentoško združbo, vendar so bili vplivi kovin težko ločljivi od vplivov drugih onesnaževal kot npr. organskega obremenjevanja.

Vrednosti Shannon-Wienerjevega diverzitetnega indeksa so torej naraščale po toku navzdol, in sicer ne glede na to, ali smo indeks izdelali na podlagi družine ali rodu. To dokazuje, da domneva, da se diverzitetna zmanjšuje z višanjem koncentracij kovin v sedimentu, za reko Voglajno ne drži.

**Trzače** (Chironomidae) so pomemben člen različnih vodnih ekosistemov. Vodne larve so plen drugim vodnim organizmom, pomembno vlogo igrajo pri predelavi detrita in v trofičnih ciklih. So najbolj razširjeni in pogosto najbolj številčni insekti v celinskih vodah (Shuhaimi-Othman in sod., 2010). Glede na to, da so številne študije (Di Veroli in sod., 2010; Béchard in sod., 2008; Ocheing in sod., 2008; Shuhaimi-Othman in sod., 2010; Wright in Burgin, 2009) ugotavljale vpliv različnih kovin na vrste oziroma taksone iz družine Chironomidae, je smiselna primerjava vzorčnih mest glede pestrosti dvokrilcev oziroma trzač in povezava z ugotovitvami nekaterih omenjenih študij.

Največjo pestrost in abundanco dvokrilcev smo zasledili na vzorčnem mestu izvorni del, kjer smo našli 7046 osebkov razvrščenih v 12 taksonov. Prevladoval je takson Tanytarsini. Precej manjšo, a še vedno precej visoko številčnost (1933) smo ugotovili na vzorčnem mestu pred ČN in železarno, kjer smo najdene osebkove uvrstili v 9 taksonov. Tudi tukaj so prevladovali osebki taksona Tanytarsini, a ne tako močno kot na vzorčnem mestu izvorni del. Najnižjo vrstno pestrost in abundanco smo zasledili na vzorčnem mestu za ČN in železarno – 59 osebkov v 5 taksonih. Tukaj so prevladovali osebki taksonov

Tanypodinae in Orthoclaadiinae (l. s.), takson Tanytarsini pa je imel zelo nizko abundanco. Primerjava z referenčnim mestom, kjer smo našli 90 osebkov razvrščenih v 9 taksonov, pokaže, da je vzorčno mesto za ČN in železarno najbolj revno z dvokrilci. Vzrok je morda v sinergističnem delovanju kovin in organskega obremenjevanja. Tako Wright in Burgin (2009) poročata o pozitivni korelaciji med visokimi koncentracijami Zn in močnim zmanjšanjem vrstne pestrosti znotraj taksona Chironomidae. Takson Tanypodinae, ki ga poleg taksona Chironominae uvrščamo v družino Chironomidae, pa se je izkazal za občutljivega na prisotne kovine in organsko onesnaževanje. Nadalje so Deacon in sod. (2001) ugotovili, da je takson Tanytarsini, občutljiv na prisotne elemente v sledovih, Cranston (2000, cit. po Wright in Burgin, 2009) pa navaja, da so osebk taksona Orthoclaadiinae (l. s.) zelo občutljivi na prisotne kovine in organsko onesnaževanje, vendar pa so nekatere vrste znotraj taksona močno tolerantne do kovin. V naših vzorcih prevladuje takson Orthoclaadiinae (l. s.), če pa k temu dodamo še, da takson Chironomidae kaže visoko toleranco do kovin v okolju (Miller in Hendricks, 1996, cit. po Béchard in sod., 2008) in še posebej na Cd in Ni pri visokih koncentracijah kisika v vodi (Kazanci in Dügel, 2010), pa je to morda pokazatelj, da populacija dvokrilcev na vzorčnem mestu za ČN in železarno sestoji iz tolerantnih vrst, ki so se prilagodile na okolje s povišanimi koncentracijami kovin v sedimentu.

#### 5.1.3.2 Klastrska analiza združbe

**Bray-Curtisov indeks** je pokazal, da so si vzorčna mesta na reki Voglajni med seboj močno različna. Najbolj, a le v 25 %, sta si podobni mesto izvirni del ter mesto pred ČN in železarno. Tudi Bray-Curtisov indeks na podlagi logaritmiranih vrednosti je pokazal isto, a v tem primeru sta si bili mesti podobni v 55 %. Na obeh mestih so namreč našli precej skupnih taksonov, a v precej drugačni abundanci, kar je tudi vzrok tako majhne podobnosti. Na mestu izvirni del smo tako našli precej več mladoletnic, enodnevnice, dvokrilcev, maloščetincev, pijavk, postranic in školjk ter manj polžev in ličink kačjih pastirjev v primerjavi z mestom pred ČN in železarno. Na nobenem od mest nismo našli ličink vrbnic. Po Bray-Curtisovem indeksu na podlagi logaritmiranih vrednosti je na reki Voglajni mesto za ČN in železarno izkazovalo najmanjšo podobnost z ostalima dvema mestoma, običajen Bray-Curtisov indeks pa je pokazal večjo podobnost prvih dveh mest na

reki Voglajni z referenčnim mestom kot s tretjim mestom na reki Voglajni. Večja podobnost mesta na reki Velunji z najbolj podobnima mestoma na reki Voglajni je zaradi taksonov *Baetis* sp., *Simulium* sp. in Diptera, medtem ko smo na referenčnem mestu opazili večjo abundanco vrbnic (rod *Leuctra*) in hroščev. Mesto za ČN in železarno z drugima dvema mestoma na reki Voglajni povezujejo maloščetinci in pijavke ter odsotnost vrbnic. V vsakem primeru ne glede na to, kateri tip Bray-Curtisovega indeksa uporabimo, pa sta si mesti za ČN in železarno ter referenčno mesto med seboj najbolj različni, saj ju povezujejo predvsem dvokrilci in mladoletnice.

**Sørensenov indeks** podobnosti na podlagi skupnih taksonov pokaže največjo podobnost (58 %) med mestoma izviri del ter za ČN in železarno, mesto pred ČN in železarno pa se od prejšnjih dveh ne razlikuje bistveno. Lahko pa iz indeksa razberemo, da se vzorčna mesta na reki Voglajni močno razlikujejo od referenčnega mesta na reki Velunji. Vzrok je v drugačnem naboru taksonov na reki Voglajni, saj spada v panonsko hidroekoregijo, medtem ko je reka Velunja uvrščena v alpsko hidroekoregijo. Morebiten vzrok razlikam v sestavi združb makroinvertebratov je lahko še vedno visoka organska obremenjenost reke Voglajne predvsem v spodnjem delu. Menimo, da imajo kovine zanemarljiv vpliv na podobnost vzorčnih mest.

