

UNIVERZA V LJUBLJANI  
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA

Mojca HROVAT

**EKOLOGIJA LIČINK ENODNEVNIC  
(Ephemeroptera), VRBNIC (Plecoptera) IN  
MLADOLETNIC (Trichoptera) V REKAH  
BIOREGIJE PREDDINARSKA HRIBOVJA IN  
RAVNINE**

DOKTORSKA DISERTACIJA

Ljubljana, 2014



UNIVERZA V LJUBLJANI  
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA

Mojca HROVAT

**EKOLOGIJA LIČINK ENODNEVNIC (Ephemeroptera), VRBNIC  
(Plecoptera) IN MLADOLETNIC (Trichoptera) V REKAH BIOREGIJE  
PREDDINARSKA HRIBOVJA IN RAVNINE**

DOKTORSKA DISERTACIJA

**ECOLOGY OF MAYFLIES (Ephemeroptera), STONEFLIES  
(Plecoptera) AND CADDISFLIES (Trichoptera) LARVAE IN RIVERS  
OF SUBDINARIC HILLS AND PLAINS BIOREGION**

DOCTORAL DISSERTATION

Ljubljana, 2014

Doktorska disertacija je zaključek univerzitetnega Interdisciplinarnega doktorskega študija Varstvo okolja na Univerzi v Ljubljani. Pripravljena je bila na Katedri za ekologijo in varstvo okolja na Oddelku za biologijo Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani.

Na podlagi Statuta Univerze v Ljubljani ter po sklepu Senata Biotehniške fakultete in Komisije za doktorski študij Univerze v Ljubljani je bila tema disertacije sprejeta 10.9.2009.

Za mentorja doktorske disertacije je bil imenovan doc. dr. Gorazd URBANIČ.

## Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik: prof. dr. Mihael Jožef TOMAN  
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo

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

Član: prof. dr. Tone NOVAK  
Univerza v Mariboru, Fakulteta za naravoslovje in matematiko,  
Oddelek za biologijo

Datum zagovora: 2.10.2014

Podpisana izjavljjam, da je disertacija rezultat lastnega raziskovalnega dela. Izjavljjam, da je elektronski izvod identičen tiskanemu. Na univerzo neodplačno, neizključno, prostorsko in časovno neomejeno prenašam pravici shranitve avtorskega dela v elektronski obliki in reproduciranja ter pravico omogočanja javnega dostopa do avtorskega dela na svetovnem spletu preko Digitalne knjižnice Biotehniške fakultete.

Mojca Hrovat

## KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

|    |  |
|----|--|
| ŠD | Dd   |
| DK | UDK 595.734:502/504:502.51(282)(497.4)(043.3)=163.6  |
| KG | enodnevnice/vrbnice/mladoletnice/raba tal/mikrohabitat/kakovost vode<br>CCA/pCCA   |
| KK |  |
| AV | HROVAT, Mojca, univ. dipl biol.  |
| SA | URBANIČ, Gorazd (mentor)   |
| KZ | SI-1000 Ljubljana, Večna pot 111   |
| ZA | Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta  |
| LI | 2014   |
| IN | EKOLOGIJA LIČINK ENODNEVNIC (Ephemeroptera), VRBNIC (Plecoptera)<br>IN MLADOLETNIC (Trichoptera) V REKAH BIOREGIJE PREDDINARSKA<br>HRIBOVJA IN RAVNINE   |
| TD | Doktorska disertacija  |
| OP | XXII, 121 str, 23 pregl., 33 sl., 8 pril., 208 vir.  |
| IJ | sl   |
| JI | sl/en  |
| AI | Naloga prinaša vpogled v zgradbo in delovanje združb ličink enodnevnic, vrbnic in mladoletnic (EPT) v rekah bioregije Preddinarska hribovja in ravnine. Povezave med združbami ličink EPT in okoljskimi dejavniki smo primerjali med kraškimi in nekraškimi rekami. Podatke o združbah ličink EPT in 52 okoljskih spremenljivkah smo zbrali na 63 mestih vzorčenja v obdobju od leta 2005 do 2010. Z dvosmerno permutacijsko multivariatno analizo variance (PERMANOVA) smo taksonomsko sestavo in številčnost ličink EPT v rekah raziskovane bioregije enako dobro pojasnili s tipološkimi značilnostmi kot s stopnjo obremenitve rek. S stopnjo obremenitve rek smo združbe ličink EPT v kraških rekah slabše pojasnili kot v nekraških rekah. Strukturne in funkcionalne značilnosti združb ličink EPT so dobro odražale (64 %) obremenitve rek raziskovane bioregije. Obremenitve kraških rek so strukturne in funkcionalne značilnosti združb ličink EPT slabše odražale kot obremenitve nekraških rek. Z analizo indikatorskih taksonov (IndVal) smo v neobremenjenih rekah ugotovili več indikatorskih taksonov kot v obremenjenih rekah. Povezave med okoljskimi spremenljivkami in združbami ličink EPT smo ugotavljali s kanonično korespondenčno analizo (CCA). Z istimi spremenljivkami tipologije, rabe tal, kakovosti vode in značilnosti mikrohabitata smo pojasnili različne deleže variabilnosti združb ličink EPT v kraških in nekraških rekah. S parcialno kanonično korespondenčno analizo (pCCA) smo ugotavljali povezanost vplivov dejavnikov tipologije, rabe tal, kakovosti vode in značilnosti mikrohabitata na združbe ličink EPT. Ugotovili smo majhno (10 do 18 %) povezanost vplivov dejavnikov tipologije, rabe tal, kakovosti vode in značilnosti mikrohabitata na združbe ličink EPT. V kraških rekah smo ugotovili najmanjši pomen rabe tal (26 %) za združbe ličink EPT. V nekraških rekah smo ugotovili najmanjši pomen značilnosti mikrohabitata (32 %) za združbe ličink EPT. V vplivih rabe tal, kakovosti vode in značilnosti mikrohabitata na združbe ličink EPT smo ugotovili razlike med kraškimi in nekraškimi rekami. V kraških rekah smo združbe ličink EPT bolje pojasnili s kakovostjo vode in značilnostmi mikrohabitata kot z rabo tal. V nekraških rekah smo združbe ličink EPT bolje ali enako pojasnili z rabo tal kot s kakovostjo vode in značilnostmi mikrohabitata. Zaradi ugotovljenih razlik v vplivih okoljskih dejavnikov na kraške in nekraške reke je treba različno upravljati s kraškimi in nekraškimi rekami. |

#### KEY WORDS DOCUMENTATION

DN Dd  
DC UDK 595.734:502/504:502.51(282)(497.4)(043.3)=163.6  
CX mayflies/stonflies/caddisflies/land use/microhabitat characteristics/water quality/  
CCA/pCCA  
CC  
AU HROVAT, Mojca  
AA URBANIČ, Gorazd (supervisor)  
PP SI-1000 Ljubljana, Večna pot 111  
PB University of Ljubljana, Biotechnical Faculty  
PY 2014  
TI ECOLOGY OF MAYFLIES (Ephemeroptera), STONEFLIES (Plecoptera) AND  
CADDISFLIES (Trichopera) LARVAE IN RIVERS OF SUBDINARIC HILLS  
AND PLAINS BIOREGION  
DT Doctoral dissertation  
NO XXII, 121 p., 23 tab., 33 fig., 8 ann., 208 ref.  
LA sl  
AL sl/en  
AB The structure and function of Ephemeroptera, Plecoptera and Trichoptera (EPT) larvae  
assemblages were studied in rivers of Subdinaric hills and plains bioregion. The  
relationship among EPT larvae assemblages and environmental factors were compared  
among karst and non-karst rivers. The data on EPT larvae and 52 environmental  
variables were collected at 63 sampling sites during 2005-2010. Using two way  
permutational analysis of variance (PERMANOVA), EPT larvae taxonomic  
composition and abundance were explained equally by typology and degradation level  
of rivers of investigated bioregion. The amount of the explained variability of EPT  
larvae assemblages by degradation level was lower in karst rivers than in non-karst  
rivers. In investigated bioregion, the differences in the degradation level of rivers were  
indicated well by structural and functional characteristics of EPT larvae assemblages  
(64 %). The degradation of non-karst rivers was better indicated by structural and  
functional characteristics of EPT larvae assemblages than degradation of karst rivers.  
The Indicator Value Analysis (IndVal) revealed lower number of EPT taxa,  
characteristic of degraded rivers than of non-degraded rivers. Canonical  
correspondence analysis (CCA) was used to determine most important environmental  
variables for EPT larvae assemblages. In karst and non-karst rivers different typology,  
land use (catchment and subcatchment), microhabitat (substrate, current type) and  
water quality (nutrient concentration, dissolved organic matter, sulphate, chloride)  
variables were best predictor of EPT larvae assemblages. Using partial canonical  
correspondence analysis (pCCA), explained variability of EPT larvae assemblages was  
partitioned among typology, land use, water quality and microhabitat variable groups.  
Common effects on EPT larvae were rather small (10 - 18 %). The smallest unique  
effects of land use (26 %) and microhabitat characteristics (32 %) on EPT larvae was  
found in karst and non-karst rivers, respectively. The effect of land use, water quality  
and microhabitat characteristics on EPT larvae were different in karst and non-karst  
rivers. In karst rivers water quality and microhabitat characteristics were more  
important than land use, whereas in non-karst rivers land use was equal or more  
important than water quality and microhabitat characteristics, respectively. Due to the  
observed differences in the effects of environmental factors on karst and non-karst  
rivers, the management of karst and non-karst rivers should be different.

## KAZALO VSEBINE

|                                     |      |
|-------------------------------------|------|
| KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA | III  |
| KEY WORDS DOCUMENTATION             | IV   |
| KAZALO VSEBINE                      | VI   |
| KAZALO PREGLEDNIC                   | VIII |
| KAZALO SLIK                         | XI   |
| KAZALO PRILOG                       | XII  |
| OKRAJŠAVE IN SIMBOLI                | XIII |
| SLOVARČEK                           | XIV  |

|   |    |
|---|----|
| 1 UVOD.....   | 1  |
| 2 OPREDELITEV PROBLEMA .....  | 2  |
| 3 PREGLED OBJAV .....   | 4  |
| 3.1 EKOSISTEMI TEKOČIH VODA.....  | 4  |
| 3.1.1 Prostorsko in časovno spremenjanje razmer v tekočih vodah .....   | 4  |
| 3.1.2 Hierarhična zgradba tekočih voda .....  | 5  |
| 3.1.3 Raznolikost naravnih značilnosti tekočih voda.....  | 7  |
| 3.1.4 Vpliv antropogenih dejavnikov na razmere v tekočih vodah .....  | 13 |
| 3.1.5 Združbe organizmov tekočih voda.....  | 18 |
| 3.2 ZNAČILNOSTI ZDRUŽB BENTOŠKIH NEVRETEŃCARJEV .....   | 19 |
| 3.2.1 Variabilnost združb bentoških nevretenčarjev v odvisnosti od okoljskih dejavnikov.....  | 19 |
| 3.2.2 Strukturne in funkcionalne značilnosti združb bentoških nevretenčarjev .....  | 20 |
| 3.2.3 Ličinke enodnevnic, vrbnic in mladoletnic kot pomembni gradniki združb bentoških nevretenčarjev .....                                   | 24 |
| 3.3 VREDNOTENJE EKOLOŠKEGA STANJA REK V SLOVENIJI .....   | 27 |
| 4 CILJI RAZISKOVANJA .....  | 29 |
| 5 DELOVNE HIPOTEZE .....  | 30 |
| 6 MATERIALI IN METODE DELA.....   | 31 |
| 6.1 MESTA VZORČENJA IN OBDOBJE RAZISKAV .....   | 31 |
| 6.2 VZORČENJE LIČINK ENODNEVNIC, VRBNIC IN MLADOLETNIC .....  | 37 |
| 6.3 IZRAČUN IN IZBOR METRIK .....   | 37 |
| 6.4 OKOLJSKE SPREMENLJIVKE .....  | 39 |
| 6.4.1 Spremenljivke tipologije .....  | 39 |
| 6.4.2 Raba tal prispevnega območja rek .....  | 40 |
| 6.4.3 Fizikalno-kemiske in hidromorfološke spremenljivke .....  | 41 |
| 6.5 STATISTIČNE ANALIZE .....   | 44 |
| 6.5.1 Analiza strukturnih in funkcionalnih značilnosti združb ličink EPT v povezavi z naravnimi značilnostmi in stopnjo obremenitve rek ..... | 44 |

|   |            |
|---|------------|
| 6.5.2 Primerjava vrednosti metrik glede na tipološke značilnosti in stopnjo obremenitve rek .....   | 47         |
| 6.5.3 Analiza povezav med združbami ličink EPT in okoljskimi spremenljivkami ...  | 48         |
| <b>7 REZULTATI.....</b>   | <b>53</b>  |
| <b>7.1 STRUKTURNNE IN FUNKCIONALNE ZAČILNOSTI ZDRUŽB LIČINK EPT V POVEZAVI Z NARAVNIMI ZNAČILNOSTMI IN STOPNJO OBREMENITVE REK</b>  | <b>53</b>  |
| 7.1.1 Taksonomska sestava in številčnost .....  | 53         |
| 7.1.2 Indikatorski taksoni .....  | 63         |
| 7.1.3 Metrike, izračunane na podlagi podatkov o združbah ličink EPT .....   | 66         |
| <b>7.2 POVEZAVE MED ZDRUŽBAMI LIČINK EPT IN OKOLJSKIMI SPREMENLJIVKAMI .....</b>  | <b>79</b>  |
| 7.2.1 Vrednosti okoljskih spremenljivk.....   | 79         |
| 7.2.2 Povezave med združbami ličink EPT, spremenljivkami tipologije, rabe tal, kakovosti vode in značilnosti mikrohabitata .....  | 87         |
| 7.2.3 Porazdelitev pojasnjene variabilnosti združb ličink EPT med skupine spremenljivk tipologija in raba tal, tipologija in kakovost vode ter tipologija in značilnosti mikrohabitata..... | 93         |
| 7.2.4 Porazdelitev pojasnjene variabilnosti združb ličink EPT med skupine spremenljivk raba tal, kakovost vode in značilnosti mikrohabitata.....  | 96         |
| <b>8 RAZPRAVA .....</b>   | <b>99</b>  |
| <b>8.1 RAZLIKE V ZDRUŽBAH LIČINK EPT ZARADI TIPOLOŠKIH ZNAČILNOSTI IN OBREMENITEV REK .....</b>   | <b>99</b>  |
| <b>8.2 POMEN TIPOLOŠKIH DEJAVNIKOV, RABE TAL, KAKOVOSTI VODE IN ZNAČILNOSTI MIKROHABITATA ZA ZDRUŽBE LIČINK EPT .....</b>   | <b>104</b> |
| <b>9 SKLEPI .....</b>   | <b>112</b> |
| <b>10 POVZETEK (SUMMARY).....</b>   | <b>114</b> |
| 10.1 POVZETEK.....  | 114        |
| 10.2 SUMMARY.....   | 118        |
| <b>11 VIRI.....</b>   | <b>122</b> |
| <b>12 ZAHVALA</b>   |            |

## KAZALO PREGLEDNIC

|   |    |
|---|----|
| Preglednica 1. Spremenljivke tipologije za opis ekoloških tipov rek v Sloveniji (Urbanič, 2011); *sQs-srednji letni pretok.....   | 11 |
| Preglednica 2. Preference bentoških nevretenčarjev do tipa vodnega toka (Schmidt-Kloiber in sod., 2006) .....   | 23 |
| Preglednica 3. Tipi substratov, ki jih preferirajo bentoški nevretenčarji (Schmidt-Kloiber in sod., 2006) .....   | 23 |
| Preglednica 4. Načini prehranjevanja bentoških nevretenčarjev (Schmidt-Kloiber in sod., 2006).....  | 23 |
| Preglednica 5. Načini premikanja bentoških nevretenčarjev (Schmidt-Kloiber in sod., 2006).....  | 24 |
| Preglednica 6. Opis razredov spremenjenosti hidromorfoloških (HM) značilnosti vodotokov (VGI, 2002) .....   | 33 |
| Preglednica 7. Dolžina zajezitve v povezavi z velikostjo prispevne površine tekoče vode, upoštevana v vrednotenju hidrološkega (HLM) stanja (Tavzes in Urbanič, 2009)....   | 34 |
| Preglednica 8. Sistem razvrstitev rek glede na vrednost indeksa hidrološke spremenjenosti (HLM) treh velikostnih tipov zajezitev z zgornjimi (ubd) in spodnjimi (lbd) mejnimi vrednostmi razdalj mest vzorčenja od zajezitve (Urbanič, 2014). Velika zajezitev – velikost jezera/zadrževalnik, srednje velika zajezitev – velikost mlake, majhna zajezitev – velikost tolmuna. ....                               | 36 |
| Preglednica 9. Seznam metrik, izpeljanih iz združb ličink enodnevnic, vrbnic in mladoletnic (EPT).....  | 39 |
| Preglednica 10. Kategorije anorganskih in organskih substratov ter tipov vodnih tokov (AQEM, 2002; Urbanič in Toman, 2003; Urbanič in sod., 2005; Urbanič, 2014).....   | 42 |
| Preglednica 11. Seznam okoljskih spremenljivk, uporabljenih v kanoničnih analizah, po skupinah okoljskih spremenljivk z oznakami, enotami in uporabljenimi transformacijami.....  | 43 |
| Preglednica 12. Seznam taksonov EPT glede na prisotnost v kraških rekah (Kras), nekraških rekah (Nekras), neobremenjenih rekah (R) in obremenjenih rekah (NR) bioregije Preddinarska hribovja in ravnine (+ označuje prisotnost taksona). .....   | 55 |
| Preglednica 13. Rezultati dvosmerne PERMANOVA analize razlik v sestavi združb in številčnosti ličink EPT glede na tip rek in/ali stopnjo obremenitve rek bioregije Preddinarska hribovja in ravnine (df – stopinje prostosti, SumOfSqs – vsota kvadratov odklonov od povprečja, MeanSqs - povprečni kvadratni odklon, p – statistična značilna verjetnost na osnovi 9999 permutacij). .....                       | 60 |
| Preglednica 14. Rezultati enosmerne PERMANOVA analize razlik v sestavi združb in številčnosti ličink EPT glede na stopnjo obremenitve kraških (Kras) in nekraških (Nekras) rek bioregije Preddinarska hribovja in ravnine (df – stopinje prostosti, SumOfSqs – vsota kvadratov odklonov od povprečja, MeanSqs – povprečni kvadratni odklon, p – statistična značilna verjetnost na osnovi 9999 permutacij). ..... | 62 |
| Preglednica 15. Rezultati analize indikatorskih vrednosti EPT taksonov (IndVal) v rekah bioregije Preddinarska hribovja in ravnine (Kras – kraške reke, Nekras – nekraške reke, R – neobremenjene reke, NR - obremenjene reke). Stopnja statistične značilnosti je označena z zvezdicami (* p ≤ 0,05, **p ≤ 0,01, *** p ≤ 0,001). Kode taksonov so podane v Preglednici 1. ....                                   | 64 |
| Preglednica 16. Statistično značilne (p < 0,01) močne korelacije (Spearmanov korelacijski koeficient, $r_s \geq 0,80$ ) med metrikami združb ličink EPT (Pdhribavni – reke bioregije Preddinarska hribovja in ravnine, Kras – kraške reke, Nekras – nekraške reke   |    |

|  |    |
|--|----|
| bioregije Preddinarska hribovja in ravnine). Skupine in oznake metrik so navedene v Preglednici 9.....   | 67 |
| Preglednica 17. Rezultati Mann-Whitney U testa razlik v vrednostih metrik združb ličink EPT med kraškimi in nekraškimi rekami (Kras vs. Nekras), med neobremenjenimi in obremenjenimi rekami (R vs. NR), med neobremenjenimi in obremenjenimi kraškimi rekami (KrasR vs. KrasNR) ter med neobremenjenimi in obremenjenimi nekraškimi rekami (NekrasR vs. NekrasNR) bioregije Preddinarska hribovja in ravnine.<br>Statistična značilnost je označena z zvezdicami (* p < 0,05, **p < 0,01, *** p < 0,001).....   | 70 |
| Preglednica 18. Vrednosti okoljskih spremenljivk z mest vzorčenja rek bioregije Preddinarska hribovja in ravnine (Pdhribavni – reke bioregije Preddinarska hribovja in ravnine, Kras – kraške reke, Nekras – nekraške reke bioregije Preddinarska hribovja in ravnine). Za večino spremenljivk je navedena povprečna vrednost in razpon (min - max) vrednosti spremenljivke. n- število vrednosti, * - za kategorične spremenljivke je navedena mediana in razpon vrednosti spremenljivke. ....  | 80 |
| Preglednica 19. Rezultati Mann-Whitney U testa razlik v vrednostih okoljskih spremenljivk med kraškimi in nekraškimi rekami (Kras vs. Nekras), med neobremenjenimi in obremenjenimi rekami (R vs. NR), med neobremenjenimi in obremenjenimi kraškimi rekami (KrasR vs. KrasNR) ter med neobremenjenimi in obremenjenimi nekraškimi rekami (NekrasR vs. NekrasNR) bioregije Preddinarska hribovja in ravnine. Statistična značilnost je označena z zvezdicami (* p < 0,05, **p < 0,01, *** p < 0,001). .....  | 82 |
| Preglednica 20. Statistično značilne (p < 0,01) močne in srednje močne korelacije (Spearmanov korelacijski koeficient, $r_s > 0,60$ ) med okoljskimi spremenljivkami v rekah bioregije Preddinarska hribovja in ravnine (Pdhribavni – reke bioregije, Kras – kraške reke, Nekras – nekraške reke). Oznake in skupine spremenljivk so v Preglednici 13.....   | 86 |
| Preglednica 21. Celotna variabilnost ter pojasnjene variabilnosti združb ličink enodnevnic, vrbnic in mladoletnic (EPT) pred izbiranjem ( $\lambda_1$ ) in po izbiranju ( $\lambda_a$ ) spremenljivk iz skupin tipologija (T), raba tal (L), kakovost vode (Q) in značilnosti mikrohabitata (M) v rekah bioregije Preddinarska hribovja in ravnine (Pdhribavni), kraških rekah (Kras) in nekraških rekah (Nekras) bioregije Preddinarska hribovja in ravnine. Vrednosti $\lambda$ so navedene samo za spremenljivke, s katerimi smo statistično značilno (* p < 0,05, ** p < 0,01, *** p < 0,001) pojasnili variabilnost matrik taksonov EPT. Kurziv – skupina spremenljivk..... | 87 |
| Preglednica 22. Razmerja med variabilnostjo združb ličink EPT, pojasnjeno s posamezno okoljsko spremenljivko ( $\lambda_1$ ) in variabilnostjo združb ličink EPT, pojasnjeno z najbolj pojasnjevalno spremenljivko ( $\lambda_{1max}$ ) iz skupine spremenljivk v rekah bioregije (Pdhribavni), kraških rekah (Kras) in nekraških (Nekras) rekah bioregije Preddinarska hribovja in ravnine. Razmerja $\lambda_1/\lambda_{1max} > 0,80$ so označena krepko.<br>Kurziv – skupina spremenljivk.....  | 89 |
| Preglednica 23. Vrednosti F-testa in statistična značilnost pojasnjene variabilnosti združb ličink EPT z izbranimi spremenljivkami po skupinah spremenljivk tipologija (T), raba tal (L), značilnosti mikrohabitata (M) in kakovost vode (Q) v rekah bioregije Preddinarska hribovja in ravnine (Pdhribavni – reke bioregije Preddinarska hribovja in ravnine, Kras – kraške reke, Nekras – nekraške reke bioregije Preddinarska hribovja in ravnine). ** p < 0,01, *** p < 0,001.....   | 91 |

## KAZALO SLIK

|   |    |
|---|----|
| Slika 1. Hierarhična zgradba in vplivi dejavnikov glede na prostorske ravni v ekosistemih tekočih voda. Vsaka prostorska raven ima značilno velikost površine in hitrost spremenjanja dejavnikov v času ali obstojnost (Frissell in sod., 1986; Allan in sod., 1997).....   | 6  |
| Slika 2. Razporeditev tipov krasa v Sloveniji (Ravbar, 2007). .....   | 9  |
| Slika 3. Bioregije in ekološki tipi rek v Sloveniji (Urbanič, 2011). ....   | 12 |
| Slika 4. Vplivi rabe tal prispevnega območja na združbe organizmov in delovanje ekosistemov tekočih voda (dopolnjeno po Townsend in Riley, 1999).....   | 14 |
| Slika 5. Pokrovnost tal v Sloveniji po Corine Land Cover (CLC, 2007). ....  | 16 |
| Slika 6. Tриje osnovni biološki seti, ki jih preučujemo v ekologiji združb: opredeljeni geografsko (združbe), filogenetsko (taksoni) in glede na izkoriščanje virov (cehi). V modelu so združbe skupina organizmov, ki sobivajo v istem prostoru in času. Preseki setov (lokalni cehi, združbe taksonov, skupine, ki sodelujejo pri isti vlogi ali dejavnostne skupine) določajo enote proučevanja (Fauth in sod., 1996)..... | 18 |
| Slika 7. Sistem vrednotenja ekološkega stanja rek na podlagi bioloških elementov kakovosti v Sloveniji (Urbanič, 2011). ....  | 28 |
| Slika 8. Mesta vzorčenja vodotokov bioregije Preddinarska hribovja in ravnine. ....   | 31 |
| Slika 9. Število vzorcev ličink EPT (n) glede na naravne (tipološke) značilnosti in stopnjo obremenitve rek bioregije Preddinarska hribovja in ravnine (Pdhribavni) (Kras – kraške reke, Nekras – nekraške reke, R – neobremenjene reke, NR – obremenjene reke). Preseki kvadratov prikazujejo število vzorcev ličink EPT v neobremenjenih in obremenjenih kraških ali nekraških rekah. ....                                  | 36 |
| Slika 10. Izbor metrik in razporeditev izbranih metrik združb ličink EPT v skupine. ....  | 38 |
| Slika 11. Skica območij skupnih prispevnih površin (rumeno in oranžno) in neposrednih prispevnih površin (oranžno) mesta vzorčenja (rdeča točka) vodotoka (Pavlin, 2011). ....  | 40 |
| Slika 12. Koraki v analizah povezav med združbami ličink EPT in okoljskimi spremenljivkami ter prikaz povezav med okoljskimi spremenljivkami upoštevanimi v modelu. T – tipologija, L – raba tal, M – značilnosti mikrohabitata, Q – kakovost vode, $r_s$ – Spearmanov korelacijski koeficient, CCA – kanonična korespondenčna analiza, pCCA – parcialna kanonična korespondenčna analiza. ....                               | 52 |
| Slika 13. Število taksonov enodnevnic (E), vrbnic (P) in mladoletnic (T) v rekah bioregije Preddinarska hribovja in ravnine (Pdhribavni – reke bioregije Preddinarska hribovja in ravnine, Kras – kraške reke, Nekras - nekraške reke, R – neobremenjene reke, NR – obremenjene reke). ....   | 54 |
| Slika 14. Delež taksonov enodnevnic (E), vrbnic (P) in mladoletnic (T) v rekah bioregije Preddinarska hribovja in ravnine ((Pdhrib ravni – reke bioregije Preddinarska hribovja in ravnine, Kras – kraške reke, Nekras - nekraške reke, R – neobremenjene reke, NR – obremenjene reke). ....  | 54 |
| Slika 15. Ugotovljeno in ocenjeno število taksonov (EPT v rekah bioregije Preddinarska hribovja in ravnine s cenilkami Jackknife 1. in 2. reda, Chao 1. in 2. reda ter Bootstrap (Kras – kraške reke, Nekras - nekraške reke, R – neobremenjene reke, NR – obremenjene reke). Ocenjeno število je označeno kot razpon ocen (Ocena min – ocena max). ....  | 58 |
| Slika 16. Krivulje kopiranja taksonov EPT v rekah bioregije Preddinarska hribovja in ravnine (R – neobremenjene reke, NR – obremenjene reke, Kras – kraške reke, Nekras - nekraške reke). ....  | 59 |

|   |    |
|---|----|
| Slika 17. Povprečno število taksonov EPT glede na (log) števila vzorcev ličink EPT v rekah bioregije Preddinarska hribovja in ravnine (R - neobremenjene, NR - obremenjene, Kras – kraške, Nekras - nekraške reke). ....  | 59 |
| Slika 18. Ordinacijski diagram nemetričnega multidimenzionalnega skaliranja (NMS) z vzorci ličink EPT v A) kraških rekah (modre pike) in nekraških rekah (roza pike) ter B) obremenjenih rekah (rdeče pike) in neobremenjenih rekah (zelene pike) bioregije Preddinarska hribovja in ravnine (stres = 0,19). ....   | 61 |
| Slika 19. Ordinacijski diagram nemetričnega multidimenzionalnega skaliranja (NMS) z vzorci ličink EPT v neobremenjenih kraških rekah (zelene pike), obremenjenih kraških rekah (roza pike), neobremenjenih nekraških rekah (modre pike) in obremenjenih nekraških rekah (rdeče pike) bioregije Preddinarska hribovja in ravnine (stres = 0,19).....   | 62 |
| Slika 20. Delež metrik (%) združb ličink EPT s/brez statistično značilno (p) različnimi vrednostmi med kraškimi in nekraškimi rekami (Kras vs. Nekras), med obremenjenimi in neobremenjenimi rekami (R vs. NR), med obremenjenimi in neobremenjenimi kraškimi rekami (KrasR vs.Kras NR) in med obremenjenimi in neobremenjenimi nekraškimi rekami (NekrasR vs. NekrasNR) bioregije Preddinarska hribovja in ravnine. .... | 68 |
| Slika 21. Grafikoni kvantilov izbranih metrik združb ličink EPT iz skupine metrik številčnost (A) glede na tip in stopnjo obremenitve rek bioregije Preddinarska hribovja in ravnine (Kras – kraške reke, Nekras – nekraške reke, R – neobremenjene reke , NR – obremenjene reke).....  | 72 |
| Slika 22. Grafikoni kvantilov izbranih metrik združb ličink EPT iz skupine metrik pestrost (D) glede na tip in stopnjo obremenitve rek bioregije Preddinarska hribovja in ravnine (Kras – kraške reke, Nekras – nekraške reke, R – neobremenjene reke, NR – obremenjene reke). ....   | 73 |
| Slika 23. Grafikoni kvantilovizbranih metrik združb ličink EPT iz skupine metrik bogastvo (R) glede na tip in stopnjo obremenitve rek bioregije Preddinarska hribovja in ravnine (Kras – kraške reke, Nekras – nekraške reke, R – neobremenjene reke, NR – obremenjene reke). ....  | 74 |
| Slika 24.Grafikoni kvantilovizbranih metrik združb ličink EPT iz skupine metrik sestava (C) glede na tip in stopnjo obremenitve rek bioregije Preddinarska hribovja in ravnine (Kras – kraške reke, Nekras – nekraške reke, R – neobremenjene reke, NR – obremenjene reke). ....  | 75 |
| Slika 25. Grafikoni kvantilov izbranih funkcionalnih metrik združb ličink EPT iz skupine metrik preferenca do tipa vodnega toka (Fcp) glede na tip in stopnjo obremenitve rek bioregije Preddinarska hribovja in ravnine (Kras – kraške reke, Nekras – nekraške reke, R – neobremenjene reke, NR – obremenjene reke).....   | 76 |
| Slika 26. Grafikoni kvantilov izbranih funkcionalnih metrik združb ličink EPT iz skupine metrik preferenca do substrata (Fsp) glede na tip in stopnjo obremenitve rek bioregije Preddinarska hribovja in ravnine (Kras – kraške reke, Nekras – nekraške reke, R – neobremenjene reke, NR – obremenjene reke). ....  | 77 |
| Slika 27. Grafikoni kvantilov izbranih funkcionalnih metrik združb ličink EPT iz skupine metrik način prehranjevanja (Fft) glede na tip in stopnjo obremenitve rek bioregije Preddinarska hribovja in ravnine (Kras – kraške reke, Nekras – nekraške reke, R – neobremenjene reke, NR – obremenjene reke). ....   | 78 |
| Slika 28. Deleži pojasnjene variabilnosti združb ličink EPT z izbranimi spremenljivkami iz skupin spremenljivk tipologija (T), raba tal (L), kakovost vode (Q), značilnosti mikrohabitata (M) v rekah bioregije Preddinarska hribovja in ravnine (Pdhribavni),  |    |

|  |    |
|--|----|
| kraških rekah (Kras) in nekraških rekah (Nekras) bioregije Preddinarska hribovja in ravnine. $R^2$ – neprilagojena cenilka pojasnjene variabilnosti, $R^2_{adj}$ – prilagojena cenilka pojasnjene variabilnosti.....   | 92 |
| Slika 29. Odnos med deleži pojasnjene variabilnosti združb ličink EPT, izračunanimi z neprilagojeno ( $R^2$ ) in prilagojeno ( $R^2_{adj}$ ) cenilko ( $\diamond$ - reke bioregije Preddinarska hribovja in ravnine, + - kraške reke, □ - nekraške reke, skupine spremenljivk: T – tipologija, L – raba tal, Q – kakovost vode, M – značilnosti mikrohabitata). ....                                       | 92 |
| Slika 30. Porazdelitev variabilnosti združb ličink EPT med skupino spremenljivk tipologija (T) in skupino spremenljivk: raba tal (L), kakovost vode (Q) ali značilnosti mikrohabitata (M) v rekah bioregije Preddinarska hribovja in ravnine. Deleži pojasnjene variabilnosti so podani kot disjunktni deleži (T, L, Q, M) in presečni deleži (T&L, T&Q, T&M). ....  | 94 |
| Slika 31. Porazdelitev variabilnosti združb ličink EPT med skupino spremenljivk tipologija (T) in skupino spremenljivk: raba tal (L), kakovost vode (Q) ali značilnosti mikrohabitata (M) v a) kraških rekah in b) nekraških rekah bioregije Preddinarska hribovja in ravnine. Deleži pojasnjene variabilnosti so podani kot disjunktni deleži (T, L, Q, M) in presečni deleži (T&L, T&Q, T&M). ....       | 95 |
| Slika 32. Porazdelitev variabilnosti združb ličink EPT med skupine spremenljivk raba tal (L), kakovost vode (Q) in značilnosti mikrohabitata (M) v rekah bioregije Preddinarska hribovja in ravnine. Deleži pojasnjene variabilnosti so podani kot disjunktni deleži (L, Q, M) in presečni deleži dveh skupin spremenljivk (LM, LQ, MQ) in treh skupin spremenljivk (LQM). ....                            | 96 |
| Slika 33. Porazdelitev variabilnosti združb ličink EPT med skupine spremenljivk raba tal (L), kakovost vode (Q) in značilnosti mikrohabitata (M) v a) kraških in b) nekraških rekah bioregije Preddinarska hribovja in ravnine. Deleži pojasnjene variabilnosti so podani kot disjunktni deleži (L, Q, M) in presečni deleži dveh skupin spremenljivk (LM, LQ, MQ) in treh skupin spremenljivk (LQM). .... | 97 |

## KAZALO PRILOG

Priloge so v elektronski obliki.

Priloga A Seznam mest vzorčenja z datumi vzorčenj

Priloga B Seznam taksonov enodnevnic, vrbnic in mladoletnic (EPT)

Priloga C Spearmanovi korelacijski koeficienti ( $r_s$ ) med pari metrik v rekah bioregije Preddinarska hribovja in ravnine, ter posebej v kraških rekah in nekraških rekah bioregije Preddinarska hribovja in ravnine

Priloga D Spearmanovi korelacijski koeficienti ( $r_s$ ) med okoljskimi spremenljivkami v rekah bioregije Preddinarska hribovja in ravnine, ter posebej v kraških rekah in nekraških rekah bioregije Preddinarska hribovja in ravnine

Priloga E Rezultati izbiranja značilnih spremenljivk iz skupin okoljskih spremenljivk tipologija, raba tal, kakovost vode in značilnosti mikrohabitata v rekah bioregije Preddinarska hribovja in ravnine, ter posebej v kraških rekah in nekraških rekah bioregije Preddinarska hribovja in ravnine

PRILOGA F1 Pojasnjene variabilnosti združb ličink EPT v rekah bioregije Preddinarska hribovja in ravnine s skupinami spremenljivk raba tal, kakovost vode in značilnosti mikrohabitata

PRILOGA F2 Pojasnjene variabilnosti združb ličink EPT v kraških rekah bioregije Preddinarska hribovja in ravnine s skupinami spremenljivk raba tal, kakovost vode in značilnosti mikrohabitata

PRILOGA F3 Pojasnjene variabilnosti združb ličink EPT v nekraških rekah bioregije Preddinarska hribovja in ravnine s skupinami spremenljivk raba tal, kakovost vode in značilnosti mikrohabitata

## OKRAJŠAVE IN SIMBOLI

|                             |  |
|-----------------------------|--|
| BP <sub>K<sub>5</sub></sub> | biokemijska poraba kisika v petih dneh   |
| CCA                         | kanonična korespondenčna analiza (Canonical Correspondence Analysis)                                 |
| CPOM                        | veliki organski delci (Coarse Particulate Organic Matter)  |
| E                           | enodnevnice (Ephemeroptera)  |
| EPT                         | enodnevnice, vrbnice in mladoletnice (Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera)                        |
| FPOM                        | drobni organski delci (Fine Particulate Organic Matter)  |
| FS                          | metoda izbiranja spremenljivk z vključevanjem statistično značilnih spremenljivk (Forward Selection) |
| HM                          | hidromorfološki  |
| IndVal                      | analiza indikatorskih vrednosti (Indicator Value Analysis)   |
| Kras                        | kraške reke  |
| Nekras                      | nekraške reke  |
| NPP                         | neposredne prispevne površine tekočih voda   |
| NR                          | obremenjene reke   |
| Ntot                        | skupni dušik   |
| P                           | vrbnice (Plecoptera)   |
| pCCA                        | parcialna kanonična korespondenčna analiza (Partial Canonical Correspondence Analysis)               |
| Pdhribavni                  | bioregija Preddinarska hribovja in ravnine   |
| Ptot                        | skupni fosfor  |
| R                           | neobremenjene reke   |
| r <sub>s</sub>              | Spearmanov korelacijski koeficient (Spearman correlation coefficient)                                |
| SIG3                        | slovenska različica saprobnega indeksa   |
| SMEIH                       | Slovenski multimetrijski indeks hidromorfološke spremenjenosti/splošne degradiranosti tekočih voda   |
| SPP                         | skupne prispevne površine tekočih voda   |
| T                           | mladoletnice (Trichoptera)   |
| VR                          | velika reka  |

## SLOVARČEK

**ANTROPOGENI DEJAVNIK** – dejavnik, ki izvira iz aktivnosti človeka (npr. kmetijstvo, raba tal prispevnega območja), vpliva na razmere v površinskih vodah in s tem na značilnosti združb bentoških nevretenčarjev (npr. obremenjevanje z organskimi snovmi, obremenjevanje s hranili, spreminjanje hidromorfoloških značilnosti površinskih voda) (UL EU, 2000)

**BENTOŠKI NEVRETEŃCARJI** – skupina nevretenčarjev, ki živijo v usedlinah ali na njih v vodnih ekosistemih in pri vzorčenju s standardno ročno mrežo z odprtinami 0,5 x 0,5 mm ostanejo v mreži. V rabi je tudi izraz makroinvertebrati ali vodni nevretenčarji

**BIOLOŠKA METRIKA** - merljiv del ali proces biotskega sistema (npr. združbe organizmov), ki odraža strukturne, funkcionalne in druge značilnosti združbe organizmov in se spreminja vzdolž gradienta obremenitve

**BIOREGIJA POVRŠINSKIH VODA** – območje, določeno s podrobnejšo delitvijo ekoregij glede na razlike v prevladujoči geološki podlagi, nadmorskih višinah in naklonih terena rek (Urbanič, 2008b)

**DESKRIPTOR** – izbrani abiotski dejavnik oz. kombinacija izbranih abiotskih dejavnikov kot podlaga za opredelitev tipov površinskih voda (UL EU, 2000), npr. v Sloveniji za osnovno opredelitev tipov rek uporabljamo razdelitev Slovenije na (hidro)ekoregije, ki jih z uporabo dodatnih deskriptorjev dodatno delimo na bioregije in ekološke tipe rek

**EKOLOŠKA KAKOVOST POVRŠINSKIH VODA** – kakovost površinskih voda, ugotovljena na podlagi vodnih organizmov (biološki elementi kakovosti) z upoštevanjem fizikalnih, kemijskih in hidromorfoloških značilnosti (podporni elementi kakovosti) tekočih voda (UL RS, 2009)

**EKOLOŠKO STANJE** – odraz kakovosti zgradbe in delovanja vodnih ekosistemov, povezanih s površinskimi vodami. Površinske vode glede na odstopanje od referenčnih razmer razvrščamo v pet razredov ekološkega stanja: zelo dobro, dobro, zmerno, slabo in zelo slabo ekološko stanje (UL EU, 2000)

**EKOLOŠKI TIP REK** – glej *tipologija rek*

**EKOREGIJA POVRŠINSKIH VODA (HIDROEKOREGIJA)** – območje s tipičnimi ekološkimi značilnostmi, to je s klimatskimi razmerami, z značilnostmi tal, naravno vegetacijo, s hidrologijo in z drugimi ekološko relevantnimi spremenljivkami. Ekoregija je obvezni deskriptor za opredelitev tipov površinskih voda (UL EU, 2000). V Sloveniji so ekoregije celinskih voda določene na podlagi izbranih abiotskih dejavnikov. Ustreznost določitve ekoregij je preverjena z razporeditvijo bentoških nevretenčarjev

**HABITAT** – bivališče; prostor, v katerem osebki vrste živijo v ustreznih življenjskih razmerah. Ustrezne življenjske razmere so kombinacija dejavnikov, ki omogočajo preživetje in razmnoževanje vrst. Habitat določajo okoljski dejavniki, abiotski ali neživi in biotski ali živi. Habitat so lastnosti življenjskega okolja posameznih vrst

**INTERAKCIJA** – kombinirani vpliv ali kombinacija vpliva dveh ali več dejavnikov na združbe organizmov (npr. ličink EPT), ki jih analiziramo z metodo PERMANOVA (npr. kombinacija vplivov tipoloških dejavnikov in stopnje obremenitve rek) (npr. Anderson, 2001)