## 6 SKLEPI

Kovine predstavljajo stalno grožnjo vodnim ekosistemom, saj se akumulirajo v sedimentu, iz katerega se lahko sproščajo in se bioakumulirajo po prehranski verigi (Förstner in Wittmann, 1976). Še posebej ogrožajo organizme, ki živijo v sedimentu.

Ugotovili smo, da kovine v reki Voglajni nimajo neposrednega vpliva na združbo makroinvertebratov, verjetno pa nanje vplivajo subletalno in kronično. Na delovanje kovin, pogosto sinergistično, pa vplivajo še drugi dejavniki, med katerimi je verjetno najbolj pomembno organsko obremenjevanje reke Voglajne.

Prvo hipotezo, da najvišje koncentracije kovin v sedimentu določajo najmanjšo vrstno pestrost makroinvertebratov, lahko le delno potrdimo. Najnižja vrstna pestrost je bila v vzorcu, nabranem **za** ČN in železarno, kjer smo hkrati v sedimentih izmerili tudi najvišje koncentracije kovin. V tem vzorcu smo ugotovili tudi najmanjše število osebkov. Presenetljivo pa je bila vrednost Shannon-Wienerjevega diverzitetnega indeksa na tem vzorčnem mestu najvišja, kar je primerljivo z referenčnim mestom. Nasprotujoči si rezultati kažejo na hkratno delovanje večih toksikantov, ki posredno negativno vplivajo na združbo makroinvertebratov. Za potrditev te teze so smiselne nadaljnje raziskave.

Drugo hipotezo, ki pravi, da je nizka pestrost posledica kovin nad zakonsko dovoljenimi vrednostmi, lahko ovržemo. Za sediment po trenutno veljavni zakonodaji najvišje dovoljene koncentracije kovin niso določene, spremlja se le trend naraščanja oziroma padanja. Z našimi meritvami nismo ugotovili trenda naraščanja kovin v sedimentih reke Voglajne. Koncentracije kovin v sedimentu (na treh mestih) so bile v primerjavi z vrednostmi iz leta 2003, ko so bile močno povišane, precej nižje.

Tretjo hipotezo, po kateri smo največjo vrstno pestrost makroinvertebratov pričakovali na vzorčnem mestu na Voglajni z najnižjo koncentracijo kovin v sedimentu, lahko potrdimo. Največ različnih taksonov v reki Voglajni smo našli na vzorčnem mestu izvorni del, kjer smo v sedimentu izmerili najnižje koncentracije kovin. Na tej lokaciji kovine niso imele vpliva na združbo bentoških nevretenčarjev, smo pa ugotovili najnižjo vrednost Shannon-

Wienerjeva diverzitetnega indeksa zaradi prevladovanja dvokrilcev. Vzrok za takšno stanje je lahko organsko obremenjevanje, katerega vir je Slivniško jezero.

Za boljše razumevanje vpliva kovin in s tem povezane industrije na ekosistem reke Voglajne bi bilo v prihodnje priporočljivo vsakoletno večkratno merjenje koncentracij kovin v sedimentu in v vodi ter vzorčenje makroinvertebratov ne le na vzorčnem mestu pri Celju, ki je že zajeto v letni monitoring, kot ga določata Uredba o stanju površinskih voda in Pravilnik o monitoringu stanja površinskih voda, pač pa vsaj na dveh mestih. Prvo mesto bi zajelo vpliv industrije v Štorah, drugo pa dokaj neobremenjen zgornji tok reke. Prav tako bi lahko raziskave razširili še na perifiton in makrofite, ki bi podali širšo podobo o vplivu kovin na reko Voglajno, saj je, kot pravita Förstner in Wittmann (1976), potrebno ugotoviti koncentracije kovin na večih trofičnih nivojih, če želimo oceniti celosten vpliv kovin na ekosistem.

## 7 POVZETEK

Reka Voglajna na svoji poti od iztoka iz Slivniškega jezera do izliva v reko Savinjo pri kraju Polule pri Celju teče čez raznoliko krajino. V zgornjem toku je reka še relativno neobremenjena s kmetijskimi polutatni, katerih vpliv se že kaže v srednjem toku proti mestu Šentjur. Od tukaj naprej proti industrijskima krajema Štore in Celje pa na reko močno vplivata urbanizacija in industrija, kar posledično pomeni povišanje koncentracije kovin. Poleg tega je reka Voglajna že dolga leta organsko obremenjen vodotok, katerega stanje se je delno izboljšalo zaradi zagona čistilne naprave leta 2010.

Namen naše raziskave je bilo ugotoviti vpliv različnih kovin na združbo bentoških nevretenčarjev, ki so zaradi stalnega stika s substratom najbolj podvrženi toksičnim vplivom kovin. Kovine se namreč akumulirajo v sedimentu, iz katerega se lahko sproščajo in potujejo po prehranski verigi. Največjo vrstno pestrost makroinvertebratov smo pričakovali na mestih z najnižjimi koncentracijami kovin v sedimentu. V ta namen smo na treh vzorčnih mestih na reki Voglajni, ki smo jih izbrali glede na različna prispevna območja, opravili enkratno poletno vzorčenje sedimenta in vodnih nevretenčarjev po akreditiranem in standardiziranem postopku, hkrati pa smo merili tudi hidromorfološke, fizikalne in kemijske parametre ter opravili biološke in statistične analize. V laboratoriju smo v sedimentu izmerili koncentracijo petih kovin (Cr, Cu, Pb, Cd, Ni). Za primerjavo smo si na reki Velunji izbrali referenčno mesto, za katerega smo predvidevali, da je v boljšem ekološkem stanju kot reka Voglajna in ima manjšo vsebnost kovin.