**KAKOVOST VODE** – fizikalne in kemijske spremenljivke, s katerimi opišemo razmere, v katerih živijo vodni organizmi

**KOROZIJA** – kemijsko raztopljanje kamnin; naznačilnejši geokemijski proces na krasu (Gams, 2004)

**KRAŠKA REKA** – reka, ki jo v bioregiji Preddinarska hribovja in ravnine opišemo s spremenljivkama vpliv kraškega izvira in/ali meandriranje

**KRAŠKI IZVIR** – mesto, kjer podzemni tok vodotokov na krasu pride na površje. Kraški izvir je običajno močno vodnat, z velikim in nepredvidljivim sprememanjem vodostaja zaradi podzemnih povezav vodnega toka in običajno kratkega zadrževalnega časa vode v podzemlju (npr. obrh, kropa, roje, močila, retje) (Gams, 2004; Ravbar, 2007)

**MAKROINVERTEBRATI** – glej *bentoški nevretenčarji*

**MATRIKA BIOTSKIH PODATKOV** – matrika s seznamom taksonov in zapisom abundance taksonov

**MATRIKA OKOLJSKIH PODATKOV** – matrika z okoljskimi spremenljivkami in njihovimi vrednostmi

**METRIKA** – glej *biološka metrika*

**MIKROHABITAT** – v ekologiji celinskih voda najnižja hierarhična raven vodotoka (Frissel in sod, 1986). V ekologiji celinskih voda mikrohabitat opišemo s kombinacijo substrata in tipa vodnega toka, kar izhaja iz metodologije vrednotenja ekološkega stanja rek z bentoškimi nevretenčarji (Urbanič in sod., 2005; UL RS, 2009)

**OBREMENITEV TEKOČIH VODA** – glej *antropogeni dejavnik*

**ORGANSKA OBREMENJENOST** – obremenjenost rek z lahko razgradljivimi organskimi snovmi

**PERIFITON** – združba obrasti, ki jo sestavljajo avtotrofni in heterotrofni organizmi (mikoalge, cianobakterije, glive, protozoji in nekateri mnogoceličarji), ki so stalno ali občasno pritrjeni na podlago

**POVRŠINSKA VODA** – celinske vode (reke, jezera, habitati s somornico) in morje, razen podzemne vode

**PRISPEVNA POVRŠINA** – topografsko omejeno območje, s katerega se steka padavinska voda v strugo vodotoka

**REFERENČNE RAZMERE** – stanje vodnega telesa brez vpliva oziroma z minimalnim vplivom človeka

**STRESOR** – glej *antropogeni dejavnik*

**TEKOČA VODA** – vodotok, ki je stalno ali občasno povezan s površinskim vodnim tokom od izvira do izliva

**TIPOLOGIJA REK** – uvrstitev (kategorizacija) rek v *ekološke tipe* na podlagi njihovih naravnih abiotiskih in biotskih značilnosti, ki jih opredelimo s kombinacijo biogeografskih spremenljivk, longitudinalne conacije vodotokov in drugih spremenljivk okoljskih dejavnikov (UL EU, 2000)

**VELIKA REKA** – reka z velikostjo prispevnega območja  $>2500 \text{ km}^2$  in/ali s srednjim letnim pretokom ( $sQ_s$ )  $>50 \text{ m}^3/\text{s}$

**VODNI NEVRELENČARJI** – glej *bentoški nevretenčarji*

**VODNO TELO POVRŠINSKIH VODA** – pomembno vodno telo površinske vode ali njegov sestavni del, npr. jezero, vodni zbiralnik, potok, reka ali kanal, odsek potoka, reke ali kanala, somornica ali del obalnega morja; predstavlja osnovno enoto za upravljanje voda, kjer je potrebno spremljati kakovost in ocenjevati stanje površinskih voda

**VODOTOK** – skupen izraz za reke in potoke; vodotoki so določeni z naravnimi značilnostmi in antropogenimi dejavniki

**ZDRAŽBA ORGANIZMOV** – populacije organizmov, ki sobivajo v prostoru in času (npr. združba bentoških nevretenčarjev). Razporeditev organizmov v združbi je odvisna od odnosov med organizmi (biotskih interakcij) in okoljskih dejavnikov



## 1 UVOD

Človek s svojim delovanjem spreminja procese v prispevnih območjih tekočih voda in neposredno v tekočih vodah. Zaradi sprememb, ki jih človek povzroča s svojim delovanjem, so tekoče vode najbolj spremenjeni ekosistemi na svetu (Giller in Malmqvist, 1998). Pestrost zgradbe in delovanja ekosistemov tekočih voda se zmanjšuje mnogo hitreje kot pri kopenskih ekosistemih zaradi odvisnosti ljudi od vode in njene nesmotrne rabe (Urbanič, 2008c). Kakovost zgradbe in delovanja vodnih ekosistemov odraža ekološko stanje vodnih ekosistemov. V Vodni direktivi (UL EU, 2000) je poudarek na vrednotenju ekološkega stanja tekočih voda na podlagi vodnih organizmov (Urbanič, 2011). Bentoški nevretenčarji so skupina vodnih organizmov in element kakovosti za vrednotenje ekološkega stanja po Vodni direktivi.

Ličinke enodnevnic, vrbnic in mladoletnic (EPT) so zelo pomembni bentoški nevretenčarji za zgradbo in delovanje ekosistemov tekočih voda (Soldán in sod., 1998; Dohet in sod, 2008; Abdo in sod., 2013). Največ vrst ličink EPT živi v neobremenjenih vodotokih, osebki nekaterih vrst ličink EPT pa so prisotni tudi v obremenjenih vodotokih (Soldán in sod., 1998; Urbanič in Toman, 2007). Zaradi splošne razširjenosti, velike vrstne pestrosti in razlik v občutljivosti na antropogene dejavnike so ličinke EPT dobri pokazatelji oz. bioindikatorji ekološkega stanja tekočih voda (Helešic, 2001; Buss in sod., 2002; Bonada in sod., 2004; Hodkinson in Jackson, 2005). Doseganje dobrega ekološkega stanja tekočih voda je primarni cilj Vodne direktive. Ustrezno ovrednoteno ekološko stanje tekočih voda je izhodišče za pripravo načrtov upravljanja tekočih voda za doseganje ciljev Vodne direktive in trajnostno rabo ekosistemov tekočih voda.

## 2 OPREDELITEV PROBLEMA

Razvrstitev vodotokov po podobnosti v naravnih značilnostih (tipologija) je prvi korak v implementaciji Vodne direktive (UL EU, 2000). Glede na podobnost v naravnih značilnostih so reke v Sloveniji razvrščene v ekološke tipe rek (Urbanič, 2011). Pogost problem v raziskavah združb bentoških nevretenčarjev v rekah različnih ekoloških tipov je majhno število podatkov o združbah bentoških nevretenčarjev posameznih tipov rek (Hering in sod., 2004; Lorenz in sod., 2004a). Zaradi omejenega števila podatkov o združbah bentoških nevretenčarjev različnih tipov rek je največ raziskav združb bentoških nevretenčarjev narejenih na velikih območjih raziskovanja, kot so ekoregije (Sandin, 2003; Sandin in Johnson, 2004; Urbanič in Toman, 2007; Pavlin in sod., 2011).

Raziskovalci so ugotovili, da so združbe bentoških nevretenčarjev v rekah določene z naravnimi in antropogenimi dejavniki (Hering in sod., 2004; Urbanič in Toman, 2007; Pavlin in sod., 2011). Kateri od navedenih skupin dejavnikov najbolj določajo združbe bentoških nevretenčarjev v posameznih ekoloških tipih rek, niso ugotavljeni. Združbe bentoških nevretenčarjev opišemo s strukturnimi in funkcionalnimi značilnostmi (Hering in sod., 2006). Strukturne in funkcionalne značilnosti združb bentoških nevretenčarjev so različno povezane z naravnimi in antropogenimi dejavniki v rekah (Hering in sod., 2004; Heino, 2005; Petkovska in Urbanič, 2010). Tipi rek se razlikujejo v združbah bentoških nevretenčarjev in vplivih antropogenih dejavnikov, zato strukturne in funkcionalne značilnosti združb bentoških nevretenčarjev različno odražajo vplive antropogenih dejavnikov v različnih tipih rek (Hering in sod., 2004).

Poznavanje ekoloških značilnosti združb bentoških nevretenčarjev ter njihovih odzivov na okoljske dejavnike v tekočih vodah je osnova za razvoj ustreznih sistemov vrednotenja ekološkega stanja tekočih voda in pripravo načrtov upravljanja tekočih voda (Hawkins in sod., 2000). V Vodni direktivi so bentoški nevretenčarji uradni biološki element kakovosti za vrednotenje ekološkega stanja tekočih voda (UL EU, 2000). Ličinke enodnevnic, vrbnic in mladoletnic so pomembni organizmi v združbah bentoških nevretenčarjev in dobri bioindikatorji razmer v vodnem okolju (Helešic, 2001; Buss in sod., 2002; Bonada in sod., 2004; Hodkinson in Jackson, 2005). Odzivajo se na številne antropogene dejavnike v tekočih vodah, kot so spreminjanje hidromorfoloških značilnosti tekočih voda, obremenjevanje tekočih voda z organskimi snovmi, s hranili in pesticidi (Brabec in sod.

2004; Von Der Ohe in Liess, 2004; Tavzes in sod., 2006; Petrin in sod., 2013). V raziskavah vplivov okoljskih dejavnikov na združbe bentoških nevretenčarjev so združbe ličink EPT redko obravnavane ločeno od združb bentoških nevretenčarjev (Bonada in sod., 2004; Urbanič in Toman, 2007; Galbraith in sod., 2008; Hrovat in sod., 2009).

Raziskovalci so prisotnost ličink enodnevnic, vrbnic in mladoletnic v rekah različnih tipov dobro pojasnili z različimi spremenljivkami naravnih in antropogenih dejavnikov (npr. Urbanič in Toman, 2007; Galbraith in sod., 2008; Pastuchová in sod., 2008). Urbanič in Toman (2007) sta z istimi spremenljivkami okoljskih dejavnikov v rekah različnih tipov pojasnila različne deleže variabilnosti združb mladoletnic. Raziskave vplivov dejavnikov posameznih skupin spremenljivk na združbe bentoških nevretenčarjev so redke. Nekateri raziskovalci so ugotavliali vplive posameznih skupin spremenljivk, s katerimi so opisali vplive spremenljivk različnih prostorskih ravni vodotokov (Sandin in Johnson, 2004; Johnson in sod., 2007) ali različnih antropogenih dejavnikov na združbe bentoških nevretenčarjev (Pavlin, 2012). Vplivov dejavnikov posameznih skupin spremenljivk rabe tal, kakovosti vode in značilnosti mikrohabitata ter hkratnega delovanja dejavnikov navedenih skupin spremenljivk na bentoške nevretenčarje v rekah različnih tipov raziskovalci še niso ugotavliali.

### 3 PREGLED OBJAV

#### 3.1 EKOSISTEMI TEKOČIH VODA

Tekoče vode so potoki in reke, določene z naravnimi značilnostmi in antropogenimi dejavniki (Giller in Malmqvist, 1998; Malmqvist, 2002). V ekologiji obravnavamo tekoče vode kot ekosisteme, v katerih potekajo fizikalni in kemijski procesi ter živijo kompleksne združbe organizmov (Malmqvist, 2002).

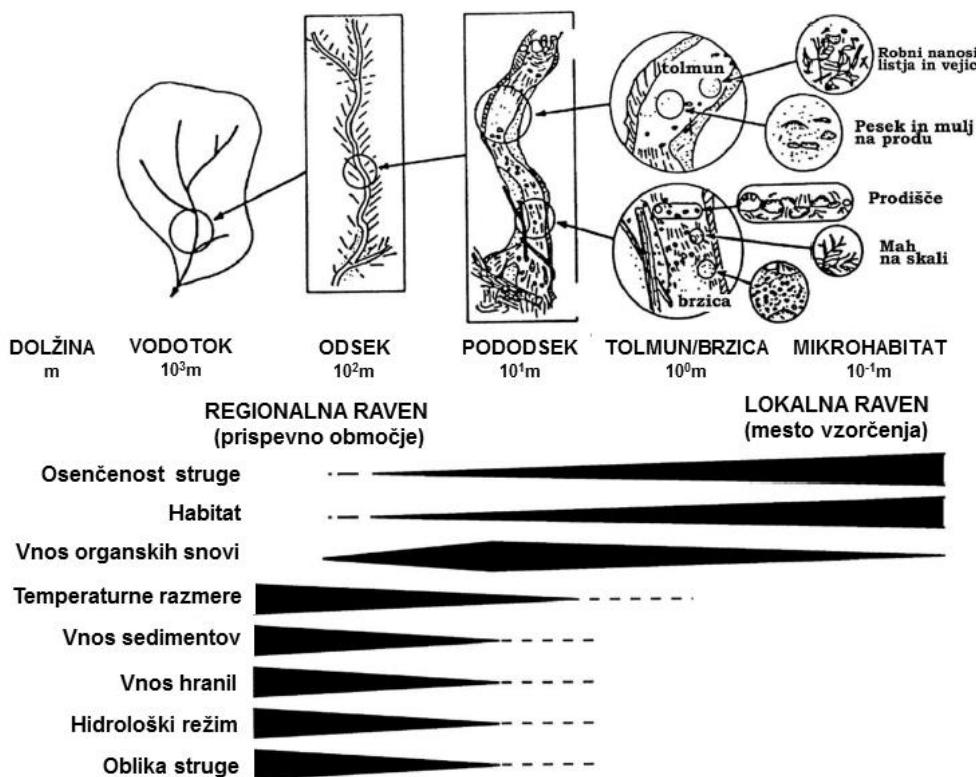
##### 3.1.1 Prostorsko in časovno spreminjanje razmer v tekočih vodah

Tekoče vode so dinamični ekosistemi z visoko stopnjo spreminjanja razmer v longitudinalni, vertikalni, lateralni in časovni dimenziji (Ward, 1989; Giller in Malmqvist, 1998). Vodni tok je enosmeren od izvira k izlivu, zato v longitudinalni smeri razmere v gorvodnih odsekih tekočih voda vplivajo na razmere v dolvodnih (Vannote in sod., 1980). S posegi v tekoče vode spremenimo naravne razmere in povezave med odseki tekočih voda. Z zajezitvami spremenimo hidromorfološke značilnosti rek in vplivamo na razmere dolvodno in gorvodno od zajezitve (Ward, 1998; Lowe in sod., 2006). Poleg povezav med gorvodnimi in dolvodnimi odseki na razmere v tekočih vodah vplivajo podtalnica, pritoki, stranski rokavi, jezera in poplavne ravnice (Ward in Stanford, 1995; Giller in Malmqvist, 1998). Podtalnica vpliva na vertikalne spremembe razmer v strugi tekočih voda skozi intersticielne prostore hiporeične cone. Od izmenjave hrani (dušikovih in fosformih spojin) med vodo v strugi in vodo v podtalnici skozi hiporeično cono je odvisna stopnja bioprodukcije tekočih voda (Ward, 1989). Med rečno strugo in podzemno vodo skozi intersticij prehajajo tudi nekateri organizmi (Ward, 1998). Prehajanje snovi in organizmov skozi intersticij je odvisno od poroznosti kamnine, velikosti delcev, kisikovih razmer, razporeditve virov hrane in izmenjave vode med rečno strugo in podtalnico (Giller in Malmqvist, 1998; Ward, 1998). V lateralni smeri med rečno strugo in prispevnim območjem poteka izmenjava vode, usedlin, hrani, organskih snovi in organizmov (Ward in Stanford, 1995; Allan in Castillo, 2007). Prispevno območje tekočih voda (angl. *catchment*) je topografsko omejeno območje kopnega, s katerega se steka padavinska voda v strugo tekoče vode (Allan in Castillo, 2007). Obrežna vegetacija je del prispevnega območja tekočih voda in vpliva na morfologijo struge, temperaturo vode, svetlobne razmere, heterogenost habitatov ter kakovost, količino in časovno razporeditev alohtonih

snovi v tekočih vodah (Ward, 1989; Ward in Stanford, 1995). Razmere v tekočih vodah se nenehno spreminja v različno dolgih obdobjih. Na hitrost in obseg sprememb vplivamo ljudje s svojimi aktivnostmi (Giller in Malmqvist, 1998).

### **3.1.2 Hierarhična zgradba tekočih voda**

V raziskavah ekologije združb organizmov tekočih voda upoštevamo hierarhično zgradbo tekočih voda zaradi razlik v okoljskih dejavnikih, ki vplivajo na združbe organizmov na določeni prostorski ravni (Giller in Malmqvist, 1998; Boyero, 2003; Johnson in sod., 2007). Frissell in sodelavci (1986) so navedli pet prostorskih ravni tekočih voda in sicer vodotok, odsek, pododsek, tolmun/brzica in mikrohabitat (Slika 1). Razmere v tekočih vodah so odvisne od procesov v celotnem prispevnem območju tekočih voda: a) klime v povezavi s količino in razporeditvijo padavin, b) geomorfologije tal, topografije in vegetacije, c) podtalnice in pritokov tekočih voda, ter d) antropogenih dejavnikov, kot so kmetijstvo, gozdarstvo, urbanizacija in drugi načini rabe tal prispevnega območja (Frissel in sod., 1986; Giller in Malmqvist, 1998; Urbanič in Toman, 2003). Tekoča voda s celotnim prispevnim območjem je najvišja hierarhična raven in vključuje značilnosti ostalih hierarhičnih ravni tekoče vode (Allan in sod., 1997) (Slika 1). Najmanjša prostorska enota je mikrohabitat, ki ga opišemo s hidromorfološkimi dejavniki, npr. s tipi anorganskega in organskega substrata, globino vode in tipi vodnega toka (Urbanič in sod., 2005). Dejavniki (npr. klima, geologija, topografija, vegetacija), ki pomembno vplivajo na razporeditev organizmov na regionalni ravni, vplivajo na razmere in na združbe tudi na lokalni ravni tekočih voda (Frissel in sod., 1986; Allan in sod., 1997; Giller in Malmqvist, 1998). Geologija in vegetacija prispevnega območja sta regionalna dejavnika, ki vplivata na spiranje s površja tal ter posredno določata tip substrata, tip vodnega toka, količino in vrsto hrani na mestu vzorčenja (Allan in sod., 1997). Nekateri dejavniki (npr. vnos organskih snovi) so primarno lokalni dejavniki in so malo ali niso odvisni od regionalnih dejavnikov (Allan in sod., 1997; Allan in Johnson, 1997) (Slika 1). Dejavniki (npr. velikost in tip substrata, kemizem vode, hitrost vodnega toka), ki vplivajo na združbe organizmov na lokalni ravni (npr. v mikrohabitatih) običajno ne vplivajo na razporeditev organizmov na višji hierarhični ravni tekočih voda (Giller in Malmqvist, 1998, Sandin in Johnson, 2004; Allan in Castillo, 2007).



Slika 1. Hierarhična zgradba in vplivi dejavnikov glede na prostorske ravni v ekosistemih tekočih voda. Vsaka prostorska raven ima značilno velikost površine in hitrost spremenjanja dejavnikov v času ali obstojnost (Frissell in sod., 1986; Allan in sod., 1997).

Figure 1. Hierarchical organization and environmental influences across spatial scales in river ecosystem. Each scale have characteristic spatial and temporal dimension (Frissell et al., 1986; Allan et al., 1997).

Vplive okoljskih dejavnikov na razporeditev organizmov ugotavljam na različnih prostorskih ravneh tekočih voda. Izsledki o pomenu okoljskih spremenljivk za združbe organizmov se razlikujejo glede na prostorske ravni raziskovanja in nabora podatkov o okoljskih spremenljivkah, vključenih v analize (Allan in Johnson, 1997). Mnogi raziskovalci so ugotovili, da je razporeditev bentoških nevretenčarjev odvisna od regionalnih in lokalnih dejavnikov hkrati (Allan in Johnson, 1997; Allan in sod., 1997; Sandin, 2003; Sandin in Johnson, 2004). Na ravni pododseka lahko ovrednotimo sočasen vpliv regionalnih in lokalnih dejavnikov na združbe bentoških nevretenčarjev (Allan in sod., 1997; Malmqvist, 2002). Raven pododseka je najprimernejša za ugotavljanje vplivov delovanja človeka na razmere v tekočih vodah, saj lahko na ravni pododseka ovrednotimo poleg kratkotrajnih tudi dolgotrajne vplive človekovih aktivnosti (Frissell in sod., 1986).

Prepoznavanje regionalnih in lokalnih dejavnikov v tekočih vodah omogoča celovito razumevanje procesov, ki oblikujejo združbe bentoških nevretenčarjev na lokalni ravni tekočih voda (Heino in sod., 2003). Raziskav o povezavah med združbami enodnevnic, vrbnic in mladoletnic in okoljskimi dejavniki, kjer so raziskovalci upoštevali lokalne in regionalne dejavnike hkrati, je malo. Nekateri raziskovalci (npr. Boyero, 2003; Galbraith in sod., 2008) so ugotovili, da so za razporeditev enodnevnic, vrbnic ali mladoletnic lokalni dejavniki pomembnejši ali enako pomembni kot regionalni. Na podlagi ugotovitev povezav regionalnih in lokalnih spremenljivk s sestavo združb organizmov lahko napovemo, na kateri hierarhični ravni bodo ukrepi za izboljšanje ekološke kakovosti vodotokov uspešni (Palmer in sod., 2009). Upravljanje z vodotoki je močno povezano z obnovo, vzdrževanjem in varovanjem obrežne vegetacije in vegetacije celotnega prispevnega območja vodotokov (Maloney in Feminella, 2006). Raziskovalca Maloney in Feminella (2006) sta ugotovila, da spiranje delcev v vodotoke zaradi rabe tal prispevnega območja najbolj vpliva na združbe bentoških nevretenčarjev, zato sta predlagala, da se remediacijo usmeri na zmanjšanje erozije s ponovno zasaditvijo dreves v prispevnem območju vodotokov. Strategije remediacije vodotokov z namenom povečanja vrstne pestrosti so bile največkrat izvedene na lokalni ravni, brez upoštevanja prispevnega območja, zato so bile večinoma neuspešne (Palmer in sod., 2009).

### **3.1.3 Raznolikost naravnih značilnosti tekočih voda**

Tekoče vode se razlikujejo v značilnostih, ki so odraz klimatskih, geomorfoloških, topografskih in vegetacijskih značilnosti prispevnega območja (Giller in Malmqvist, 1998). Glede na naravne značilnosti rek se združbe organizmov v Evropi dobro razlikujejo (Verdonschot in Nijboer, 2004). V razmerah brez vpliva delovanja človeka imajo tipi rek z velikostjo prispevne površine pod  $100 \text{ km}^2$  drugačno sestavo združb bentoških nevretenčarjev kot reke s prispevno površino, večjo od  $100 \text{ km}^2$  (Lorenz in sod., 2004a). Običajno se velikost struge povečuje od izvira k izlivu (Giller in Malmqvist, 1998). Od izvira k izlivu tekočih voda se spreminja tudi značilnosti prispevnih površin. Zaradi razlik v naravnih značilnostih tekočih voda se združbe organizmov razlikujejo longitudinalno med odseki tekočih voda (Vannote in sod., 1980). Nekateri raziskovalci (npr. Hieber in sod., 2005) so ugotovili, da se združbe enodnevnic, vrbnic in mladoletnic (EPT) razlikujejo med nekaterimi tipi tekočih voda. Hieber in sodelavci (2005) so

ugotovili razlike v združbah EPT med tipi alpskih vodotokov, ki se razlikujejo zaradi vplivov izvirov ter iztokov iz jezer.

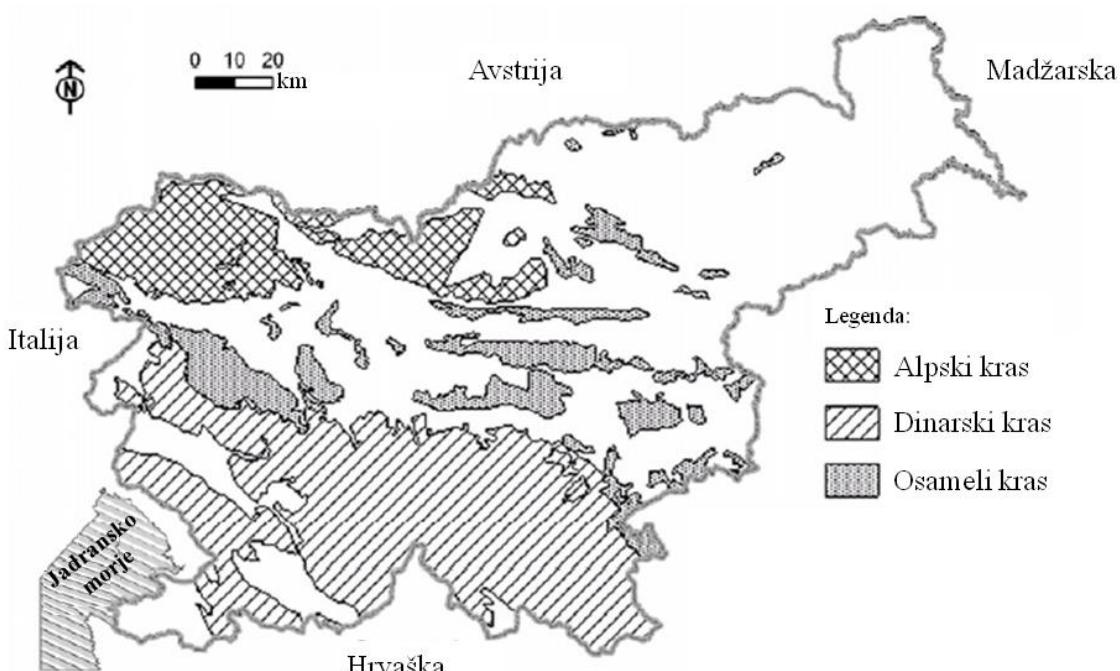
Klima, geologija, topografija in vegetacija prispevnega območja določajo hidrologijo, obliko struge, velikost in tip substrata ter kemijske značilnosti tekočih voda (Lorenz in sod., 2004a; Allan in Castillo, 2007). Gradienti hidroloških in geomorfoloških razmer, po katerih razlikujemo tipe tekočih voda, določajo hidrološke in hidravlične značilnosti (povezave med površinskim tokom in podtalnico, poplavljajanje, sila tekoče vode) ter geomorfološki procesi (meandriranje, erozija bregov, tvorba poplavnih ravnin) (Petts, 2000). V Srednji Evropi razlikujemo alpske, gorske in nižinske tipe tekočih voda po nadmorski višini, obliki struge, tipu substrata, hidrološkem režimu in drugih dejavnikih, ki vplivajo na združbe vodnih organizmov (Lorenz in sod., 2004a). Razmere v tekočih vodah se razlikujejo tudi glede na to, ali je prispevno območje poraslo ali neporaslo z gozdom. Drevesa s senčenjem zmanjšujejo avtotrofno produkcijo v tekočih vodah, listje pa je glavni alohtoni vir hrane za vodne organizme. V združbi bentoških nevretenčarjev senčenih vodotokov prevladujejo organizmi, ki drobijo ali zbirajo organske delce. V združbi osončenih vodotokov prevladujejo organizmi, ki precejajo organsko snov iz vode ali strgajo alge s podlage, saj se v osončenih vodotokih pogosto razvije perifiton (Vannote in sod., 1980; Giller in Malmqvist, 1998; Allan in Castillo, 2007).

Geomorfološke značilnosti in vegetacija vplivajo na površinski odtok padavinske vode s prispevnega območja in na količino padavin, ki pade neposredno v tekoče vode. Poleg količine padavinske vode vpliva na razmere v tekočih vodah količina podtalne vode, ki napaja vodotok. Od razmerja med količinama podtalne in padavinske vode, ki napajata vodotok, je odvisno spreminjanje vodostaja tekočih voda (Jackson in sod., 2001). Za tekoče vode, ki jih napaja predvsem površinski dotok vode, je značilen hiter dvig vodostaja takoj po padavinah. V tekočih vodah, ki jih napaja podzemna voda, se vodostaj ne spremeni takoj, ampak šele postopoma po padavinah (Allan in Castillo, 2007). Zaradi razlik v kamninski sestavi, reliefu in vegetaciji prispevnega območja so med tipi tekočih voda učinki padavinskih razmer nanje močnejši in hitrejši na strmem in neprepustnem površju, kot na položnem in prepustnem površju, vegetacija prispevnega območja pa z zadrževanjem vode blaži hitrost spreminjanja vodostaja tekočih voda (Urbanič, 2004). Največkrat imajo tekoče vode na neprepustnem površju hudourniški značaj in hitro

narastejo, vendar so največji pretoki kratkotrajni in hitro upadejo (Perko in Orožen-Adamič, 1998).

### 3.1.3.1 Naravne značilnosti tekočih voda na Dinarskem krasu

Dinarski kras je največji morfološki tip pokrajine Dinarskega gorovja (Dinarič) in tvori približno 60 000 km<sup>2</sup> neprekinjene kraške pokrajine v Evropi (Mihevc in sod., 2010). V Sloveniji dinarski kras predstavlja največji del (približno 2/3) celotnega kraškega ozemlja Slovenije (Gams, 2004; Ravbar, 2007) (Slika 2).



Slika 2. Razporeditev tipov krasa v Sloveniji (Ravbar, 2007).

Figure 2. Distribution of different karst types in Slovenia (Ravbar, 2007).

Od kamninske sestave dinarskega krasa v Sloveniji prevladujejo mezozojski in terciarni apnenci in dolomiti (Gams, 2004; Mihevc in sod., 2010). Vodoprepustni apnenci dinarskega krasa imajo manj kot 1 % primesi, zato imajo reke Dinarskega krasa (kraške reke) večinoma podzemni vodni tok (Mihevc in sod., 2010). Površinski tok kraških rek je prisoten na vodoneprepustnih kamninah in ponekod na dolomitih, kjer je hitro preperevanje snovi v podzemlju, majhna vodoprepustnost ali počasna vodotopnost dolomitov (Mihevc in sod., 2010). Velika vodoprepustnost apnenca vpliva na spiranje snovi neposredno v podtalnico (Vesper in sod., 2003; Gams, 2004). Z vodoprepustnostjo

apnenca je povezana onesnaženost kraških voda iz razpršenih virov onesnaževanja (npr. z gnojenjem kmetijskih površin), ki se odrazi tudi v kraških izvirih (Peterson in sod., 2002; Vesper in sod., 2003). Za ugotavljanje virov onesnaževanja kraških rek je potrebno poznati povezave podzemnega toka kraških rek (Ravbar, 2007).

Na dinarskem krasu so tekoče vode zaradi obsežnega zaledja običajno precej vodnate že v kraških izvirih in ob obilnih nalivih pogosto poplavljajo. Kraške reke so povezane s podzemnimi tokovi, zato lahko večkrat pridejo na površje ali poniknejo (Mihevc in sod., 2010). Za mnoge kraške reke je značilno močno in hitro spreminjaњe vodostaja zaradi podzemnih povezav vodnega toka in kratkega zadrževalnega časa vode v podzemlju (Gams, 2004). Zadrževanje vode v podzemlju krasa vpliva na hidrološki režim površinskih voda na krasu manj od klime. Zaradi močnih poletnih nalivov se lahko vodostaj zelo dvigne, spomladi pa k dvigu vodostaja najbolj prispeva staljeni sneg (Gams, 2004). Značilnosti kraških rek sta še velika trdota vode in vpliv podtalne vode na spreminjaњje temperature vode v površinski vodi (Gams, 2004; Mori in Brancelj, 2006).

V primerjavi z ostalimi tipi izvirov je kraški izvir mesto, kjer podzemni tok kraške reke pride na površje (Urbanič, 2004; Ravbar, 2007). V kraških izvirih na količino organske snovi močno vpliva podzemna voda z vnosom majhnih (*fine particulate organic matter*; FPOM) in raztopljenih (*dissolved organic matter*, DOM) organskih delcev, medtem ko je v drugih tipih izvirov običajno edini vir organske snovi alohton (veliki organski delci ali CPOM; *coarse particulate organic matter*) (Simon in Benfield, 2001). Podzemna voda vpliva na vsebnost hranil v kraških izvirih z vnosom hranil, ki so v podzemni vodi lahko prisotni zaradi kmetijske rabe tal (Peterson in sod., 2002; Vesper in sod., 2003). Stopnja variabilnosti fizikalnih in kemijskih spremenljivk v kraških izvirih je odvisna od globine, velikosti in stalnosti toka podzemne vode, ki napaja kraški izvir (Plut, 1988). Vpliv podzemne vode na razmere v površinskih vodah na dinarskem krasu je odvisen tudi od oddaljenosti od kraškega izvira (Hrovat in sod., 2009).

### 3.1.3.2 Ekološki tipi rek

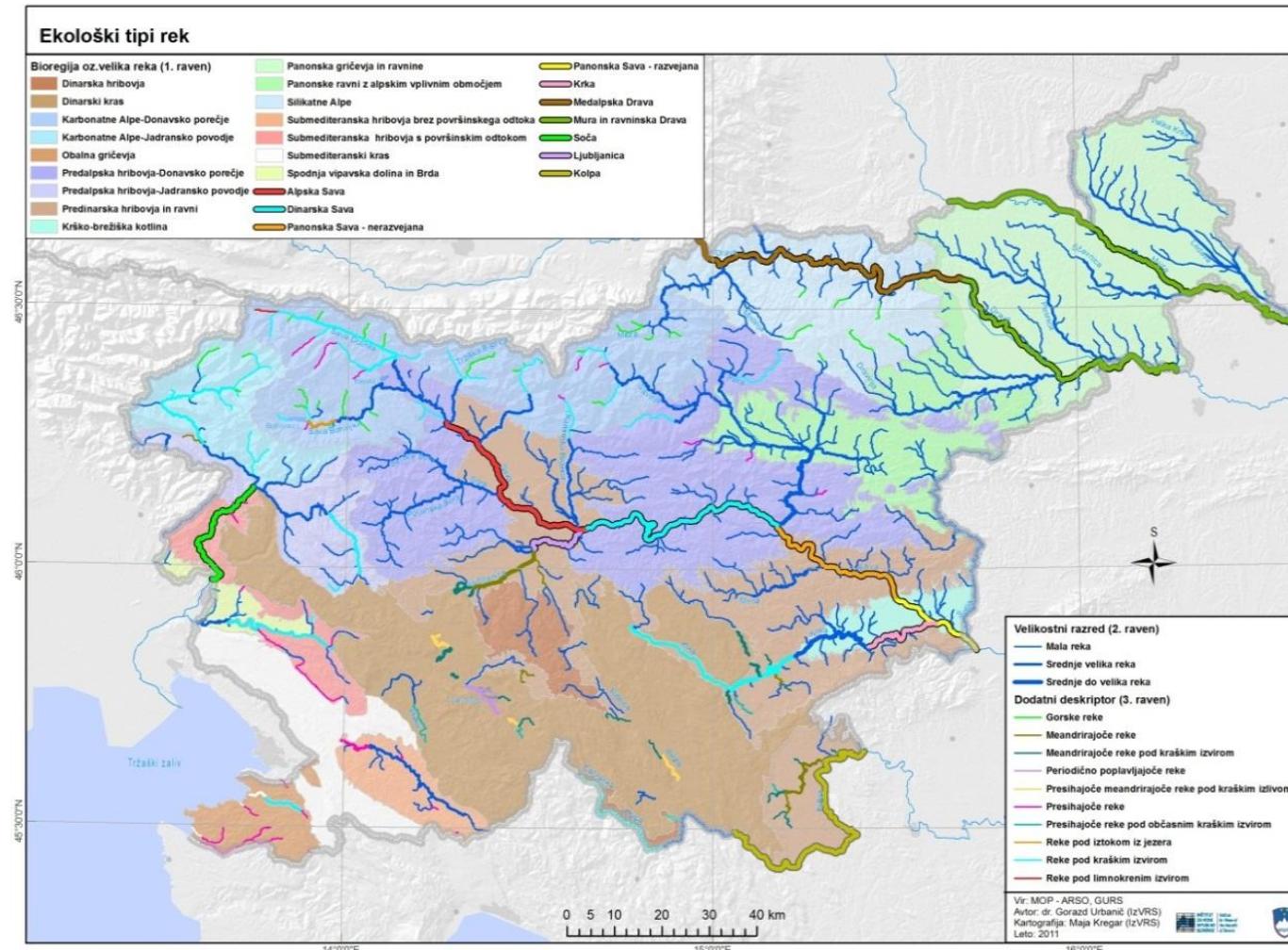
Na podlagi ekološke tipologije so reke razvrščene glede na podobnost v naravnih abiotiskih značilnostih in združbah organizmov v ekološke tipe rek (Lorenz in sod., 2004a). Skupino naravnih abiotiskih dejavnikov, ki jih uporabljam za razporeditev rek v ekološke tipe imenujemo tipološki dejavniki (angl. *typology factors*) (npr. Pavlin in sod., 2011). Ekološki

tipi rek so opredeljeni s kombinacijo biogeografskih spremenljivk, z longitudinalno zonacijo rek in drugih okoljskih spremenljivk, s katerimi pojasnimo velik del razporeditve bentoških nevretenčarjev v naravnih razmerah (Lorenz in sod., 2004a; Urbanič, 2011). Smernice za opredelitev tipov rek na podlagi naravnih značilnosti so podane v vodni direktivi (UL EU, 2000). Tipi rek so opredeljeni po sistemu A ali sistemu B vodne direktive. Po sistemu A so tipi določeni z obveznimi deskriptorji (nadmorska višina, velikost prispevnega območja in geološka podlaga). Po sistemu B so tipi opredeljeni z obveznimi deskriptorji sistema A in izbirnimi deskriptorji, ki so potrebni za ustrezeno določitev za tip značilnih razmer v območju posamezne države članice Evropske skupnosti. V vodni direktivi je kot izhodiščni deskriptor v sistemu A in B podana »a priori« razdelitev Evrope na ekoregije po Illiesu (1978). Za Slovenijo je zaradi geografske razgibanosti sistem A premalo natančen, zato je opredelitev tipov rek narejena po sistemu B (Urbanič, 2011). Urbanič (2008a) je na podlagi abiotiskih značilnosti, razporeditve vodnih organizmov in zgodovinskih bioloških podatkov pripravil razdelitev Slovenije na štiri ekoregije: Alpe, Dinaridi, Panonska in Padska nižina. Ecoregije je Urbanič (2008b) dodatno členil na 16 bioregij glede na razlike v prevladujoči geološki podlagi, nadmorskih višinah in naklonih terena rek. V Sloveniji je 74 ekoloških tipov rek (Slika 3), določenih z uporabo bioregij oz. velikih rek in dodatnih naravnih deskriptorjev, ki so bili v literaturi prepoznani kot pomembni za združbe vodnih organizmov v Sloveniji (Preglednica 1).

Preglednica 1. Spremenljivke tipologije za opis ekoloških tipov rek v Sloveniji (Urbanič, 2011); \*sQs-srednji letni pretok.

Table 1. Tipology variables used for ecological river types classification in Slovenia (Urbanič, 2011); \*sQs – mean year discharge.

| Spremenljivka tipologije (deskriptor)             | Kategorija   | Koda         |
|---|--|--------------|
| Velikost prispevne površine (VPP)                 | 10-100 km <sup>2</sup> (mala reka)   | 1            |
|   | 100-1000 km <sup>2</sup> (srednje velika reka)                                       | 2            |
|   | 1000-2500 km <sup>2</sup> in sQs* < 50 m <sup>3</sup> /s<br>(srednje do velika reka) | 3            |
|   | > 2500 km <sup>2</sup> ali sQs* > 50 m <sup>3</sup> /s (velika reka)                 | VR           |
| Vpliv kraškega izvira                             |  | KI           |
| Vpliv limnokrenega izvira                         |  | LI           |
| Vpliv iztoka iz jezera                            |  | IiJ          |
| Meandriranje                                      |  | Mean         |
| Presihanje  |  | Pres         |
| Periodično poplavljanje                           |  | PerPop       |
| Nadmorska višina                                  | nad 700 m  | >700         |
| Vpliv občasnega kraškega izvira                   |  | OKI          |
| Vpliv kraškega izvira in meandriranje             |  | KI_mean      |
| Vpliv kraškega izvira, presihanje in meandriranje |  | KI_pres_mean |
| Vpliv občasnega kraškega izvira in presihanje     |  | OKI_pres     |



Slika 3. Bioregije in ekološki tipi rek v Sloveniji (Urbanič, 2011).

Figure 3. Bioregions and the ecological river types in Slovenia (Urbanič, 2011).

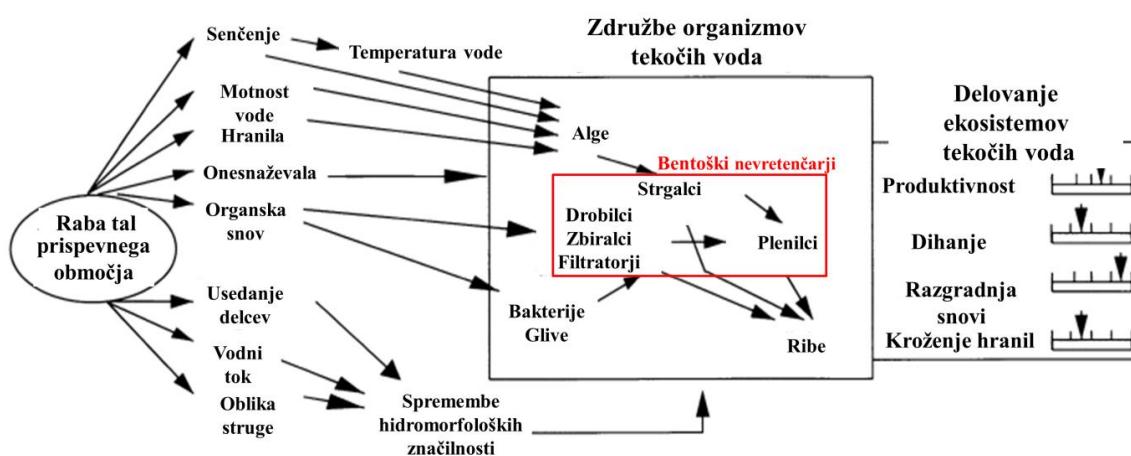
### **3.1.4 Vpliv antropogenih dejavnikov na razmere v tekočih vodah**

Človek s svojim delovanjem spreminja procese v prispevnem območju tekočih voda in neposredno v tekočih vodah. Antropogeni dejavniki ali obremenitve tekočih voda so tisti dejavniki, ki izvirajo iz človekove aktivnosti in spremenijo abiotiske in biotske razmere bodisi na regionalni ali lokalni ravni tekočih voda (Malmqvist, 2002; Pavlin in sod., 2011; Pavlin, 2012). Glede na to, kako se vpliv obremenitev na organizme odrazi, lahko razlikujemo tiste obremenitve, ki vplivajo na habitat organizmov, in tiste, ki vplivajo na kakovost vode (Giller in Malmqvist, 1998).