Rezultati so pokazali, da so bile najvišje vsebnosti kovin v sedimentu na reki Voglajni na vzorčnem mestu za ČN in železarno, kar je bilo pričakovano, saj to mesto zajema vpliv industrije in urbanizacije. Nepričakovano pa smo na tem mestu izračunali najvišjo vrednost Shannon-Wienerjevega diverzitetnega indeksa (to je primerljivo z referenčnim mestom), čeprav smo ugotovili najnižjo vrstno pestrost in najmanjšo abundanco makroinvertebratov. Razlog v visoki diverziteti je (verjetno) v bolj enakomerni razporejenosti prisotnih organizmov v primerjavi z ostalima dvema mestoma na reki, kjer smo ugotovili visoko abundanco enega taksona (Diptera), kar je vplivalo na nižjo diverzitetu teh dveh mest. Nizko število makroinvertebratov in majhna vrstna pestrost na vzorčnem mestu za ČN in

železarno pa smo razložili z najvišjimi koncentracijami kovin v sedimentu, ki imajo še z drugimi prisotnimi polutanti (organsko obremenjevanje) sinergističen vpliv na organizme. Kovine v takih primerih delujejo subletalno in kronično na prisotne združbe. Na vzorčnem mestu izvorni del smo izmerili najnižjo vsebnost kovin v sedimentu ter ugotovili najvišjo vrstno pestrost in abundanco organizmov.

Hipotezo, da najvišjo vrstno pestrost določajo najnižje vsebnosti kovin v sedimentih, smo torej potrdili. Nasprotno pa v celoti nismo mogli potrditi domneve, da najnižjo vrstno pestrost določajo najvišje koncentracije kovin v sedimentu, saj menimo, da na zgradbo združbe bentoških nevretenčarjev poleg kovin vplivajo še drugi prisotni polutanti. Iz tega razloga so smiselne nadaljnje raziskave na reki Voglajni, ki bi zajemale tudi merjenje koncentracije kovin v organizmih in analizo vode na druge prisotne toksikante.

## 8 VIRI

A key to British freshwater Cyclopoid and Calanoid Copepods with ecological notes by J.P. Harding and W.A. Smith. Second edition. 1974. Freshwater Biological Association. Scientific publication no. 18: 56 str.

A Key to Irish Freshwater Oligochaetes

<http://apps.biodiversityireland.ie/OligochaeteIdKey/key.php>

(5. marec 2012 – 16. nov. 2012)

Abel P.D. 1996. Water pollution biology. Second edition. London, Taylor & Francis, cop: 297 str.

Allan J.D., Castillo M.M. 2007. Stream ecology. Structure and function of running waters. Second edition. Netherlands, Springer: 436 str.

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

Artiček, D. 2005. Kalna voda Slivniškega jezera. Kamnik, izdano v samozaložbi: 94 str.

Baker. b. l. Surovine.si

<http://www.surovine.si/baker.php> (5. marec 2013)

Bécharde K.M., Gillis P.L., Wood C.M. 2008. Acute toxicity of waterborne Cd, Cu, Pb, Ni and Zn to first instar *Chironomus riparius* larvae. Archives of environmental contamination and toxicology 54: 454 – 459

Bole, J. 1969. (Popravki Prevorčnik, S, 2004). Ključi za določanje živali – mehkužci (Mollusca). Ljubljana, Inštitut za biologijo Univerze v Ljubljani. Društvo biologov Slovenije: 115 str.

Brinkhurst, R.O. 1971. A guide for identification of British aquatic Oligochaeta. Second edition, revised. Freshwater Biological Association. Scientific publication no. 22: 55 str.

Cadmium. b. l.a. ICdA – The International Cadmium Association  
[http://www.cadmium.org/pg\\_n.php?id\\_menu=6](http://www.cadmium.org/pg_n.php?id_menu=6) (23. feb. 2013)

Cadmium. b. l.b. U. S. Geological Survey (USGS)  
<http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/cadmium/mcs-2013-cadmi.pdf>  
(20. maj 2013)

Cardwell A.J., Hawker D.W., Greenway M. 2002. Metal accumulation in aquatic macrophytes from southeast Queensland, Australia. Chemosphere, 48: 653 – 663

Chromium. b. l.a. U. S. Geological Survey (USGS)  
<http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/chromium/mcs-2013-chrom.pdf>  
(20. maj 2013)

Chromium. b. l.b. Wikipedia  
<http://en.wikipedia.org/wiki/Chromium> (8. marec 2013)

Connell D.W., Miller G.J. 1984. Chemistry and ecotoxicology of pollution. New York, John Wiley & Sons: 444 str.

Copper facts – Copper in history. b. l. Copper development association inc.  
<http://www.copper.org/education/c-facts/homepage.html> (5. marec 2013)

Copper. b. l. a. U. S. Geological Survey (USGS)

<http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/copper/mcs-2013-coppe.pdf>

(20. maj 2013)

Copper. b. l.b. Wikipedia

<http://en.wikipedia.org/wiki/Copper> (5. marec 2013)

Deacon J.R., Sphar N.E., Mize S.V., Boulger R.W. 2001. Using water, bryophytes and macroinvertebrates to assess trace element concentrations in the Upper Colorado river basin. *Hydrobiologia*, 455: 29 – 39

Di Veroli A., Selvaggi R., Pellegrino R.M., Goretti E. 2010. Sediment toxicity and deformities of chironomid larvae in Lake Piediluco (Central Italy). *Chemosphere*, 79: 33 – 39

Digital key to aquatic insects of North Dakota

<http://www.waterbugkey.vcsu.edu/php/mainkey.php> (5. marec 2012 – 16. nov. 2012)

Ekološko pomembna območja. b. l. Naravovarstveni atlas

<http://www.naravovarstveni-atlas.si/ISN2KJ/profile.aspx?id=N2K@ZRSVN> (8. maj 2013)

Förstner U., Wittmann G.T.W. 1976. Metal pollution in the aquatic environment. Berlin, Berlin Heidelberg Springer – Verlag: 486 str.

Frančišković-Bilinski S., Bilinski H., Tibljaš D., Hanžel D. 2006. Sediments from Savinja, Voglajna and Hudinja rivers (Slovenia), reflecting anomalies in an old metallurgic area. *Fresenius environmental bulletin*, 15, 3: 220 – 228

Frančišković-Bilinski S., Bilinski H., Tibljaš D., Hanžel D., Mertelj A. 2002. Characterization of sediments from Voglajna and Savinja rivers – preliminary results. *Geologija*, 45, 2: 367 – 372

Freedman B. 1989. Environmental ecology. The impacts of pollution and other stresses in ecosystem structure and function. San Diego, California, Academic Press Limited: 424 str.

Giller P.S., Malmqvist B. 1998. The biology of streams and rivers. New York, Oxford University Press: 304 str.