Antropogeni dejavniki, ki vplivajo na razmere v tekočih vodah so: a) raba tal prispevnega območja; b) spreminjanje hidromorfoloških značilnosti zaradi odvzema vode in naplavin, izgradnje pregrad, odstranjevanja obrežne vegetacije, kanaliziranje tekočih voda, in c) obremenjevanje z organskimi snovmi, hrаниli in strupenimi snovmi (Ward, 1998; Malmqvist, 2002; Urbanič in Toman, 2003; Allan, 2004; Hering in sod., 2004; Feld in Hering, 2007; Urbanič, 2014). Kadar na razmere v tekočih vodah vpliva več antropogenih dejavnikov hkrati, govorimo o multiplih stresorjih (Dudgeon, 2010; Ormerod in sod., 2010). Učinki multiplih stresorjev na razmere v tekočih vodah so kompleksni in jih običajno ne moremo napovedati na podlagi delovanja enega od stresorjev. Zaradi sočasnega vpliva multiplih antropogenih dejavnikov in naravne variabilnosti je težko ugotavljati vplive antropogenih dejavnikov na združbe tekočih voda. Glavni cilj raziskovanja vpliva okoljskih dejavnikov na združbe je razlikovanje med vplivi naravnih in antropogenih dejavnikov na združbe organizmov (Johnson, 1998). Pavlin in sodelavci (2011) so ugotovili, da v Sloveniji lahko razlikujemo med vplivi naravnih in antropogenih dejavnikov na združbe bentoških nevretenčarjev. V Sloveniji na združbe bentoških nevretenčarjev pogosto delujejo multipli stresorji, vendar lahko razlikujemo tudi med vplivi skupin stresorjev, npr. raba tal prispevnega območja, obremenjevanje s hrаниli in drugi stresorji (Pavlin in sod., 2011).

Vrsta rabe tal je odvisna od klimatskih razmer, reliefsa, nadmorske višine, naklona terena in strukture tal (Townsend in sod., 1997; Petek, 2004). V Sloveniji so Pavlin in sodelavci (2011) z rabo tal pojasnili manjši delež variabilnosti združb bentoških nevretenčarjev kot z naravnimi značilnostmi rek. Spiranje snovi s kmetijskih in urbanih površin v tekoče vode spremeni abiotiske in biotske razmere tekočih voda (Allan, 2004; Allan in Castillo, 2007).

V Sloveniji so Pavlin in sodelavci (2011) od vseh antropogenih dejavnikov, ki so jih upoštevali v raziskavi, največ variabilnosti združb bentoških nevretenčarjev pojasnili z rabe tal prispevnega območja tekočih voda. Raba tal prispevnega območja tekočih voda vpliva na številne abiotiske procese na lokalni ravni ter posredno na združbe organizmov, tako da se spremeni delovanje ekosistemov tekočih voda (Townsend in Riley, 1999) (Slika 4). Zaradi odvisnosti lokalnih razmer tekočih voda od rabe tal je lahko sočasen vpliv lokalnih dejavnikov in rabe tal na združbe bentoških nevretenčarjev velik (Pavlin in sod., 2011).



Slika 4. Vplivi rabe tal prispevnega območja na združbe organizmov in delovanje ekosistemov tekočih voda (dopolnjeno po Townsend in Riley, 1999).

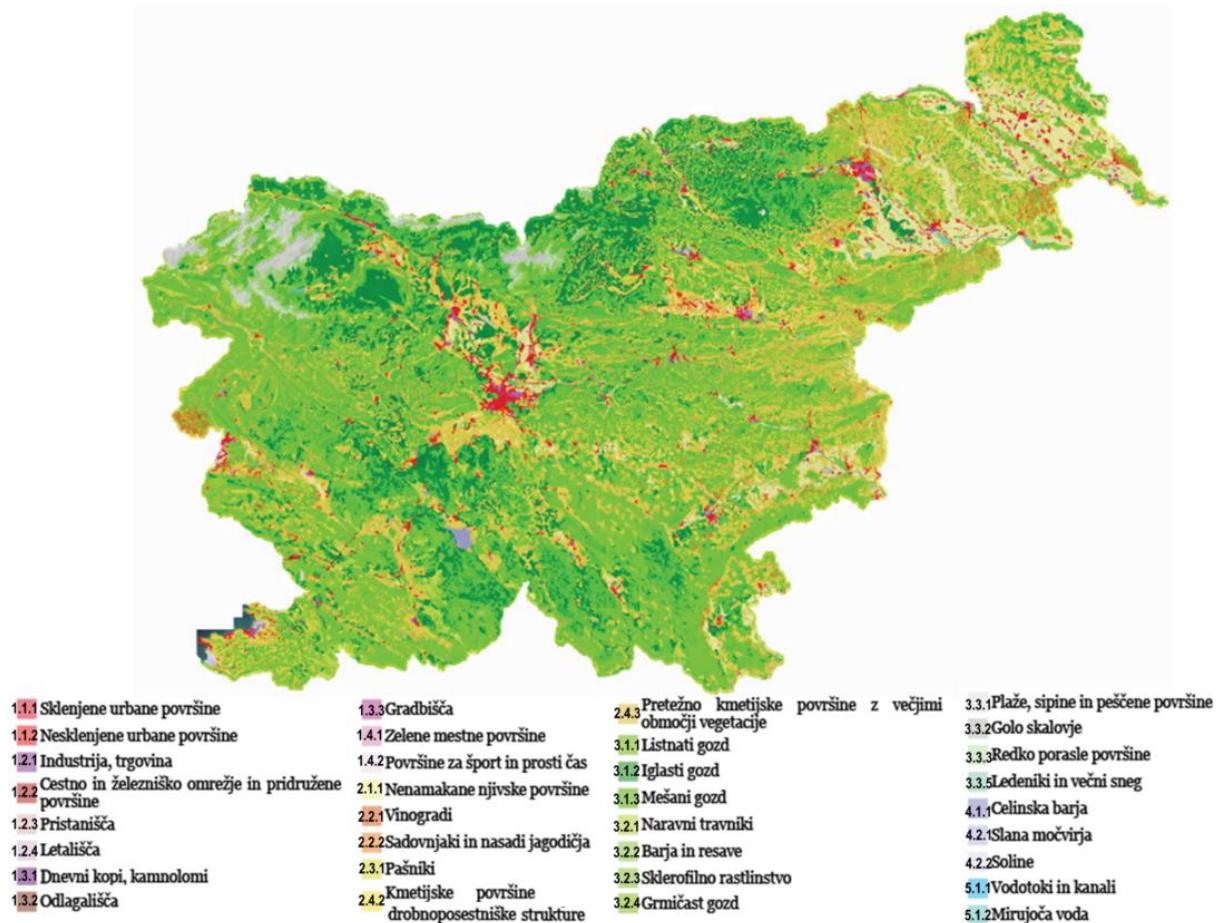
Figure 4. Pathways of catchment land use influences on aquatic communities and ecosystem processes (adapted from Townsend and Riley, 1999).

S spiranjem kmetijskih in urbanih površin se povečata motnost vode in usedanje delcev, ki vplivata na vrsto hrane in kakovost habitata, zmanjšujeta primarno produkcijo, hkrati pa drobni anorganski delci poškodujejo organizme v vodi (Paul in Meyer, 2001; Urbanič in Toman, 2003; Allan, 2004). Vplivi kmetijstva in urbanizacije v prispevnih površinah spremenijo habitat organizmov in povzročijo spremembo sestave in zmanjšanje pestrosti organizmov v združbah (Paul in Meyer, 2001). Spiranje prispevnih površin tekočih voda zaradi kmetijske rabe tal je glavni razpršeni vir onesnaževanja tekočih voda z različnimi onesnaževali. S spiranjem kmetijskih površin se poveča obremenjenost tekočih voda s hranili in pesticidi, s spiranjem cest in ostalih urbanih površin pa obremenjenost s težkimi kovinami ter z natrijevimi in sulfatnimi spojinami (Tong in sod., 2002, Song in sod., 2009). Z rabo tal sta povezana tudi vnos in razširjanje tujerodnih organizmov (Collier in Quinn,

2003). Z odstranjevanjem vegetacije v neposrednih prispevnih površinah tekočih voda zmanjšamo senčenje struge in posredno povečamo temperaturo vode ter zmanjšamo stabilnost struge, vnos alohtonih organskih snovi, zadrževanje hrani in strupenih snovi (Allan, 2004). Song in sodelavci (2009) so ugotovili, da z odstranjevanjem vegetacije posredno povečamo spiranje drobnih organskih delcev in hrani ter negativno vplivamo na vrstno sestavo in pestrost združb bentoških nevretenčarjev. Zaradi povečanega vnosa hrani in organskih delcev v vodotok se zmanjša število taksonov enodnevnic, vrbnic in mladoletnic (Song in sod., 2009).

Slovenija ima v primerjavi z ostalimi evropskimi državami velik delež naravnih površin (Hrvatin in Perko, 2003). V Sloveniji je več kot 60 % ozemlja poraščenega z gozdom (Hrvatin in Perko, 2003; Skumavec in Šabić, 2005). Panonska nižina je najmanj poraščena z gozdom, najbolj pa so Dinaridi, kjer gozd porašča štiri petine ozemlja (Hrvatin in Perko, 2003). V Sloveniji so velike urbane površine vezane na ravninske predele osrednje Slovenije, Podravja in Savinjske doline (Skumavec in Šabić, 2005) (Slika 5).

Z neposrednimi posegi v tekoče vode vplivamo na hidromorfološke značilnosti tekočih voda (Feld, 2004). Neposredne spremembe hidromorfoloških razmer v tekočih vodah so posledica zajezitev, kanaliziranja struge, utrjevanja bregov, odvzemov vode in proda ter drugih posegov. Z neposrednim spremenjanjem hidromorfoloških razmer lahko porušimo povezave tekočih voda s prispevnimi površinami in podtalnico ter med odseki tekočih voda (Allan in Castillo, 2007). Z zajezitvami gorvodno in dolvodno od zajezitve spremenimo abiotiske značilnosti tekočih voda (substrat, vodni tok, temperatura vode, koncentracije hrani) in druge značilnosti, ki določajo kakovost habitatov organizmov (Giller in Malmqvist, 1998; Ward, 1998; Allan in Castillo, 2007). S spremenjanjem značilnosti vodnega toka in substrata povzročimo fragmentacijo habitatov, zmanjšamo ali povečamo migracijo organizmov, spremenimo sestavo, pestrost in trofične povezave organizmov v združbah (Jackson in sod. 2001; Allan in Castillo, 2007). Običajno s spremenjanjem hidromorfoloških značilnosti tekočih voda zmanjšamo vrstno pestrost (Ward, 1998).



Slika 5. Pokrovnost tal v Sloveniji po Corine Land Cover (CLC, 2007).

Figure 5. Corine Land Cover in Slovenia (CLC, 2007).

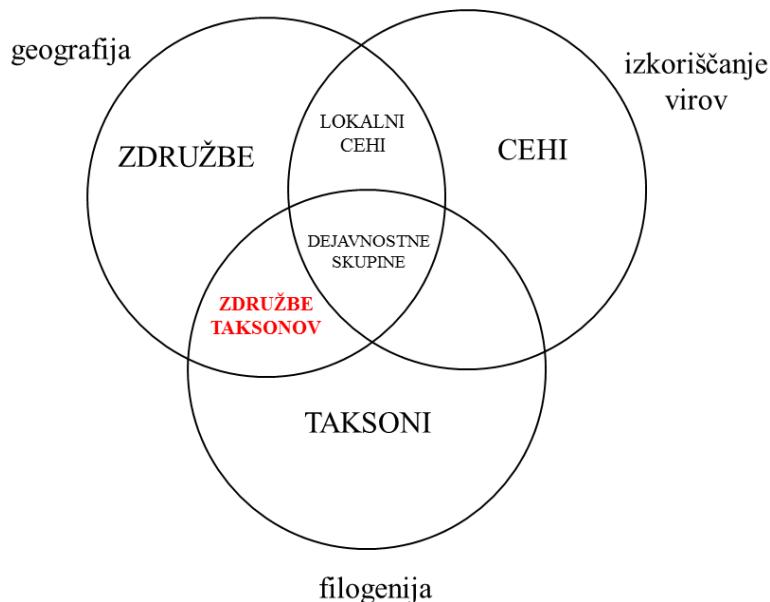
Poleg spremenjanja hidromorfoloških značilnosti sta med najpomembnejšimi obremenitvami tekočih voda obremenjevanje z organskimi snovmi in s hranili (npr. Brabec in sod., 2004; Sandin in Hering, 2004). Z obremenjevanjem tekočih voda s hranili in z organskimi snovmi spremenimo kakovost vode (npr.  $BPK_5$ , skupnega fosforja, skupnega dušika) in habitat organizmov (tip substrata, tip vodnega toka) (Giller in Malmqvist, 1998; Brabec in sod., 2004; Friberg in sod., 2010). Glavni viri obremenjevanja tekočih voda z organskimi snovmi so točkovni viri, npr. odpadne vode iz gospodinjstev, industrije (živilske, tekstilne in papirne), kmetijstva (izcedne vode iz gnojišč in silosov) ter iztoki iz čistilnih naprav (Urbanič in Toman, 2003; Friberg in sod., 2010). Povečan vnos organskih snovi vpliva na kisikove razmere v tekočih vodah (Giller in Malmqvist, 1998; Brabec in sod., 2004). Zaradi povečane respiratorne aktivnosti organizmov se zniža vsebnost raztopljenega kisika v vodi (Urbanič in Toman, 2003). Združbo bentoških nevretenčarjev v

tekočih vodah, močno obremenjenih z organskimi snovmi, sestavljajo taksoni, ki so tolerantni na nizko vsebnost raztopljenega kisika v vodi (npr. Tubificidae, Chironomidae) (Giller in Malmqvist 1998; Urbanič in Toman, 2003). Združba ličink EPT je združba z organskimi snovmi neobremenjenih tekočih voda. Vrstna pestrost EPT se zaradi nizke vsebnosti raztopljenega kisika zmanjša, vrste lahko tudi izginejo (Urbanič in Toman, 2003). Friberg in sodelavci (2010) so ugotovili, da so nekatere vrste vrbnic rodu *Leuctra* zelo občutljive na obremenjevanje z organskimi snovmi. Viri obremenjevanja s hranili so najbolj pogosto razprtjeni in jih težje obravnavamo od točkovnih virov. Točkovne vire lahko nadzorovano merimo, medtem ko razprtjenih virov ne moremo (Nijboer in Verdonschot, 2004). Nadzorovano merjenje hranil je oteženo tudi zaradi mnogih virov hranil v tekočih vodah, npr. spiranje kmetijskih in drugih površin, podtalnica, podzemni tok vode ter padavine (Giller in Malmqvist, 1998; Nijboer in Verdonschot, 2004). Zaradi povečanega vnosa hranil se povečuje produktivnost (trofičnost) tekočih voda v smeri evtrofnega stanja (evtrofnosti). Evtrofnost v tekočih vodah je pogosto prikrita in se izrazi ob spremembah hidroloških razmer z zajezitvijo tekočih voda (Toman in Kranjc, 2003) ali ob povečanem vnosu organskih snovi z odpadnimi vodami (Giller in Malmqvist, 1998; Brabec in sod., 2004). Razgradnja organskih snovi predstavlja dodaten vir hranil za primarne producente, saj z razgradnjo organskih snovi v prisotnosti kisika nastanejo ortofosfati, nitrati in druga hranila. Obrežna vegetacija ima velik pomen za zmanjšanje vpliva prikrite evtrofikacije, ker s senčenjem struge zavira rast primarnih producentov na račun povečane vsebnosti hranil v vodi (Brabec in sod., 2004).

Spremembe združb bentoških nevretenčarjev zaradi obremenjevanja s hranili so manj znane kot spremembe zaradi obremenjevanja z organskimi snovmi (Friberg in sod., 2010). Nekateri raziskovalci navajajo, da zaradi motenj razmer v tekočih vodah, ki jih povzročimo s povečanim vnosom hranil, posredno sprememimo združbe bentoških nevretenčarjev in rib (Giller in Malmqvist, 1998; Allan in Castillo, 2007). Enodnevnice, vrbnice in mladoletnice so občutljive na povečano vsebnost hranil (npr. nitratov) v tekočih vodah, kar se odraži s spremembami v vrstni sestavi ali zmanjšanju vrstne pestrosti EPT v združbah (Quinn in sod., 1997; Song in sod., 2009).

### 3.1.5 Združbe organizmov tekočih voda

Združba organizmov (kratko združba; angl. *community*) so populacije različnih vrst, ki sobivajo v prostoru in času ter med njimi prihaja do interakcij (Allan in Castillo, 2007). V raziskavah težko zajamemo celotno združbo, ki predstavlja skupino vseh vrst na nekem območju (Lawton, 1999). Proučujemo lahko skupine sorodnih vrst, skupine vrst na nekem območju ali skupine vrst, ki izkoriščajo enake vire (Slika 5) (Fauth in sod., 1996). Enota preučevanja ali set bioloških podatkov je del združbe, npr. združbe taksonov (angl. *assemblages*) ali lokalni cehi (angl. *guilds*) (Lawton, 1999). Združbe taksonov so taksonomsko in prostorsko omejene združbe izbranih taksonov iz celotne združbe (Fauth in sod., 1996), npr. združbe EPT. Značilnosti, s katerimi najpogosteje opišemo združbe, so taksonomska sestava in številčnost taksonov v združbi.



Slika 6. Trije osnovni biološki seti, ki jih preučujemo v ekologiji združb: opredeljeni geografsko (združbe), filogenetsko (taksoni) in glede na izkoriščanje virov (cehi). V modelu so združbe skupina organizmov, ki sobivajo v istem prostoru in času. Preseki setov (lokalni cehi, združbe taksonov, skupine, ki sodelujejo pri isti vlogi ali dejavnostne skupine) določajo enote proučevanja (Fauth in sod., 1996).

Figure 6. Three main biological sets studied in community ecology: those defined by geography (communities), phylogeny (taxa) and resources (guilds). In the model, communities are merely groups of organisms living in the same place at the same time. The intersections of these sets (local guilds, assemblages, ensembles) provide operational units used under study (Fauth et al., 1996).

V ekologiji združb obstajata dve osnovni teoriji o sobivanju organizmov v združbah na lokalni ravni: nevtralna teorija (angl. *neutral theory*; Hubbell, 2001) in teorija niše (angl. *niche theory*; Chase in Liebold, 2003). Po nevtralni teoriji združbo na lokalni ravni

določajo stohastični dogodki, npr. migracija organizmov z regionalne ravni, disperzija organizmov na lokalni ravni, smrt in rojstvo organizmov, organizmi pa se ne razlikujejo v odnosu do okoljskih dejavnikov (Thompson in Townsend, 2006). Po teoriji niše združbo določajo abiotski dejavniki in interakcije med organizmi (Thompson in Townsend, 2006; Heino in Mykrä, 2008). Mnogi raziskovalci so ugotovili, da je sestava združb odvisna od prehajanja organizmov med združbami, vpliva abiotskih dejavnikov in interakcij med organizmi (Malmqvist, 2002; Lowe in sod., 2006; Thompson in Townsend, 2006). Če se odrasli osebki dobro dispergirajo, potem so združbe podobne in ne odražajo razlik v okoljskimi dejavnikih med mesti vzorčenja (Thompson in Townsend, 2006). Združbe ličink EPT so povezane z disperzijo med mesti vzorčenja v vodotoku ali med bližnjimi vodotoki v porečju (Heino in Mykrä, 2008). Med vodotoki različnih porečij je disperzija odraslih vodnih žuželk redka (Malmqvist, 2002).

Združbe se spreminjačo vzdolž gradientov okoljskih dejavnikov (Tome, 2006). Organizmi živijo in se razmnožujejo v razponu okoljskih dejavnikov, ki ga imenujemo strpnostno ali tolerančno območje (Urbanič in Toman, 2003; Tome, 2006). Specialisti živijo in se razmnožujejo v ozkem razponu, generalisti pa v širokem razponu okoljskih dejavnikov (Tome, 2006). Mesto in vlogo vrste v habitatu oz. ekosistemu opišemo s pojmom ekološka niša. Hutchinson (1957) je nišo definiral kot seštevek vseh povezav med okoljskimi dejavniki ter organizmi, ki omogočajo obstoj vrste. Povezave med vrstami in okoljskimi dejavniki običajno opišemo z unimodalnimi krivuljami (ter Braak in Prentice, 1988).

### 3.2 ZNAČILNOSTI ZDRUŽB BENTOŠKIH NEVRETEŃCARJEV

#### 3.2.1 Variabilnost združb bentoških nevretenčarjev v odvisnosti od okoljskih dejavnikov

Združbe bentoških nevretenčarjev so odvisne od naravnih značilnosti tekočih voda in prisotnih obremenitev v njih (Beisel in sod. 1998; Malmqvist, 2002; Allan, 2004; Lorenz in sod., 2004a; Urbanič in Toman, 2007; Pavlin in sod., 2011). Spremenljivke naravnih in antropogenih dejavnikov imajo neposreden ali posreden vpliv na združbe bentoških nevretenčarjev (Urbanič in Toman, 2007). Spremenljivke z neposrednim vplivom na razporeditev ličink EPT so npr. temperatura vode (Urbanič, 2004; Haidakker in Hering, 2008), vodni tok (Pastuchová in sod., 2008), geologija (Bonada in sod., 2004), presihanje

(Urbanič in Toman, 2007) in substrat (Habdija in sod., 2002; Jezberová, 2003; Urbanič in sod., 2005). Razporeditev ličink EPT lahko dobro pojasnimo s spremenljivkami s posrednim vplivom, npr. z naklonom (Helešic, 2001; Svitok, 2006), nadmorsko višino (npr. Pastuchová, 2006), oddaljenostjo od izvira ( Bispo in Oliveira, 2007), redom vodotoka (npr. Wiberg-Larsen in sod., 2000) in rabo tal (Collier in Quinn, 2003; Galbraith in sod., 2008).

Na združbe bentoških nevretenčarjev vplivajo mnogi okoljskih dejavniki sočasno, zato je težko ugotoviti kateri med njimi jih najbolj določajo (Urbanič in Toman, 2007). Spremenljivke, ki sta jih Urbanič in Toman (2007) ugotovila kot pomembne za razporeditev mladoletnic v Sloveniji, so bile spremenljivke naravnih in antropogenih dejavnikov. Hrovat in sod. (2009) so ugotovili, da je sočasen vpliv antropogenih in naravnih dejavnikov, evtrofifikacije in globine vode, pomemben za razporeditev enodnevnic in vrbnic v vodotokih JV Slovenije (Hrovat in sod., 2009).

Nekateri avtorji so sočasen vpliv naravnih in antropogenih dejavnikov na združbe bentoških nevretenčarjev ugotavljali z direktnimi gradientnimi metodami, s katerimi so lahko porazdelili deleže pojasnjene variabilnosti združb bentoških nevretenčarjev med različne skupine spremenljivk (Sandin in Johnson, 2004; Mykrä in sod., 2007; Pavlin in sod., 2011). V Sloveniji so Pavlin in sod. (2011) prvi porazdelili deleže pojasnjene variabilnosti združb bentoških nevretenčarjev med naravne dejavnike in skupine antropogenih dejavnikov kot so raba tal, evtrofifikacija in drugi stresorji. Porazdelitve deležev pojasnjene variabilnosti združb bentoških nevretenčarjev med naravne dejavnike, rabo tal, kakovost vode in značilnosti mikrohabitata še ni.

### **3.2.2 Strukturne in funkcionalne značilnosti združb bentoških nevretenčarjev**

Združbe bentoških nevretenčarjev opišemo s strukturnimi in funkcionalnimi značilnostmi. S strukturnimi značilnostmi združb opišemo strukturo in gradnike ekosistema, medtem ko s funkcionalnimi značilnostmi združb opredelimo interakcije organizmov z njihovim abiotiskim in biotskim okoljem, ki omogočajo pretok energije in kroženje snovi v ekosistemu (Tome, 2006). Funkcionalne značilnosti so fiziološke in morfološke lastnosti organizmov, prehranjevalne, razmnoževalne in vedenjske strategije organizmov (Southwood, 1988; Giller in Malmqvist, 1998). Odražajo pestrost ekoloških vlog posameznih vrst v ekosistemu (Heino, 2005). Z večanjem količine informacij o

funkcionalnih značilnostih taksonov se povečuje natančnost pridobljenih informacij o funkcionalnih značilnostih združb (Petkovska in Urbanič, 2010).

Strukturne in funkcionalne značilnosti združb so na različne načine povezane z gradienti naravnih in antropogenih dejavnikov (Heino, 2005; Feld in Hering, 2007; Urbanič, 2014). V primerjavi s strukturnimi značilnostmi so funkcionalne značilnosti združb bentoških nevretenčarjev v povezavi z naravnimi značilnostmi tekočih voda manj raziskane (Heino, 2005). S funkcionalnimi značilnostmi združb si lahko pomagamo pri iskanju vzročnosti povezav med strukturnimi značilnostmi združb in okoljskimi spremenljivkami (Demars in sod., 2012). Nekateri raziskovalci (npr. Petrin in sod., 2013) so v zajezenih rekah ugotovili spremembo v sestavi združb ličink vrbcnic zaradi povečanja reproduktivne kapacitete, pospešenih življenjskih ciklov in spremembe v sestavi prehranskih skupin ličink vrbcnic. Heino (2005) je ugotovil, da so funkcionalne značilnosti združb (npr. število funkcionalnih skupin, številčnost taksonov v določeni funkcionalni skupini) v borealnih vodotokih različno povezane z gradienti določenih okoljskih dejavnikov (npr. pH).

Povezave strukturnih in funkcionalnih značilnosti z gradienti antropogenih dejavnikov se razlikujejo med ekološkimi tipi rek (Hering in sod., 2004; Lorenz in sod., 2004b, Petkovska in Urbanič, 2010). Strukturne in funkcionalne značilnosti združb bentoških nevretenčarjev, ki se spreminja vzdolž gradianta antropogenega dejavnika, izmerimo z metrikami (Hering in sod., 2004). Metrika je merljiv del ali proces biotskega sistema (npr. združbe bentoških nevretenčarjev), ki odraža strukturne, funkcionalne in druge značilnosti tega sistema in se spreminja vzdolž gradianta obremenitve (Karr in Chu, 1999). Metrike so bile pripravljene za namen vrednotenja ekološkega stanja vodotokov (AQEM, 2002). Po vodni direktivi (UL EU, 2000) morajo metrike združb bentoških nevretenčarjev odražati zgradbo, sestavo, vitalnost in delovanje združb bentoških nevretenčarjev. Za učinkovito ugotavljanje povezav združb bentoških nevretenčarjev z okoljskimi dejavniki razvrščamo metrike v skupine glede na značilnosti združb, ki jih merimo (AQEM, 2002; Hering in sod., 2004):

a) Sestava/številčnost (angl. *composition/abundance – ca*)

Kvalitativni seznamami taksonov ne omogočajo vpogleda v razlike v velikostih populacij, te ugotovimo šele z abundanco ali številčnostjo organizmov na površinsko ali prostorninsko enoto. V skupini metrik sestava in številčnost so metrike, s katerimi pridobimo informacijo o številčnosti organizmov, kot so relativna ali absolutna številčnost organizmov določenih taksonomskih skupin bentoških nevretenčarjev.

b) Bogastvo/pestrost (angl. *richness/diversity – rd*)

Metrike v tej skupini so diverzitetni indeksi, število vseh taksonov bentoških nevretenčarjev in števila posameznih taksonov, npr. EPT. Od diverzitetnih indeksov najpogosteje uporabljammo Shannon-Wienerjev indeks (Urbanič in Toman, 2003). S številom vseh taksonov ugotovimo celotno bogastvo združbe bentoških nevretenčarjev v vzorcu. Števila EPT, EP in P taksonov dobro odražajo obremenitve, npr. onesnaževanje s kemijskimi ali organskimi snovmi (Wallace in sod. 1996; Brabec in sod., 2004). Majhno število taksonov ni nujno odraz spremenjenosti habitata ali vira hrane za organizme zaradi antropogenih dejavnikov. Združbe lahko sestavlja majhno število taksonov tudi zaradi naravnih razmer v ekosistemih, npr. v neobremenjenih izvirnih delih rek (Urbanič in Toman, 2003; Tome, 2006). Število vrst je odvisno od regionalnih dejavnikov (npr. klime), vendar so lokalni dejavniki neredko pomembnejši od regionalnih (Boyero, 2003). Veliko število vrst je običajno povezano s pestrostjo razmer na lokalni ravni vodotokov, kot so heterogenost organskega in anorganskega substrata ter tipov vodnih tokov (Tavzes in Urbanič, 2009). Samo število vrst nekega območja ni dober pokazatelj vrstne pestrosti, ampak moramo hkrati upoštevati tudi pogostost prisotnosti vrst (Urbanič in Toman, 2003).

c) Delovanje (angl. *functional – f*)

Metrike v tej skupini lahko razdelimo v več podskupin glede na to, katere funkcionalne značilnosti združb proučujemo. Funkcionalne skupine združb bentoških nevretenčarjev so: pripadnost prehranski skupini, način premikanja, preferenca do tipa vodnega toka in preferenca do substrata (Schmidt-Kloiber s sod., 2006) (Preglednice 2–5). Organizme razlikujemo po morfoloških, vedenjskih in drugih prilagoditvah na razmere v vodnih ekosistemih. Zaradi razlik v prilagoditvah se organizmi različno odzivajo na naravne in antropogene spremembe, npr. spremembe hidrološkega režima (Lytle in Poff, 2004).

Načini prehranjevanja organizmov v povezavi z razmerami v tekočih vodah so najbolj raziskani (npr. Heino, 2005; Rabení in sod. 2005).

Preglednica 2. Preference bentoških nevretenčarjev do tipa vodnega toka (Schmidt-Kloiber in sod., 2006).

Table 2. Current preferences of benthic invertebrates (Schmidt-Kloiber et al., 2006).

| Preferenca do tipa vodnega toka | Opis  |
|---------------------------------|---|
| Limnobiont                      | Organizmi, ki so prisotni samo v stoječih vodah   |
| Limnofil                        | Organizmi, ki preferirajo stoječe vode, redko so prisotni v počasi tekočih vodah  |
| Limno- do reofil                | Organizmi, ki preferirajo stoječe vode, a so prisotni redno tudi v počasi tekočih vodah   |
| Reo- do limnofil                | Organizmi, ki so običajno prisotni v potokih, preferirajo počasi tekoče vode in mikrohabitatem s stoječo vodo, prisotni tudi v stoječih vodah |
| Reofil                          | Organizmi, ki so prisotni v potokih, preferirajo območja s srednjim do močnim vodnim tokom  |
| Reobiont                        | Organizmi, ki so prisotni v potokih, vezani na mikrohabitatem z močnim tokom  |
| Indiferenten organizem          | Organizmi brez preference do tipa vodnega toka  |

Preglednica 3. Tipi substratov, ki jih preferirajo bentoški nevretenčarji (Schmidt-Kloiber in sod., 2006).

Table 3. Substrate preferences of benthic invertebrates (Schmidt-Kloiber et al., 2006).

| Tip substrata         | Opis  |
|-----------------------|---|
| Pelal                 | Blato, premer delcev < 0,063 mm                                       |
| Argilal               | Mulj, glina, premer delcev < 0,063 mm                                 |
| Psamal                | Pesek, premer delcev 0,063 - 2 mm                                     |
| Akal                  | Majhni in srednje veliki prodniki, premer delcev 0,2 - 2 cm           |
| Lital                 | Veliki prodniki, premer delcev > 2 cm                                 |
| Fital                 | Alge, potopljeni in emergentni makrofiti, živi deli kopenskih rastlin |
| Odmrli organski delci | Ksilal, veliki (CPOM) in majhni (FPOM) odmrli organski delci          |
| Drugo                 | Npr. gostitelj zajedalca  |

Preglednica 4. Načini prehranjevanja bentoških nevretenčarjev (Schmidt-Kloiber in sod., 2006).

Table 4. Feeding types of benthic invertebrates (Schmidt-Kloiber et al., 2006).

| Načini prehranjevanja       | Vrsta hrane  |
|-----------------------------|--|
| Strgalci                    | Tkivo endo- in epilitičnih alg, biofilmi, delno tudi odmrli organski delci (POM) |
| Minerji                     | Listi vodnih rastlin, alge, celice vodnih rastlin                                |
| Ksilofagi                   | Ksilal (debla, veje, odmrle korenine)  |
| Drobilci                    | Listje, rastlinsko tkivo, veliki odmrli organski delci (CPOM)                    |
| Zbiralci                    | Usedli majhni odmrli organski delci (FPOM)                                       |
| Aktivni filtratorji         | Suspendiran FPOM, CPOM, ki ga precejajo iz vode                                  |
| Pasivni filtratorji         | Suspendirana organska snov, ki jo prinese vodni tok                              |
| Plenilci                    | Plen   |
| Zajedalci                   | Gostitelj  |
| Drugi načini prehranjevanja | Organizmi, ki jih ne moremo umestiti v nobeno prehransko skupino ali so omnivori |

Preglednica 5. Načini premikanja bentoških nevretenčarjev (Schmidt-Kloiber in sod., 2006).

Table 5. Locomotion types of benthic invertebrates (Schmidt-Kloiber et al., 2006).

| Načini premikanja       | Opis  |
|-------------------------|---|
| Plavalci/drsalci        | Organizmi, ki jih v rekah nosi tok  |
| Plavalci/potapljalci    | Organizmi, ki aktivno plavajo ali se potapljamajo   |
| Kopači/vrtalci          | Organizmi, ki kopljajo v mehko podlago ali vrtajo v trdno podlago                         |
| Plazeči/hodeči          | Organizmi, ki se plazijo ali hodijo z nogami, psevdopodi ali se premikajo s pomočjo sluzi |
| (Semi)sesilni           | Organizmi, ki so pritrjeni na mrtvo podlago, rastline ali živali                          |
| Drugi načini premikanja | Npr. letenje, skakanje  |

d) Občutljivost/tolerantnost (angl. *sensitivity/tolerance – st*)

V to skupino metrik uvrščamo metrike, s katerimi pridobimo informacijo o stopnji obremenitve vodotokov od neobremenjenega do močno obremenjenega stanja. V skupino metrik občutljivost/tolerantnost sodijo vse različice saprobnih indeksov, kot so slovenski saprobni indeks (SIG3), nemški saprobni indeks (German saprobic indeks), biotski indeksi in drugi indeksi, ki jih uporabljamo za ugotavljanje stopnje obremenitve vodotokov z organskimi snovmi in drugimi antropogenimi dejavniki.

Pomembne značilnosti metrik, ki so predpogoj za uspešno razlikovanje vodotokov glede na stopnjo obremenitve so: zadostna variabilnost v vrednostih glede na stopnjo obremenjenosti mest vzorčenja (razpon vrednosti), časovna stabilnost (majhna variabilnost med obdobji vzorčenj na istih mestih vzorčenja), prostorska stabilnost (majhna variabilnost na neobremenjenih ali na obremenjenih mestih vzorčenja) in neodvisnost od ostalih metrik (Ofenböck in sod., 2004; Stoddard in sod., 2008). Metrike, s katerimi dobro razlikujemo med spremenjenim in nespremenjenim stanjem in se ne odzivajo na variabilnost naravnih značilnosti rek, vključujemo v multimetrijske indekse za ekološko vrednotenje stanja vodotokov (Hering in sod., 2004). Multimetrijski indeksi so časovno (sezonsko) manj variabilni od posameznih strukturnih in funkcionalnih metrik (Maloney in Feminella, 2006).

### **3.2.3 Ličinke enodnevnic, vrbnic in mladoletnic kot pomembni gradniki združb bentoških nevretenčarjev**

Enodnevnice, vrbnice in mladoletnice so pogoste skupine vodnih žuželk v tekočih vodah zmernih podnebnih pasov (Landa in Soldan, 1995; Wiberg-Larsen in sod., 2000; Dolisy in

Dohet, 2003; Sivec, 2003; Sheldon in Warren, 2009). Ličinke EPT so del prehranskih povezav med primarnimi in sekundarnimi proizvajalci, zato so pomembni organizmi v kroženju snovi ter prenosu energije v ekosistemih tekočih voda (Dobrin in Giberson, 2003). Nekateri raziskovalci navajajo, da so EPT najbolj pomembne skupine vodnih žuželk za zgradbo in delovanje ekosistemov tekočih voda (Abdo in sod., 2013). Zaradi velikega pomena za strukturo in delovanje ekosistemov tekočih voda so EPT začeli obravnavati z vidika varovanja biotske pestrosti (de Moor in Ivanov, 2008; Fochetti in sod., 2008; Pond, 2010).

Enodnevnice, vrbnice in mladoletnice so taksonomsko pestre skupine vodnih žuželk, od katerih so mladoletnice najbolj taksonomsko pestre (de Moor in Ivanov, 2008). V tekočih vodah so ugotovili več vrst od mladoletnic le pri dvokrilcih (Mackay in Wiggins, 1979; Dohet in sod., 2008). Velika vrstna pestrost ličink EPT je povezana z njihovimi številnimi značilnostmi, kot so vedenje, prehranjevanje in morfologija (Wiggins in Mackay, 1978; Brittain in Sartori, 2003). Ličinke EPT naseljujejo veliko različnih mikrohabitatorjev v celinskih vodah (Soldán in sod., 1998; Brittain in Sartori, 2003; Morse, 2003; Stewart, 2003; Urbanič in sod., 2005; Pauls in sod., 2008; Pond, 2010). Nekateri raziskovalci (npr. Wiggins in Mackay, 1978) so ugotovili, da mladoletnice naseljujejo več različnih mikrohabitatorjev kot enodnevnice in vrbnice. To povezujejo s prilagoditvami mladoletnic na razmere v tekočih vodah, kot so gradnja hišic, pletenje mrež za lovjenje hrane in izdelava zatočišč iz delcev substrata s pomočjo svilenih izločkov (Mackay in Wiggins, 1979; Wallace in Merrit, 1980).

Ličinke EPT se prehranjujejo na različne načine (Wiggins in Mackay, 1978; Brittain in Sartori, 2003; Stewart, 2003; Pond, 2010). Mladoletnice se prehranjujejo z drobljenjem organskega materiala, zbiranjem organskih delcev, sesanjem celic alg, strganjem perifitona s površin, precejanjem suspendiranih delcev v vodi, plenjenjem organizmov in z živimi rastlinami ali algami (Wiggins in Mackay, 1978; Pauls in sod., 2008). Ličinke večine enodnevnic in vrbnic so bolj mobilne od ličink mladoletnic, zato so tudi nekoliko manj morfološko in prehransko specializirane od mladoletnic (Wiggins in Mackay, 1978). Večina enodnevnic zbirala organske delce ali strga perifiton s površin, nekaj je filtratorjev, malo pa je drobilcev in plenilcev (Brittain in Sartori, 2003). Nasprotno je največ vrbnic drobilcev in plenilcev, malo je zbiralcev in strgalcev. Načini prehranjevanja enodnevnic in

vrbnic se dopolnjujejo, kar pomembno vpliva na sestavo združb tekočih voda (Wiggins in Mackay, 1978).

Zaradi razlik v ekoloških nišah lahko vrste in združbe EPT uporabljamo za ugotavljanje stanja okolja ali bioindikacijo. Obstajajo različne definicije bioindikatorjev (Gerhardt, 2002). V naši raziskavi so bioindikatorji definirani kot organizmi ali združbe organizmov, ki odražajo razmere v ekosistemu (Gerhardt, 2002; Urbanič in Toman, 2003). Bioindikatorji se s svojo prisotnostjo ali odsotnostjo, s spremembami številčnosti, morfologije, fiziologije ali vedenja odzovejo na spremembe v okolju, "pokažejo" nanje (Gerhardt, 2002). Ličinke EPT imajo lastnosti dobrih bioindikatorjev, so relativno sedentarne, splošno razširjene in pogoste, enostavne za vzorčenje in determinacijo (vsaj do ravni družine), naseljujejo veliko število različnih mikrohabitatoval in se dolgo razvijajo v vodi (Urbanič in Toman, 2003). Življenjski cikel EPT je enoleten (univoltini cikel) ali večleten (semivoltini cikel), kar pomeni, da so te žuželke izpostavljene celoletnemu ciklu razmer tekočih voda. Sedentarnost EPT je velika zaradi njihove majhne letalne sposobnosti. Heino in Mykrä (2008) sta ugotovila, da so za združbe EPT bolj pomembni okoljski dejavniki na lokalni ravni kot disperzija. Slaba sposobnost razširjanja na dolge razdalje prispeva k razlikam v združbah EPT na regionalni ravni in k dobremu bioindikacijskemu potencialu združb EPT.

Ličinke EPT najbolj pogosto obravnavamo kot bioindikatorje spremenjenosti tekočih voda zaradi antropogenih dejavnikov (npr. Wallace in sod., 1996; Bauernfeind in Moog, 2000; Helešic, 2001; Bonada in sod., 2004; Bispo in sod., 2006; Hodkinson in Jackson, 2005). Vse tri skupine vodnih žuželk (EPT) so standardni bioindikatorji onesnaževanja tekočih voda (Lenat in Penrose, 1996). Občutljivost ličink EPT na spremembe razmer v vodotokih zaradi antropogenih dejavnikov se pogosto pokaže z izginotjem določenih vrst, zmanjšanjem populacij ali spremembo funkcije ličink EPT zaradi vpliva strupenih snovi (Landa in Soldan 1995; Von der Ohe in Liess, 2004).