Gray L. 2004. Changes in water quality and macroinvertebrate communities resulting from urban stormflows in the Provo river, Utah, U.S.A. *Hydrobiologia*, 518: 33 – 46

Hidrološki letopis Slovenije 2007. Letnik 18. 2010. Ljubljana, ARSO: 226 str.  
<http://www.arso.gov.si/vode/publikacije%20in%20poro%C4%8Dila/Letopisi.html> (23. maj 2013)

Hidrološki letopis Slovenije 2009. Letnik 20. 2012. Ljubljana, ARSO: 171 str.  
<http://www.arso.gov.si/vode/publikacije%20in%20poro%C4%8Dila/Letopisi.html> (23. maj 2013)

Ilešič S. 1973. Sotelsko-voglajnska regija – njene osnovne geografske poteze in njena vloga v slovenskem prostoru. V: Voglajnsko-Sotelska Slovenija. 9. Zborovanje slovenskih geografov Rogaška Slatina 1973. Žagar M. (ur.). Ljubljana, Geografsko društvo Slovenije ter občinski skupščini Šmarje pri Jelšah in Šentjur pri Celju: 5 – 20

Invertebrate key

[http://www.unb.ca/fredericton/science/biology/Invertebrate\\_key/main%20page.htm](http://www.unb.ca/fredericton/science/biology/Invertebrate_key/main%20page.htm)  
(5. marec 2012 – 16. nov. 2012)

Jain C.K. (ur.). 1999 – 2000. Distribution of heavy metals on sediments under different flow conditions. Uttaranchal, National institute of hydrology Jalvigyan Bhawan: 50 str.

Kazanci N., Dügel M. 2010. Determination of influence of heavy metals on structure of benthic macroinvertebrate assemblages in low order Mediterranean streams by using canonical correspondence analysis. *Review of hydrobiology*, 3, 1: 13 – 26

Khan R.R. 2010. *Environment and metal pollution*. Jaipur, Global Media: 173 str.

Kodrnja D. 2012. Vpliv čistilne naprave na strukturo združbe bentoških nevretenčarjev v organsko obremenjenem vodotoku Voglajna. Diplomsko delo. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, oddelek za biologijo: 91 str.

Konsevick E. 2010. Chemical Characteristics of Sediment of the Lower Hackensack River, New Jersey. *Proceedings of the Annual International Conference on Soils, Sediments, Water and Energy*: 15 – 25  
<http://scholarworks.umass.edu/soilsproceedings/vol15/iss1/25> (17. maj 2013)

Križanec S. 2008. *Železarske Štore*. Štore, samozaložba Nina Križanec: 67 str.

Krom. 2008. *Zavod za zdravstveno varstvo Celje*  
<http://www.zzv-ce.si/krom> (8. marec 2013)

Lazaridou-Dimitriadou M., Koukoumides C., Lekka E., Gaidagis G. 2004. Integrative evaluation of the ecological quality of metalliferous streams (Chalkidiki, Macedonia, Hellas). *Environmental monitoring and assessment*, 91: 59 – 86

Lead (Pb). b. l. EPA – United States Environmental Protection Agency  
<http://www.epa.gov/iaq/Lead.html> (23. feb. 2013)

Lead. b. l.a. U. S. Geological Survey (USGS)  
<http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/Lead/mcs-2013-lead.pdf>  
(20. maj 2013)

Lead. b. l.b. Wikipedia

<http://en.wikipedia.org/wiki/Lead> (23. feb. 2013)

Marqués M.J., Martínez-Conde E., Rovira J.V. 2003. Effects of zinc and lead mining on the benthic macroinvertebrates of a fluvial ecosystem. Water, air and soil pollution, 148: 363 – 388

Mason C.F. 1996. Biology of freshwater pollution. Third edition. United Kingdom, Longman Singapore Publishers (Pte) Ltd: 356 str.

Mazej Z., Al Sayegh Petkovšek S., Pokorný B. 2009. Uporaba bioindikatorskih organizmov (makrofiti, ribe) za določitev obremenjenosti šaleških jezer s težkimi kovinami. V: Predstavitev predlogov za program okoljskega biomonitoringa. Delavnica. Ljubljana, Gozdarski inštitut Slovenije, 10. 4. 2009. Republika Slovenija, Ministrstvo za zdravje. Urad Republike Slovenije za kemikalije: 17 str.

Metals in medicine and the environment. b. l. Faculty Virginia  
[faculty.virginia.edu/metals/cases/rasnake1.html](http://faculty.virginia.edu/metals/cases/rasnake1.html) (19. julij 2013)

Milani D., Reynoldson T.B., Borgmann U., Kolasa J. 2003. The relative sensitivity of four benthic invertebrates to metals in spiked-sediment exposures and application to contaminated field sediment. Environmental toxicology and chemistry, 22, 4: 845 – 54

Minago project. 2010. Manitoba

[http://www.gov.mb.ca/conservation/eal/registries/5463minago/eis\\_chapt7\\_sec4.pdf](http://www.gov.mb.ca/conservation/eal/registries/5463minago/eis_chapt7_sec4.pdf)  
(13. feb. 2013)

Monitoring kakovosti površinskih vodotokov v Sloveniji v letu 2003. 2005. Ljubljana, Republika Slovenija, Ministrstvo za okolje in prostor, Agencija Republike Slovenije za okolje: 75 str.

[http://www.arso.gov.si/vode/reke/publikacije%20in%20poro%C4%8Dila/porocilo\\_reke\\_2003.pdf](http://www.arso.gov.si/vode/reke/publikacije%20in%20poro%C4%8Dila/porocilo_reke_2003.pdf) (15. maj 2013)

Monitoring kakovosti površinskih vodotokov v Sloveniji v letu 2002. 2004. Ljubljana, Republika Slovenija, Ministrstvo za okolje, prostor in energijo, Agencija Republike Slovenije za okolje: 72 str.

[http://www.arso.gov.si/vode/reke/publikacije%20in%20poro%C4%8Dila/Povrsinske\\_2002.pdf](http://www.arso.gov.si/vode/reke/publikacije%20in%20poro%C4%8Dila/Povrsinske_2002.pdf) (15. maj 2013)

Monitoring kakovosti površinskih vodotokov v Sloveniji v letu 2001. 2003. Ljubljana, Republika Slovenija, Ministrstvo za okolje, prostor in energijo, Agencija Republike Slovenije za okolje: 57 str.