Ličinke EPT so občutljive na mnoge antropogene dejavnike, kot so obremenjevanje z organskimi snovmi, hranili, pesticidi, zakisavanje in spremicanje hidromorfoloških značilnosti tekočih voda (Bauernfeind in Moog, 2000; Brittain in Sartori, 2003; Von der Ohe in Liess, 2004; Feld in Hering, 2007; Urbanič, 2014). Od EPT so vrbnice najbolj občutljive na nizke koncentracije kisika, zato imajo velik bioindikacijski potencial le v

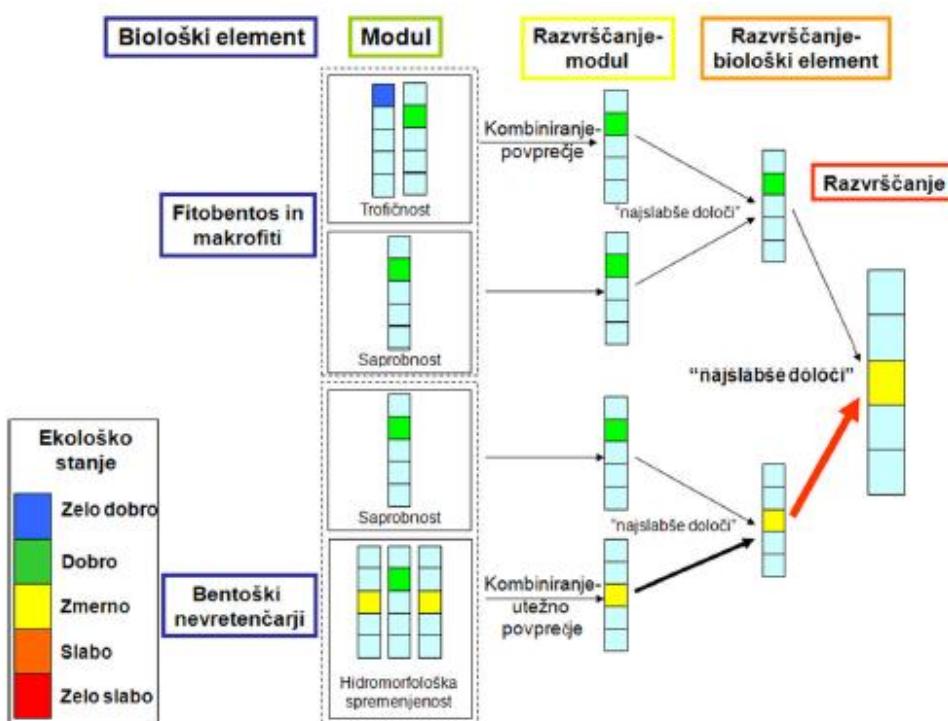
tistih vodotokih, ki so malo obremenjeni, npr. z organskimi snovmi (Brabec in sod., 2004; Friberg in sod., 2010). Prisotnost ličink vrbnic nakazuje dobre kisikove razmere v vodnem okolju, njihova odsotnost pa ne nujno slabe kisikove razmere v vodnem okolju (Abel, 1996). Poleg neustreznih kisikovih razmer je lahko vzrok za odsotnost vrbnic tudi povišana temperatura vode (Quinn in sod., 1997).

Zaradi velike občutljivosti na spremembe razmer v tekočih vodah so EPT najbolj pogoste v zgornjih delih gradientov nekaterih antropogenih dejavnikov, kar velja predvsem za obremenjevanje z organskimi snovmi (npr. Soldan in sod., 1998; Helešic, 2001; Urbanič in Toman, 2007). Urbanič in Toman (2007) sta predvidevala, da se onesnaženosti z organskimi snovmi in hranili nista izkazali kot pomemben dejavnik za razporeditev mladoletnic v vodotokih Slovenije ravno zaradi prisotnosti mladoletnic samo v zgornjem delu gradienta. Na spremjanje hidromorfoloških značilnosti se posamezne združbe EPT pogosto odzovejo s spremembami v sestavi ali načinu prehranjevanja (Tavzes in Urbanič, 2006; Feld in Hering, 2007; Urbanič, 2014; Petrin in sod., 2013). Zaradi razlik v odzivih posameznih združb EPT na okoljske dejavnike moramo pri ugotavljanju vplivov antropogenih dejavnikov na razmere v tekočih vodah upoštevati celotno združbo EPT (Heino in Mykrä, 2008; Hrovat in sod., 2014).

### 3.3 VREDNOTENJE EKOLOŠKEGA STANJA REK V SLOVENIJI

Ekološko stanje je kakovost strukture in delovanja ekosistemov tekočih voda (UL EU, 2000). Vrednotenje ekološkega stanja vodotokov poteka na osnovi bioloških elementov kakovosti (angl. *BQE* ali *biological quality elements*) ter splošnih fizikalno-kemijskih in hidromorfoloških elementov, ki podpirajo biološke elemente (Urbanič, 2014). Biološki elementi kakovosti so fitoplankton, fitobentos in makrofiti, bentoški nevretenčarji ter ribe. Izmed navedenih bioloških elementov kakovosti v vodni direktivi so za vrednotenje ekološkega stanja rek v Sloveniji relevantni trije elementi: bentoški nevretenčarji, makrofiti in fitobentos ter ribe (Urbanič, 2011; Urbanič, 2014). Fitoplankton ni relevanten, ker se pojavlja občasno in samo v nekaterih rekah v Sloveniji (Urbanič, 2011). V Sloveniji so razviti sistemi vrednotenja na podlagi fitobentosa in makrofitov ter bentoških nevretenčarjev (UL RS, 2009). Razvoj sistema vrednotenja na podlagi rib še poteka.

Za vrednotenje ekološkega stanja v Sloveniji uporabljam pristop, ki je specifičen glede na odziv bioloških elementov kakovosti na tip obremenitve (angl. *BQE stressor-specific assessment system*), saj se združbe organizmov (biološki elementi) odzivajo na različne obremenitve (Urbanič, 2011; Urbanič, 2014). V Sloveniji na podlagi bentoških nevretenčarjev vrednotimo vpliva dveh obremenitev na vodno okolje: obremenitve z organskimi snovmi in hidromorfološko spremenjenost/splošno degradiranost vodotokov (Urbanič, 2011). Vpliv obremenitve vodotokov z organskimi snovmi vrednotimo s slovenskim saprobnim indeksom SIG3, vpliv hidromorfološke spremenjenosti/splošne degradiranosti pa s slovenskim multimetrijskim indeksom SMEIH (UL RS, 2009). Končna ocena ekološkega stanja poteka po principu »najslabši določi stanje«, kar pomeni, da je končna ocena stanja najslabša ocena stanja, določena s posameznim biološkim elementom kakovosti (Urbanič, 2011) (Slika 7).



Slika 7. Sistem vrednotenja ekološkega stanja rek na podlagi bioloških elementov kakovosti v Sloveniji (Urbanič, 2011).

Figure 7. Rivers ecological assesment system based on biological quality elements in Slovenia (Urbanič, 2011).

#### **4 CILJI RAZISKOVANJA**

Raziskavo ekologije ličink EPT smo opravili v rekah bioregije Preddinarska hribovja in ravnine.

Prvi cilj naše raziskave je bil ugotoviti taksonomsko sestavo in številčnost taksonov ličink EPT. Taksonomska določitev in številčnost taksonov ličink EPT sta bili izhodišči za raziskavo ekologije združb ličink EPT.

Drugi cilj je bil ugotoviti v katerih strukturnih in funkcionalnih značilnostih se med seboj razlikujejo združbe ličink EPT v kraških in nekraških rekah.

Tretji cilj je bil ugotoviti število taksonov ličink EPT, značilnih za obremenjene in neobremenjene reke.

Četrти cilj je bil ugotoviti stopnjo soodvisnosti med izbranimi spremenljivkami tipologije, rabe tal, značilnosti mikrohabitata in kakovosti vode.

Peti cilj je bil ugotoviti vpliv tipoloških dejavnikov in vplive dejavnikov posameznih skupin spremenljivk: raba tal, kakovost vode in značilnosti mikrohabitata na združbe ličink EPT.

Šesti cilj je bil ugotoviti vpliv dejavnikov posameznih skupin spremenljivk: raba tal, kakovost vode, značilnosti mikrohabitata in vplive hkratnega delovanja dejavnikov dveh ali treh navedenih skupin spremenljivk na združbe ličink EPT.

Sedmi cilj je bil ugotoviti ali se vplivi okoljskih dejavnikov na združbe ličink EPT med kraškimi in nekraškimi rekami razlikujejo.

## 5 DELOVNE HIPOTEZE

Raziskavo ekologije ličink EPT v rekah bioregije Preddinarska hribovja in ravnine smo zasnovali na naslednjih hipotezah:

### 1. hipoteza

Predvidevamo, da bomo združbe ličink EPT bolje pojasnili s tipološkimi dejavniki kot s stopnjo obremenitve rek, in da bomo poleg tega združbe ličink EPT dodatno pojasnili z interakcijo med tipološkimi dejavniki in stopnjo obremenitve rek.

### 2. hipoteza

Predvidevamo, da se bodo združbe ličink EPT med kraškimi in nekraškimi rekami razlikovale v večjem številu strukturnih kot funkcionalnih značilnosti.

### 3. hipoteza

Predvidevamo, da bomo našli več taksonov EPT, značilnih za neobremenjene kot za obremenjene reke.

### 4. hipoteza

Predvidevamo, da bomo s posameznimi spremenljivkami tipologije, rabe tal, značilnosti mikrohabitata in kakovosti vode pojasnili različen delež variabilnosti združb ličink EPT v kraških in nekraških rekah.

### 5. hipoteza

Predvidevamo, da ne bomo v celoti razlikovali med vplivi tipoloških dejavnikov in dejavnikov posamezne skupine spremenljivk: raba tal, kakovost vode in značilnosti mikrohabitata na združbe ličink EPT.

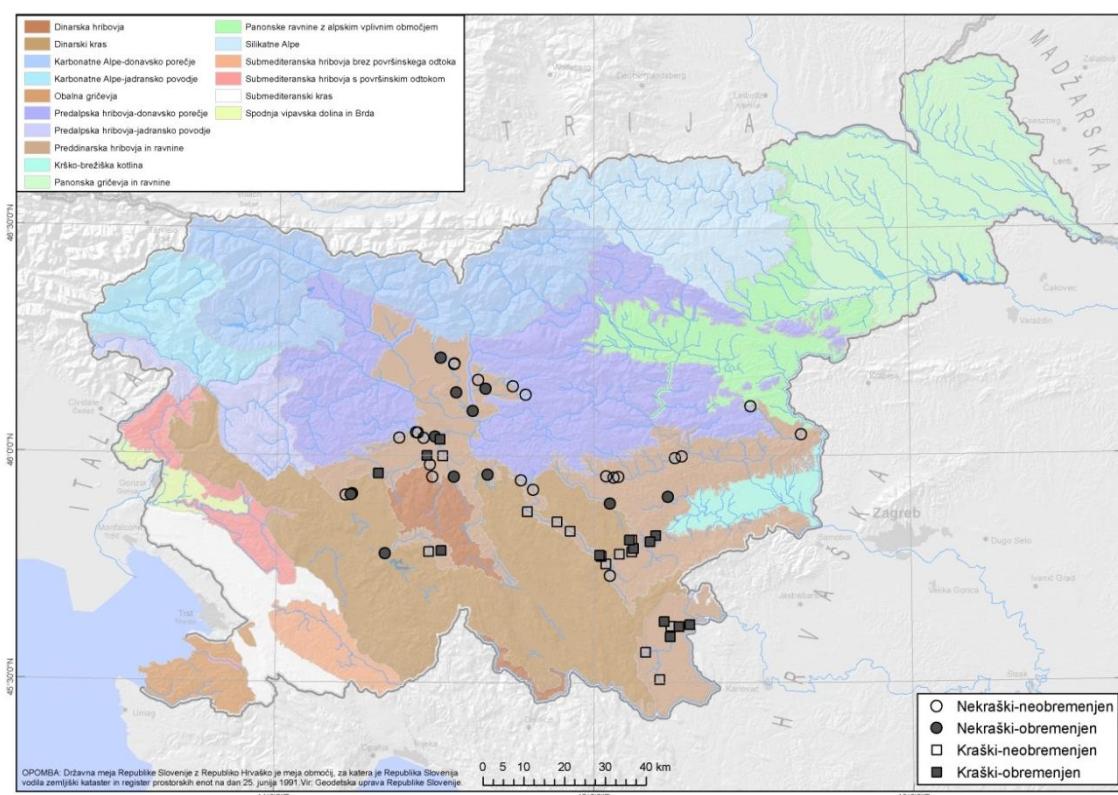
### 6. hipoteza:

Predvidevamo, da se vplivi dejavnikov posamezne skupine spremenljivk raba tal, kakovost vode in značilnosti mikrohabitata na združbe ličink EPT razlikujejo med kraškimi in nekraškimi rekami.

## 6 MATERIALI IN METODE DELA

### 6.1 MESTA VZORČENJA IN OBDOBJE RAZISKAV

Meritve okoljskih (hidromorfoloških in fizikalno-kemijskih) spremenljivk in vzorčenja bentoških nevretenčarjev smo opravili na 63 mestih vzorčenja rek bioregije Preddinarska hribovja in ravnine v obdobju od leta 2005 do 2010. Na 63 mestih vzorčenja smo za analize zbrali 76 vzorcev ličink EPT (Slika 8). Seznam mest vzorčenja je v Prilogi A.



Slika 8. Mesta vzorčenja vodotokov bioregije Preddinarska hribovja in ravnine.

Figure 8. Sampling sites of Subdinaric hills and plains bioregion.

Pri izboru mest vzorčenja smo upoštevali naravne (tipološke) značilnosti in obremenitve rek na konkretnih mestih vzorčenja, ker oboje sočasno vplivajo na združbe bentoških nevretenčarjev (npr. Malmqvist, 2002; Lorenz in sod, 2004a). Na podlagi spremenljivk tipologije *meandriranje* in/ali *vpliv kraškega izvira* smo reke razdelili na kraške in nekraške reke (Slika 7). Na mestih vzorčenja kraških rek smo zbrali 31 vzorcev ličink EPT, na mestih vzorčenja nekraških rek pa 45 vzorcev ličink EPT (Slika 8). Glede na razlike v

stopnji obremenitve mest vzorčenja smo določili dve skupini rek in sicer neobremenjene ter obremenjene reke. Stopnje obremenitev rek smo določili na podlagi obremenjenosti z organskimi snovmi in spremenjenosti hidromorfoloških značilnosti mest vzorčenja, ki sta dve najpomembnejši obremenitvi slovenskih rek (Urbanič, 2011). Kot neobremenjena smo obravnavali mesta vzorčenja, ki smo jih uvrstili v prvi ali drugi razred saprobnega, hidromorfološkega in hidrološkega stanja. Kot obremenjena smo obravnavali mesta vzorčenja, ki smo jih uvrstili v tretji, četrti ali peti razred saprobnega, hidromorfološkega in/ali hidrološkega stanja. Na neobremenjenih mestih smo zbrali 41 in na obremenjenih 35 vzorcev ličink EPT (Slika 8). Vrednost slovenskega saprobnega indeksa (SIG3) smo izračunali po metodologiji vrednotenja ekološkega stanja rek (UL RS 2009):

$$SIG3_j = \frac{\sum_{i=1}^n (h_i * G_i * s_i)}{\sum_{i=1}^n (h_i * G_i)}$$

kjer je

$SIG3_j$  – vrednost slovenskega saprobnega indeksa j-tega vzorca,

$h_i$  – številčnost i-tega taksona,

$G_i$  – indikatorska vrednost ali teža indikacije i-tega taksona,

$s_i$  – saprobna vrednost i-tega taksona.

Spremenjenost hidromorfoloških (HM) značilnosti mest vzorčenja smo določili po klasifikaciji VGI (VGI, 2002) (Preglednica 6). Klasifikacija rek po VGI temelji na kategoričnih spremenljivkah, pri čemer so upoštevane hidromorfološke značilnosti struge. Kot dodaten kriterij za določitev referenčnih in nereferenčnih mest vzorčenja smo izbrali indeks hidrološke spremenjenosti (HLM) mest vzorčenja (Urbanič, 2014). Z indeksom HLM smo ocenili vpliv pregrad (zajezitev) (Preglednica 7) na razmere na mestu vzorčenja z upoštevanjem dveh spremenljivk, razdalje mesta vzorčenja od pregrade ter prisotnosti pritokov med pregrado in mestom vzorčenja (Tavzes in Urbanič, 2009; Urbanič, 2014).

Preglednica 6. Opis razredov spremenjenosti hidromorfoloških (HM) značilnosti vodotokov (VGI, 2002).

Table 6. Hydromorphological (HM) alteration class description (VGI, 2002).

| Razred HM spremenjenosti                   | Opis   |
|--|--|
| 1 Naravni in neznatno spremenjeni vodotoki | Naravni in delno naravni vodotoki. Struga je vzdolžno in prečno razgibana, omogočena je naravna erozija brežin in dna. Objektov, ureditve in naprav ni ali pa je kak posamezen, manjši objekt z majhnim in le lokalnim vplivom. Povezanost struge s poplavnim površinami ni motena. Omogočena je naravna prodonosnost in oblikovanje prodišč. Niveleta dna je naravna (struga ni umetno poglobljena).  |
| 2 Zmerno spremenjeni vodotoki              | T. i. sonaravno urejeni vodotoki in občutneje urejeni vodotoki. Nekatere naravne značilnosti vodotokov so spremenjene: na vodotoku je več manjših objektov, vendar imajo le lokalen vpliv. Vzdolžna razgibanost struge je lahko okrnjena, vendar je še vedno zaznavna in blizu naravne, opazna je prečna razgibanost struge. Erozijo ene brežine vodotoka lahko preprečuje več manjših objektov, a povezava med strugo in hiporeikom zato ni motena. Ob strugi so poplavne površine, ki so od struge lahko ponekod ločene, vendar pogostost preplavljanja brežin in poplavljanja ni motena. Erozija dna je omogočena, prodišča se lahko oblikujejo glede na hidrološko-hidravlične razmere in razpoložljive količine materiala, oz. je motena le toliko, da se prodišča lahko oblikujejo, če je na voljo presežek materialov. Niveleta dna je naravna oz. je lahko bila lokalno poglobljena, vendar so bili vplivi te obremenitve kasneje izravnani in se minimalno odražajo na današnjih dinamičnih procesih. |
| 3 Občutno spremenjeni vodotoki             | T. i. tehnično urejeni vodotoki. Vzdolžne in prečne razgibanosti struge zaradi posegov vanjo ni. Erozija dna in brežin je nadzorovana s sistemom objektov, naprav ali ureditev, ki niso togi (uporabljeni so naravni materiali); povezava med strugo in hiporeikom je omogočena. Ob strugi so poplavne površine, ki so s strugo aktivno povezane, povezava je prekinjena le ponekod. Pogostost preplavljanja brežin je v primerjavi z naravnimi vodotoki manjša in kratkotrajnejša. Erozija dna in brežin je nadzorovana, mogoč je transport materiala, le v redkih primerih tudi oblikovanje prodišč. Niveleta dna je poglobljena.  |
| 4 Močno spremenjeni vodotoki               | T. i. delno togo urejeni vodotoki. Vzdolžne in prečne razgibanosti struge ni. Erozija dna in brežin je nadzorovana s sistemom objektov, naprav ali ureditev, materiali so lahko naravni, a so togi; povezava med strugo in hiporeikom je motena. Aktivne povezave med strugo in poplavnimi površinami so prekinjene ali pa so poplavne površine pozidane na eni, lahko na obeh staneh struge. Možen je transport materialov, vendar sta erozija dna in nepozidanih brežin ter odlaganje onemogočena oz. nadzorovana. Niveleta dna je poglobljena.  |
| 5 Zelo močno spremenjeni vodotoki          | T. i. togo urejeni vodotoki. Vzdolžne in prečne razgibanosti struge ni. Erozija dna in brežin je nadzorovana s sistemom objektov, naprav ali ureditev. Aktivnih povezav med strugo in hiporeikom ni. Aktivne povezave med strugo in poplavnimi površinami so prekinjene ali pa so poplavne površine na obeh staneh struge pozidane. Transport materiala, erozija dna in brežin ter odlaganje so onemogočeni oz. nadzorovani. Niveleta dna je poglobljena.  |

Preglednica 7. Dolžina zaježitve v povezavi z velikostjo prispevne površine tekoče vode, upoštevana v vrednotenju hidrološkega (HLM) stanja (Tavzes in Urbanič, 2009).

Table 7. Length of water impoundments according to the catchments size considered in the hydrological (HLM) status assessment (Tavzes in Urbanič, 2009).

| Velikost prispevne površine (VPP)                                      | Dolžina zaježitve (km) |
|--|------------------------|
| < 10 km <sup>2</sup>   | 0,1                    |
| 10-100 km <sup>2</sup>   | 0,5                    |
| 100-1000 km <sup>2</sup>   | 1                      |
| 1000-2500 km <sup>2</sup>  | 1,5                    |
| > 2500 km <sup>2</sup> ali srednji letni pretok > 50 m <sup>3</sup> /s | 2                      |

Za mesta vzorčenja pod zaježitvijo smo izračunali vrednost HLM indeksa, kjer je upoštevana informacija o vplivu pritokov med zaježitvijo in mestom vzorčenja (Tavzes in Urbanič, 2009; Urbanič, 2014):

$$HLM = \frac{1000 * HLM_{mc} + 1000 * \sum_{i=1}^n HLM_t + 100 * \sum_{i=1}^m HLM_{t1} + 10 * \sum_{i=1}^l HLM_{t2} + \sum_{i=1}^k HLM_{t3}}{1000 + n * 1000 + m * 100 + l * 10 + k}$$

kjer je

HLM – indeks spremenjenosti hidromorfoloških značilnosti mesta vzorčenja,

$HLM_{mc}$  – vrednost spremenjenosti hidromorfoloških značilnosti glavne struge,

$HLM$  - vrednost spremenjenosti hidromorfoloških značilnosti pritoka z VPP, enako glavni strugi,

$HLM_{t1}$  - vrednost spremenjenosti hidromorfoloških značilnosti pritoka z VPP, uvrstitev v en razred nižje kot VPP glavne struge,

$HLM_{t2}$  - vrednost spremenjenosti hidromorfoloških značilnosti pritoka z VPP, uvrstitev v dva razreda nižje kot VPP glavne struge,

$HLM_{t3}$  - vrednost spremenjenosti hidromorfoloških značilnosti pritoka z VPP, uvrstitev v tri razrede nižje od VPP glavne struge,

n, m, l, k – število pritokov z VPP, enako glavni strugi.