[http://www.arso.gov.si/vode/reke/publikacije%20in%20poro%C4%8Dila/porocilo\\_reke\\_2001.pdf](http://www.arso.gov.si/vode/reke/publikacije%20in%20poro%C4%8Dila/porocilo_reke_2001.pdf) (15. maj 2013)

Monitoring kakovosti površinskih vodotokov v Sloveniji v letu 2005. 2007. Ljubljana, Republika Slovenija, Ministrstvo za okolje in prostor, Agencija Republike Slovenije za okolje: 75 str.

[http://www.arso.gov.si/vode/reke/publikacije%20in%20poro%C4%8Dila/porocilo\\_reke\\_2005.pdf](http://www.arso.gov.si/vode/reke/publikacije%20in%20poro%C4%8Dila/porocilo_reke_2005.pdf) (15. maj 2013)

Monitoring kakovosti površinskih vodotokov v Sloveniji v letu 2004. 2006. Ljubljana, Republika Slovenija, Ministrstvo za okolje in prostor, Agencija Republike Slovenije za okolje: 65 str.

[http://www.arso.gov.si/vode/reke/publikacije%20in%20poro%C4%8Dila/povrsinski\\_2004.pdf](http://www.arso.gov.si/vode/reke/publikacije%20in%20poro%C4%8Dila/povrsinski_2004.pdf) (15. maj 2013)

Moog O. (ur.) 1995. Fauna Aquatica Austriaca. Lieferung Mai/95. Wasserwirtschaftskataster, Bundesministerium für Land und Forstwirtschaft, Wien.

Naravne vrednote. b. l. Naravovarstveni atlas

<http://www.naravovarstveni-atlas.si/ISN2KJ/profile.aspx?id=NV@ZRSVN> (8. maj 2013)

Natura. b. l. Naravovarstveni atlas

<http://www.naravovarstveni-atlas.si/ISN2KJ/profile.aspx?id=N2K@ZRSVN> (8. maj 2013)

Nesemann, H. 1997. Egel und Kriebegel (Clitellata: Hirudinea, Branchiobdellida)  
Österreichs. Wien, Ersten Vorarlbergen Malakologischen Gesellschaft: 96 str.

Nickel. b. l.a. U. S. Geological Survey (USGS)

<http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/nickel/mcs-2013-nicke.pdf>

(20. maj 2013)

Nickel. b. l.b. Wikipedia

<http://en.wikipedia.org/wiki/Nickel> (1. marec 2013)

Nikelj. b. l. Surovine.si

<http://www.surovine.si/nikelj.php> (1. marec 2013)

Nosan T. 1963. Geologija Voglajnske pokrajine in Zgornjega Sotelskega. Geografski  
zbornik, 8: 65 – 75.

Ocena ekološkega in kemijskega stanja voda v Sloveniji za obdobje 2006 do 2008. 2010.  
Ljubljana, Republika Slovenija, Ministrstvo za okolje in prostor, Agencija Republike  
Slovenije za okolje: 74 str.

<http://www.arso.gov.si/vode/poro%C4%8Dila%20in%20publikacije/kakovost%20voda/Ocena%20stanja%20voda%2020062008.pdf> (15. maj 2013)

Ocena stanja rek v Sloveniji v letih 2009 in 2010. 2012. Ljubljana, Republika Slovenija,  
Ministrstvo za okolje in prostor, Agencija Republike Slovenije za okolje: 35 str.

<http://www.arso.gov.si/vode/reke/publikacije%20in%20poro%C4%8Dila/REKE%20porocilo%202009-2010.pdf> (15. maj 2013)

Ochieng H., de Ruyter van Steveninck E.D., Wanda F.M. 2008. Mouthpart deformities in Chironomidae (Diptera) as indicators of heavy metal pollution in northern Lake Victoria, Uganda. *African journal of aquatics science*, 33, 2: 135 – 142.

Oder K. 2011. Iz zgodovine železarstva v Štorah. Interni informativni časopis Štore Steel, 1 – 11: 3 – 5

[http://www.store-steel.si/Data/Novice/glasilo\\_1\\_11\\_slo.pdf](http://www.store-steel.si/Data/Novice/glasilo_1_11_slo.pdf) (16. marec 2013)

Ordóñez C., Loughheed V.L., Gardea-Torresdey J.L., Bain L.J. 2011. Impact of metals on macroinvertebrate assemblages in the forgotten stretch of the Rio Grande. *Archives of environmental contamination and toxicology*, 60: 426 – 436

Ortofoto posnetki vzorčnih mest

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

(15. junij 2012; 6. avg. 2013)

Papp, L., Darvas, B. 2000. *Manula of palearctic diptera. Volume 1-General and applied dipterology*. Budapest, Science Herald: 239 str.

Perko, D., Orožen Adamič, M. 2001. *Slovenija. Pokrajine in ljudje*. Tretja izdaja. Ljubljana, Mladinska knjiga: 735 str.

Plut D. 2002. *Varstvo okolja in prostorski razvoj Slovenije*. Ljubljana, Filozofska fakulteta, Oddelek za geografijo: 52 str.  
[http://www.arhiv.mop.gov.si/fileadmin/mop.gov.si/pageuploads/podrocja/prostor/pdf/prostor\\_slo2020/1\\_11\\_dokument.pdf](http://www.arhiv.mop.gov.si/fileadmin/mop.gov.si/pageuploads/podrocja/prostor/pdf/prostor_slo2020/1_11_dokument.pdf) (19. maj 2013)

Podani J. 2001. *SYN-TAX-2000. Computer Programs for Data Analysis in Ecology and Systematics*. Scientia Publishing, Budapest.

- Poulton B.C., Monda D.P., Woodward D.F., Wildhaber M.L., Brumbaugh W.G. 1995. Relations between benthic community structure and metals concentrations in aquatic macroinvertebrates: Clark Fork river, Montana. *Journal of freshwater ecology*, 10, 3: 277 – 293
- Rejic M., Smolej I. 1988. Sladkovodni ekosistemi in varstvo voda. *Gozdna hidrologija*. Ljubljana, VTOZD za gozdarstvo BF: 225 str.
- Rolinc R.A. 1988. The effects of heavy metals pollution of the upper Arkansas river on the distribution of aquatic macroinvertebrates. *Hydrobiologia*, 160: 3 – 8
- Sanacija onesnaženega okolja v Zgornji Mežiški dolini. b. l. Zavod za zdravstveno varstvo Ravne na Koroškem  
<http://www.sanacija-svinec.si/index.php/svinecinzdravjesplosno.xhtml>  
(25. feb. 2013)
- Schmedtje, U., Kohmann, F. und et al. 1992. Informationsberichte des Bayer. Landesamtes für Wasserwirtschaft, Heft 2/88. München, Gebr. Parcus KG: 274 str.
- Serra Gasa A. 2009. Fate and effect of copper in fluvial ecosystems: the role of periphyton. Girona, Universitat de Girona, Institut d'Ecologia Aquatica: 174 str.
- Sharifi M., Nezhad M.E., Zereshti S. 2007. Different patterns of uptake and depuration of cadmium by periphyton community and a grazerspecies (*Physa sp.*): a mesocosm evaluation. *Freshwater Forum* 27: 15 – 26
- Shuhaimi-Othman M., Yakub N., Umirah N.A., Abas A. 2010. Toxicity of eight metals to Malaysian freshwater midge larvae *Chironomus javanus* (Diptera, Chironomidae). *Toxicology and industrial health*, 27: 879 – 886

Sladkovodne postranice Slovenije

<http://www.proteus.si/files/file/RZK2009/postranice/index.html>

(5. marec 2012 – 16. nov. 2012)

Smolders A.J.P., Lock R.A.C., Van der Velde G., Medina Hoyos R.I., Roelofs J.G.M. 2003. Effects of mining activities on heavy metal concentrations in water, sediment and macroinvertebrates in different reaches of the Pilcomayo river, South America. *Archives of environmental contamination and toxicology*, 44: 314 – 323

Šterbenk E., Ževart M., Ramšak R. 2004. Jezera, o katerih bomo še slišali. Ljubljana, Geografski obzornik: časopis za geografsko vzgojo in izobraževanje, 51, 1: 4 – 11

Štern J. in Förstner U. 1976. Heavy metals distribution in the sediment of the Sava basin in Slovenia. *Geologija*, 19, 12: 259 – 274

Štraus M. 2006. Zbornik ribiške družine Voglajna. 50 let gospodarjenja z voglajnskim ribiškim okolišem. Celje, Grafika Gracer, d.o.o.: 41 str.

Tachet H., Richoux P., Bournard M., Usseglio-Polatera P. 2000. *Invertébrés D'eau douce: systématique, biologie, écologie*. Paris, CNRS Editions: 587 str.

Teršič T., Gosar M., Šajn R. 2006. Opuščeni rudnik živega srebra v Podljubelju in njegovi vplivi na okolje. Ljubljana, Geološki zavod Slovenije: 123 str.

Thomaz S. M., Ribeiro da Cunha E. 2010. The role of macrophytes in habitat structuring in aquatic ecosystems: methods of measurement, causes and consequences on animal assemblages, composition and biodiversity. *Acta Limnologica Brasiliensia*, 22, 2: 218 – 236

Toman M.J. 1995. Osnove ekologije celinskih voda. *Biologija v šoli*, 4, 1: 4 – 14

Toman M.J. 2008. Vodni ekosistemi – struktura in funkcija. V: Ekosistemi – povezanost živih sistemov. Mednarodni posvet Biološka znanost in družba. Ljubljana, 2. – 3. Oktober 2008. Zbornik prispevkov. Strgulc Krajšek S., Vičar M. (ur.). Ljubljana, Zavod RS za šolstvo: 50 – 56

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

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

Watanabe N.C., Harada S., Komai Y. 2000. Long-term recovery from mine drainage disturbance of a macroinvertebrate community in the Ichi-kawa river, Japan. *Hydrobiologia*, 429: 171 – 180

Westrich B., Förstner U. (ur.). 2007. Sediment Dynamics and Pollutant Mobility in Rivers. An Interdisciplinary Approach. Berlin, Heidelberg, Springer: 430 str.

Wright I.A., Burgin S. 2009. Effects of organic and heavy metal pollution on chironomids within a pristine upland catchment. *Hydrobiologia*, 635: 15 – 25

Zgodovina podjetja. b. l. Cinkarna Celje

<http://www.cinkarna.si/si/o-podjetju/zgodovina> (16. marec 2013)

Zgodovina. b. l. Emo-ETT

<http://www.emo-ett.si/zgodovina.php> (16. marec 2013)

Žibera I. 2009. The eastern subpannonian Slovenija: physically-geographical characteristics of the Boč and the Voglajnsko and Sotelsko hills. V: New challenges for the sustainable rural development in the 21st century. Sustainable development in Slovenian regions/The 17th annual colloquium of the IGU commission on the sustainability of rural systems, Maribor, 13th – 18th July 2009. Horvat U. (ur.). Maribor, Faculty of Arts, Department of geography: 54 – 57

## **PRILOGE**

Priloga A: Seznam in številčnost taksonov makroinvertebratov na treh vzorčnih mestih na reki

Voglajni in na vzorčnem mestu na reki Velunji

| VZORČNO MESTO                         | Vog<br>Slivn. j. | Vog<br>PRED | Vog<br>ZA | Velunja |
|---------------------------------------|------------------|-------------|-----------|---------|
| <b>TAKSON</b>                         |                  |             |           |         |
| <b>GASTROPODA</b>                     |                  |             |           |         |
| <b>Neritidae</b>                      |                  |             |           |         |
| <i>Theodoxus danubialis</i>           | 0                | 1           | 0         | 0       |
| <b>Ancylidae</b>                      |                  |             |           |         |
| <i>Ancylus fluviatilis</i>            | 2                | 37          | 0         | 8       |
| <b>Hydrobiidae</b>                    |                  |             |           |         |
| <i>Bythinella</i> sp.                 | 1                | 0           | 0         | 0       |
| <b>Physidae</b>                       |                  |             |           |         |
| <i>Physella acuta</i>                 | 15               | 42          | 17        | 0       |
| <b>Thiaridae</b>                      |                  |             |           |         |
| <i>Holandriana holandrii</i>          | 8                | 3           | 0         | 0       |
| <b>Planorbidae</b>                    |                  |             |           |         |
| <i>Gyraulus albus</i>                 | 6                | 2           | 0         | 0       |
| <b>BIVALVIA</b>                       |                  |             |           |         |
| <b>Sphaeridae</b>                     |                  |             |           |         |
| <i>Pisidium</i> sp.                   | 63               | 85          | 4         | 4       |
| <b>OLIGOCHAETA</b>                    |                  |             |           |         |
| <b>Naididae</b>                       |                  |             |           |         |
| <i>Nais</i> sp.                       | 28               | 0           | 3         | 0       |
| <i>Dero</i> . sp.                     | 1                | 0           | 24        | 0       |
| <i>Dero furcata</i>                   | 1                | 0           | 1         | 0       |
| <i>Pristina</i> sp.                   | 1                | 0           | 1         | 0       |
| <i>Stylaria lacustris</i>             | 27               | 0           | 0         | 0       |
| <i>Ophidonais serpentina</i>          | 155              | 1           | 0         | 0       |
| <b>Tubificidae</b>                    |                  |             |           |         |
| Tubificidae s ščetinami               | 169              | 17          | 82        | 0       |
| Tubificidae brez ščetin               | 434              | 20          | 14        | 0       |
| <b>Enchytraeidae</b>                  |                  |             |           |         |
| Enchytraeidae Gen. Sp.                | 0                | 1           | 0         | 0       |
| <b>Lumbriculidae</b>                  |                  |             |           |         |
| Lumbriculidae z enostavnimi ščetinami | 12               | 0           | 1         | 0       |
| <i>Stylodrilus</i> sp.                | 1                | 7           | 0         | 0       |
| <b>HIRUDINEA</b>                      |                  |             |           |         |
| <b>Erpobdellidae</b>                  |                  |             |           |         |
| <i>Erpobdella oculata</i>             | 3                | 0           | 15        | 0       |
| <b>Glossiphoniidae</b>                |                  |             |           |         |
| <i>Helobdella stagnalis</i>           | 102              | 1           | 5         | 0       |
| <b>AMPHIPODA</b>                      |                  |             |           |         |
| <b>Gammaridae</b>                     |                  |             |           |         |
| <i>Gammarus fossarum</i>              | 81               | 0           | 0         | 1       |
| <b>ISOPODA</b>                        |                  |             |           |         |
| <b>Asellidae</b>                      |                  |             |           |         |
| <i>Asellus aquaticus</i>              | 0                | 0           | 1         | 0       |
| <b>EPHEMEROPTERA</b>                  |                  |             |           |         |
| <b>Baetidae</b>                       |                  |             |           |         |
| <i>Baetis</i> sp.                     | 318              | 134         | 1         | 215     |

se nadaljuje

Priloga A: nadaljevanje

|                                 |      |     |    |    |
|---------------------------------|------|-----|----|----|
| <b>Heptageniidae</b>            |      |     |    |    |
| <i>Ecdyonurus</i> sp.           | 1    | 0   | 0  | 6  |
| <b>Caenidae</b>                 |      |     |    |    |
| <i>Caenis</i> sp.               | 1    | 0   | 0  | 0  |
| <b>PLECOPTERA</b>               |      |     |    |    |
| <b>Leuctridae</b>               |      |     |    |    |
| <i>Leuctra</i> sp.              | 0    | 0   | 0  | 48 |
| <b>Perlidae</b>                 | 0    | 0   | 0  | 1  |
| <b>ODONATA</b>                  |      |     |    |    |
| <b>Calopterygidae</b>           |      |     |    |    |
| <i>Calopteryx splendens</i>     | 0    | 16  | 0  | 0  |
| <b>Gomphidae</b>                |      |     |    |    |
| <i>Gomphus</i> sp.              | 1    | 0   | 2  | 0  |
| <b>COLEOPTERA</b>               |      |     |    |    |
| <b>Gyrinidae</b>                |      |     |    |    |
| <i>Orectochilus villosus</i>    | 4    | 0   | 0  | 1  |
| <b>Elmidae</b>                  |      |     |    |    |
| <i>Elmis</i> sp.                | 0    | 0   | 0  | 15 |
| <i>Esolus</i> sp.               | 0    | 0   | 0  | 10 |
| <i>Limnius</i> sp.              | 1    | 0   | 1  | 48 |
| <b>Hydraenidae</b>              |      |     |    |    |
| <i>Hydraena</i> sp.             | 0    | 1   | 0  | 1  |
| <b>TRICHOPTERA</b>              |      |     |    |    |
| <b>Hydropsychidae</b>           |      |     |    |    |
| <i>Hydropsyche</i> sp.          | 84   | 13  | 21 | 5  |
| <b>Sericostomatidae</b>         |      |     |    |    |
| <i>Sericostoma</i> sp.          | 2    | 0   | 0  | 0  |
| <b>Hydroptillidae</b>           | 1    | 0   | 0  | 0  |
| <b>Polycentropodidae</b>        |      |     |    |    |
| <i>Polycentropus</i> sp.        | 24   | 0   | 0  | 0  |
| <i>Cyrnus</i> sp.               | 0    | 0   | 1  | 0  |
| <b>Rhyacophilidae</b>           |      |     |    |    |
| <i>Rhyacophila</i> sp.          | 0    | 0   | 0  | 3  |
| <b>DIPTERA</b>                  |      |     |    |    |
| <b>Simuliidae</b>               |      |     |    |    |
| <i>Simulium</i> sp.             | 74   | 813 | 0  | 24 |
| <b>Ceratopogonidae</b>          |      |     |    |    |
| Ceratopogoninae                 | 0    | 0   | 1  | 2  |
| <b>Chironomidae</b>             |      |     |    |    |
| Tanypodinae                     | 348  | 138 | 25 | 0  |
| Chironominae                    |      |     |    |    |
| Tanytarsini                     | 5744 | 504 | 3  | 7  |
| Chironomini                     | 448  | 428 | 13 | 48 |
| <i>Chironomus riparius</i> agg. | 5    | 1   | 0  | 0  |
| <i>Chironomus plumosus</i> agg. | 2    | 0   | 0  | 0  |
| Orthocladiinae (l.s.)           | 378  | 31  | 17 | 3  |
| <b>Psychodidae</b>              |      |     |    |    |
| <i>Prodiamesa olivacea</i>      | 20   | 0   | 0  | 0  |
| <b>Limoniidae</b>               |      |     |    |    |
| <i>Hexatoma</i> sp.             | 0    | 0   | 0  | 1  |
| <i>Dicranota</i> sp.            | 10   | 0   | 0  | 4  |
| <b>Tabanidae</b>                | 8    | 0   | 0  | 1  |

se nadaljuje

**Priloga A: nadaljevanje**

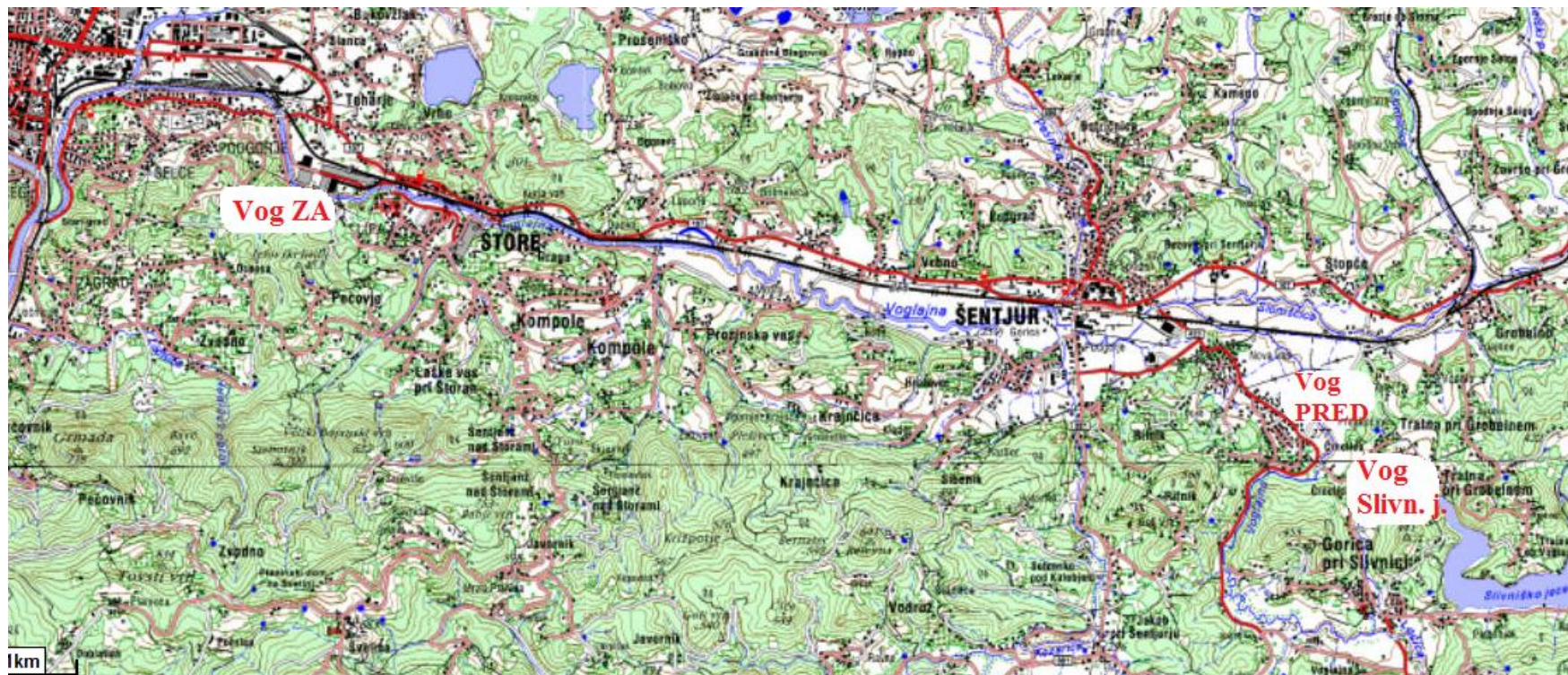
|                          |   |    |   |   |
|--------------------------|---|----|---|---|
| <b>Tipulidae</b>         |   |    |   |   |
| <i>Tipula</i> sp.        | 5 | 14 | 0 | 0 |
| <b>Psychodidae</b>       | 4 | 3  | 0 | 0 |
| <b>Empididae</b>         |   |    |   |   |
| <b>Hemerodromiinae</b>   | 0 | 1  | 0 | 0 |
| <b>MEGALOPTERA</b>       |   |    |   |   |
| <b>Sialidae</b>          |   |    |   |   |
| <i>Sialis fuliginosa</i> | 1 | 0  | 0 | 0 |

**Priloga B: Izmerjene vrednosti fizikalnih in kemijskih parametrov na treh vzorčnih mestih na reki  
Voglajni in na vzorčnem mestu na reki Velunji**

| <b>VZORČNO MESTO</b>                                        |                             |                    |                    |                    |
|-------------------------------------------------------------|-----------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
|                                                             | <b>Vog Slivn. J.</b>        | <b>Vog PRED</b>    | <b>Vog ZA</b>      | <b>Velunja</b>     |
| <b>ura merjenja</b>                                         | 10:50                       | 9:10               | 12:35              | 16:05              |
| <b>temperatura vode<br/>(°C)</b>                            | 20,4                        | 17,7               | 19,7               | 16,5               |
| <b>pH</b>                                                   | 7,4                         | 7,9                | 8,0                | 8,2                |
| <b>elektroprevodnost<br/>(µS/cm)</b>                        | 300                         | 360                | 540                | 309                |
| <b>nasičenost s<br/>kisikom (%)</b>                         | 53                          | 73                 | 92                 | 105                |
| <b>koncentracija<br/>kisika (mg/L)</b>                      | 4,5                         | 6,8                | 8,5                | 10,0               |
| <b>lastna barva vode</b>                                    | rjavkasto oranžna           | brezbarvna         | brezbarvna         | brezbarvna         |
| <b>vonj vode</b>                                            | neprijeten<br>(po škropivu) | rahlo neprijeten   | neprijeten         | brez vonja         |
| <b>koncentracija<br/>NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (mg/L)</b>  | 0,23                        | 3,75               | 3,51               | 3,87               |
| <b>koncentracija<br/>PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> (mg/L)</b> | pod mejo detekcije          | pod mejo detekcije | pod mejo detekcije | pod mejo detekcije |
| <b>sušina (mg/L)</b>                                        | 230                         | 270                | 410                | 220                |
| <b>TDS (mg/L)</b>                                           | 210                         | 200                | 390                | 200                |
| <b>TSS (mg/L)</b>                                           | 20                          | 70                 | 20                 | 20                 |
| <b>organske snovi<br/>(mg)</b>                              | 21,4                        | 22,8               | 29                 | 20,2               |

Priloga C: Zemljevid treh vzorčnih mest na reki Vogljani (Vog. Slivn. j., Vog PRED, Vog ZA)

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



UNIVERZA V LJUBLJANI  
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA  
ODDELEK ZA BIOLOGIJO

Nina ŠTARKELO

**VPLIV KOVIN NA ZDRUŽBO  
MAKROINVERTEBRATOV V REKI VOGLAJNI**

DIPLOMSKA NALOGA

Univerzitetni študij

Ljubljana, 2013