Vrednost spremenljivk  $HLM_{(mc, t)}$  smo izračunali glede na razdaljo mesta vzorčenja od zaježitve reke (Preglednica 8; Tavzes in Urbanič, 2009; Urbanič, 2014):

$$HLM_{(mc, t)} = lb + \frac{(di - lbd) * 0,2}{(ubd - lbd)}$$

kjer je

$HLM_{(mc, t)}$  – spremenjenost hidroloških značilnosti glavne struge (mc) ali pritoka (t) reke,

lb – spodnja mejna vrednost  $HLM_{(mc, t)}$ ,

di – razdalja od pregrade,

ubd – zgornja mejna vrednost razdalje,

lbd – spodnja mejna vrednost razdalje

Za mesta vzorčenja v zaježitvi reke smo izračunali vrednost  $HLM_{(imp)}$  indeksa z upoštevanjem velikosti zaježitve in oddaljenosti mesta vzorčenja od pregrade (Preglednica 8, Urbanič, 2014):

$$HLM_{(imp)} = lb + (ub - lb) * \frac{ul - il}{il}$$

kjer je

$HLM_{(imp)}$  – spremenjenost hidroloških značilnosti mesta vzorčenja v zaježitvi

lb – spodnja mejna vrednost  $HLM_{(imp)}$

ub – zgornja mejna vrednost  $HLM_{(imp)}$

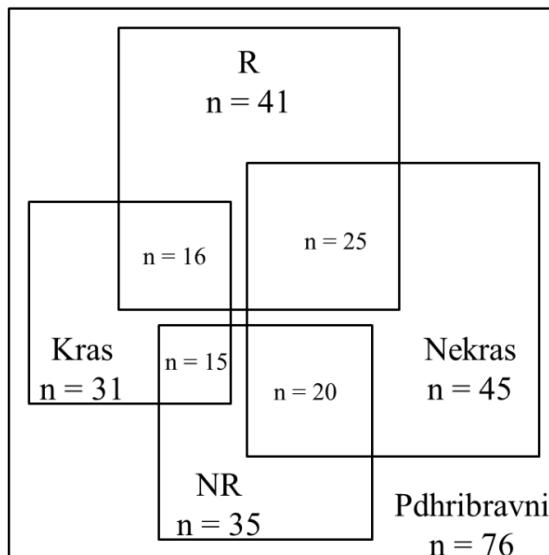
il – dolžina zaježitve

ul – razdalja mesta vzorčenja od pregrade

Preglednica 8. Sistem razvrstitev rek glede na vrednost indeksa hidrološke spremenjenosti (HLM) treh velikostnih tipov zajezitev z zgornjimi (ubd) in spodnjimi (lbd) mejnimi vrednostmi razdalj mest vzorčenja od zajezitve (Urbanič, 2014). Velika zajezitev – velikost jezera/zadrževalnik, srednje velika zajezitev – velikost mlake, majhna zajezitev – velikost tolmuna.

Table 8. A classification system of the Hydrological Modification Index (HLM) for three types of HLM impoundments and upper (ubd) and lower (lbd) boundary distances from the impoundment (Urbanič, 2014). Large impoundment – lake – like impoundment/reservoir, medium-sized impoundment – pond-like impoundment, small impoundment – pool-like impoundment.

| Velikost zajezitve | Velika   |          | Srednje velika |          | Majhna     |          |
|--------------------|--|----------|----------------|----------|------------|----------|
|                    | Razdalja mesta vzorčenja od zajezitve (km) (lbd – ubd) | HLM rang | HLM razred     | HLM rang | HLM razred | HLM rang |
| 0-0,1              | 0-0,2  | 5        | 0,5-0,6        | 3        | 0,75-0,80  | 2        |
| 0,1-1              | 0,2-0,4  | 4        | 0,6-0,7        | 2        | 0,80-0,85  | 1        |
| 1-5                | 0,4-0,6  | 3        | 0,7-0,8        | 2        | 0,85-0,90  | 1        |
| 5-10               | 0,6-0,8  | 2        | 0,8-0,9        | 1        | 0,90-0,95  | 1        |
| 10-50 ali več      | 0,8-1  | 1        | 0,9-1          | 1        | 0,95       | 1        |



Slika 9. Število vzorcev ličink EPT (n) glede na naravne (tipološke) značilnosti in stopnjo obremenitve rek bioregije Preddinarska hribovja in ravnine (Pdhribavni) (Kras – kraške reke, Nekras – nekraške reke, R – neobremenjene reke, NR – obremenjene reke). Preseki kvadratov prikazujejo število vzorcev ličink EPT v neobremenjenih in obremenjenih kraških ali nekraških rekah.

Figure 9. The number of EPT larvae samples (n) according to natural (typology) characteristics and degradation status of rivers of Subdinaric hills and plains bioregion (Pdhribavni) (Kras – karst rivers, Nekras – non-karst rivers, R – non-degraded rivers, NR – degraded rivers). Square intersections indicate the number of EPT larvae samples in non-degraded and degraded karst or non-karst rivers.

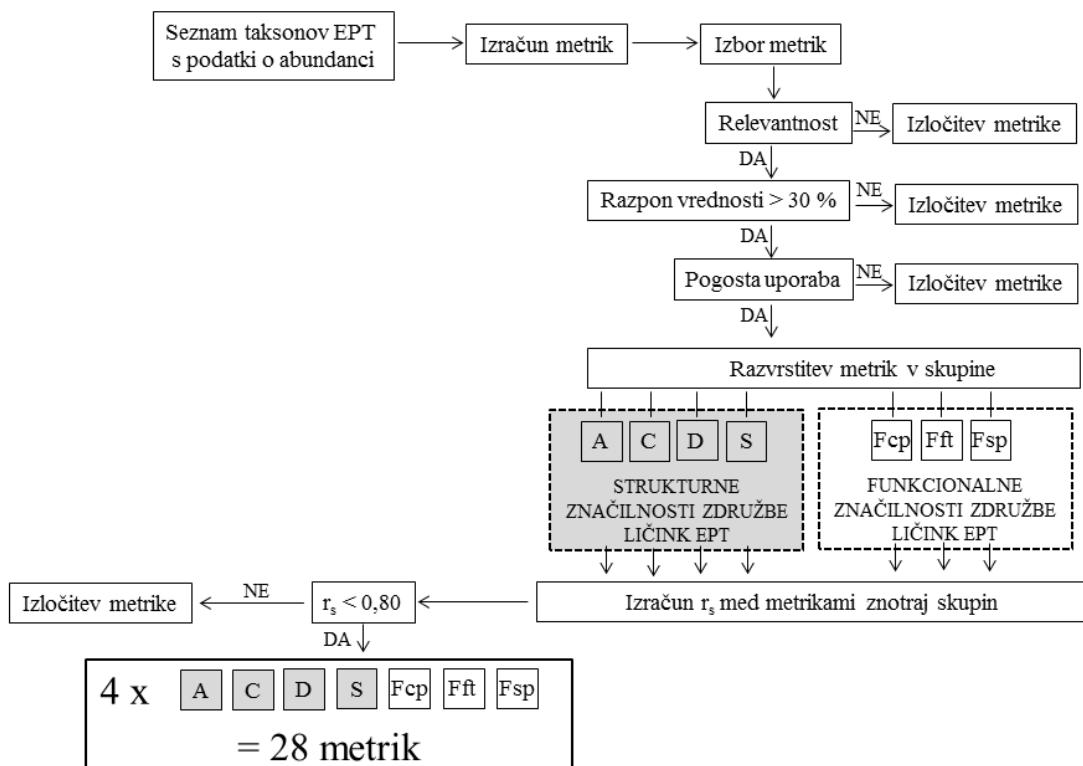
## 6.2 VZORČENJE LIČINK ENODNEVNIC, VRBNIC IN MLADOLETNIC

Vzorčenja ličink EPT smo opravili v okviru projektnih nalog za pripravo metodologij vrednotenja ekološkega stanja in programa spremljanja ekološkega stanja (monitoringa) rek na podlagi bentoških nevretenčarjev v obdobju od 2005 do 2010 na Agenciji RS za okolje (npr. Urbanič in sod., 2006; 2007; 2008; 2009; 2010; 2011). Vzorce bentoških nevretenčarjev smo nabrali v obdobju od junija do septembra v stabilnih hidroloških razmerah, to je ob nizkih do srednje visokih vodostajih rek. Vzorčenje bentoških nevretenčarjev smo opravili po standardizirani metodi mikrohabitativnih tipov (Urbanič in sod., 2005), ki jo uporabljamo za vrednotenje ekološkega stanja rek v Sloveniji (Urbanič in sod., 2005; UL RS, 2009). Na vsakem mestu vzorčenja smo opravili popis mikrohabitativnih tipov. Vsak mikrohabitativni tip smo popisali s kombinacijo substrata in tipa vodnega toka (Preglednica 10). Za vsak mikrohabitativni tip smo določili delež pokrovnosti površine mesta vzorčenja. Glede na delež pokrovnosti površine mesta vzorčenja smo v vsakem mikrohabitativnem tipu določili število vzorčnih enot z upoštevanjem mikrohabitativnih tipov, ki pokrivajo vsaj 5 % površine mesta vzorčenja. Celoten vzorec bentoških nevretenčarjev smo nabrali na 20 vzorčnih enotah s premeščanjem substrata pred ročno mrežo z okvirjem 0,25 m x 0,25 m (angl. *kick sampling*). Celoten vzorec bentoških nevretenčarjev smo nabrali na 1,25 m<sup>2</sup> velikem območju. Na terenu smo celoten vzorec razdelili na štiri podvzorce, od katerih smo dva prenesli v laboratorij (podvzorčenje; angl. *subsampling*) (Petkovska in Urbanič, 2010). Iz dveh podvzorcev smo pobrali bentoške nevretenčarje in jih shranili v 96 % etanolu. Ličinke EPT smo prešeli in določili do najnižjega možnega taksonomskega nivoja (večinoma do vrste ali rodu) s pomočjo naslednjih del: Müller-Liebenau (1969), Raušer (1980), Studemann in sod. (1992), Waringer in Graf (1997, 2000), Bauernfeind in Humpesch (2001), Zwick (2004) in Eiseler (2005).

## 6.3 IZRAČUN IN IZBOR METRIK

Številčnost ličink EPT smo uporabili za izračun 244 metrik s programom Asterics 3.01 (AQEM, 2002). Izmed izračunanih metrik smo izbrali metrike po izločitvenih kriterijih: relevantnost, razpon vrednosti, pogostost uporabljanja in soodvisnost med metrikami (Slika 10). Najprej smo izločili tiste, ki niso relevantne za bioregijo Preddinarska hribovja in ravnine (npr. indekse nemške favne, italijanske metrike, belgijski biotski indeks, indekse, ki upoštevajo taksonomski nivo družin (BMWP, ASPT), metrike preference

organizmov do slanosti) in metrike z neizračunanimi vrednostmi za večino mest vzorčenja. Nato smo izračunali razpone vrednosti metrik in izločili metrike z majhnim razponom vrednosti (< 30 % vrednosti), s katerim ne moremo razlikovati med neobremenjenim in obremenjenim stanjem rek (Ofenböck in sod., 2004; Hering in sod., 2006). Izločili smo metrike, ki se redko ali nikoli ne uporabljajo v raziskavah in sistemih vrednotenja ekološkega stanja (Petkovska in Urbanič, 2010; Thais Suriano in sod., 2011). Izbrane metrike smo razvrstili v sedem skupin (Feld in Hering, 2007) (Preglednica 9). S skupinami metrik sestava (C), številčnost (A), bogastvo (R) in pestrost (D) smo izmerili strukturne značilnosti združb ličink EPT. S tremi skupinami metrik preferenca do tipa vodnega toka (Fcp), preferenca do tipa substrata (Fsp) in način prehranjevanja (Fft) smo izmerili funkcionalne značilnosti združb ličink EPT. Nazadnje smo med pari metrik izračunali Spearmanov koreacijski koeficient rangov ( $r_s$ ) s programom SPSS 20.0 (IBM, 2011). Iz vsake skupine metrik smo izločili metrike s podobno informacijo o združbi oz. močno soodvisne metrike ( $r_s \geq 0,8$ ) (Hering in sod., 2006; Ofenböck in sod., 2004). V vsaki skupini metrik smo zbrali štiri metrike, skupaj 28 metrik.



Slika 10. Izbor metrik in razporeditev izbranih metrik združb ličink EPT v skupine.

Figure 10. The selection and grouping of EPT larva assemblage metrics.

Preglednica 9. Seznam metrik, izpeljanih iz združb ličink enodnevnic, vrbnic in mladoletnic (EPT).

Table 9. A list of Ephemeroptera, Plecoptera and Trichoptera (EPT) larvae assemblages metrics.

| Skupina metrike<br>(Oznaka skupine metrike)  | Metrika  | Oznaka metrike |
|--|--|----------------|
| ŠTEVILČNOST<br>(A)                           | Abundanca enodnevnic   | Abund E        |
|  | Abundanca vrbnic   | Abund P        |
|  | Abundanca mladoletnic  | Abund T        |
|  | Abundanca EPT  | Abund EPT      |
| BOGASTVO<br>(R)                              | Število taksonov enodnevnic                                  | Num E          |
|  | Število taksonov vrbnic                                      | Num P          |
|  | Število taksonov mladoletnic                                 | Num T          |
|  | Število taksonov EPT   | Num EPT        |
| SESTAVA<br>(C)                               | Delež enodnevnic   | E %            |
|  | Delež vrbnic   | P %            |
|  | Delež vrste <i>Baetis rhodani</i>                            | Bae rho %      |
|  | Delež mladoletnic  | T %            |
| PESTROST<br>(D)                              | Margalefov diverzitetni indeks                               | Margalef       |
|  | Simpsonov diverzitetni indeks                                | Simpson        |
|  | Shannon-Wienerjev diverzitetni indeks                        | Shannon        |
|  | Evenness (enakomernost številčnosti osebkov posameznih vrst) | Evenness       |
| PREFERENCA DO TIPOV<br>VODNEGA TOKA<br>(Fcp) | Delež reobiontov   | RB             |
|  | Delež reofilnih limnofilov                                   | RL             |
|  | Delež reofilov   | RP             |
|  | Delež taksonov brez preferenca do hitrosti toka              | IN             |
| PREFERENCA DO TIPOV SUBSTRATA<br>(Fsp)       | Delež taksonov s preferenco do akala, litala in psamala      | Aka+Lit+Psa    |
|  | Delež taksonov s preferenco do akala                         | Aka            |
|  | Delež taksonov s preferenco do na litala                     | Lit            |
|  | Delež taksonov s preferenco do fitala                        | Phy            |
| NAČIN PREHRANJEVANJA<br>(Fft)                | Delež aktivnih filtratorjev                                  | Act filt       |
|  | Delež zbiralcev  | Gath           |
|  | Delež strgalcev  | Graz +Scrap    |
|  | Delež drobilcev  | Shred          |

## 6.4 OKOLJSKE SPREMENLJIVKE

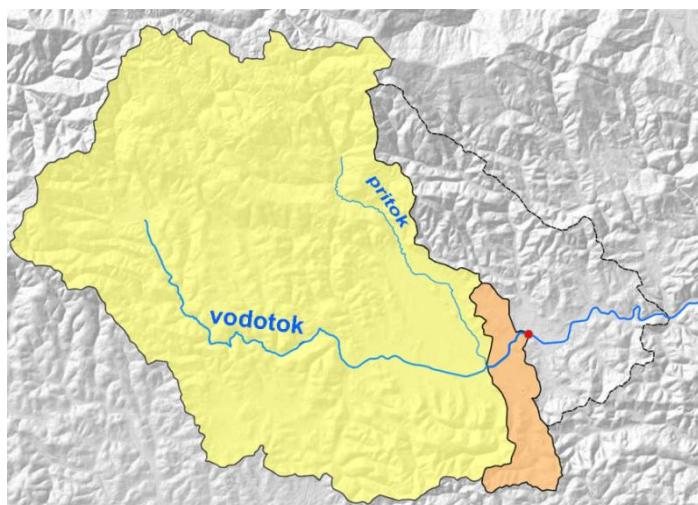
### 6.4.1 Spremenljivke tipologije

Naravne značilnosti rek smo opisali s tipološkimi spremenljivkami rek v Sloveniji. Tipološke spremenljivke, ki smo jih uporabili, so bile vključene v razvoj tipologije rek v Sloveniji v skladu zahtevami vodne direktive na podlagi analiz neobremenjenih odsekov rek v Sloveniji (UL EU, 2000; Urbanič, 2008b; Urbanič, 2011). Poleg spremenljivk tipologije *vpliv kraškega izvira in meandriranje rek*, s katerima smo razlikovali med kraškimi in nekraškimi rekami, smo uporabili nadmorsko višino, naklon terena, velikost

prispevne površine, koncentracijo kalcija v vodi, koncentracijo magnezija v vodi in alkaliteto vode. Približno povsod v Sloveniji je prevladujoča geološka podlaga prispevnih območij rek v močni korelaciji z alkalitetom vode, vsebnostjo kalcija in vsebnostjo magnezija v vodi (Urbanič, 2008a;b).

#### 6.4.2 Raba tal prispevnega območja rek

Za ugotavljanje povezav med rabo tal in razmerami v rekah smo določili območja prispevnih površin. Za vsako mesto vzorčenja smo določili območje skupnih prispevnih površin (SPP) in območje neposrednih prispevnih površin (NPP) (Slika 11). Območje SPP je celotna prispevna površina vodotoka od mesta vzorčenja do izvira. Območje NPP obsega del SPP od mesta vzorčenja do priključitve pritoka, ki najbolj neposredno vpliva na razmere na mestu vzorčenja. Za določitev območij NPP in SPP smo uporabili kartografski sloj hidrogeografskih območij (HGO) največje razpoložljive natančnosti (IV. red natančnosti) (ARSO, 2007a).



Slika 11. Skica območij skupnih prispevnih površin (rumeno in oranžno) in neposrednih prispevnih površin (oranžno) mesta vzorčenja (rdeča točka) vodotoka (Pavlin, 2011).

Figure 11. A sketch of a catchment area (orange and yellow) and subcatchment area (marked in orange) of a river-sampling site (marked in red) (Pavlin, 2011).

Nato smo za mesta vzorčenja določili rabo tal na območjih SPP in NPP po programu evropske komisije CORINE (angl. *Coordination of information on the environment*) iz kartografskega sloja pokrovnost tal CORINE Land Cover (CLC, 2007). Za vsako od

območij SPP in NPP smo izračunali deleže površin naslednjih štirih kategorij zemljišč: naravne površine (razred CLC 3, 4 in 5), urbane površine (razred CLC 1), ekstenzivne kmetijske površine (kategorije CLC 2.3.1, 2.4.3 in 2.4.4) in intenzivne kmetijske površine (kategorije CLC 2.1, 2.2, 2.4.1 in 2.4.2).

#### **6.4.3 Fizikalno-kemijske in hidromorfološke spremenljivke**

Fizikalno-kemijske spremenljivke so bile izmerjene v skladu s Pravilnikom o monitoringu kemijskega stanja površinskih voda (UL RS, 2002) in Pravilnikom o monitoringu stanja površinskih voda (UL RS, 2009). Meritve osnovnih fizikalno-kemijskih spremenljivk (temperature vode, koncentracije raztopljenega kisika, nasičenosti vode s kisikom, pH in električne prevodnosti), ocene deležev anorganskega in organskega substrata po sistemu AQEM (2002) ter ocene deležev tipov vodnega toka na mestu vzorčenja (Preglednica 10) so bile opravljene istočasno z vzorčenjem bentoških nevretenčarjev. Podatke o ostalih fizikalno-kemijskih spremenljivkah smo pridobili s fizikalno-kemijskimi analizami vzorcev vode v laboratoriju (Preglednica 11).

Za statistične analize smo izbrali tiste okoljske spremenljivke, za katere smo imeli podatke za vsaj pet bioloških vzorcev ( $n \geq 5$ ). Zaradi majhnih deležev smo nekatere kategorije substratov združili (kategoriji psamopelal in pelal ter kategoriji ksilal in CPOM). V statističnih analizah smo uporabili 51 okoljskih spremenljivk, ki smo jih razvrstili v skupine spremenljivk tipologija (T), raba tal (L), značilnosti mikrohabitata (M) in kakovost vode (Q) (Preglednica 11). S spremenljivkami iz skupine tipologija smo opisali naravne značilnosti, ki vplivajo na variabilnost združbe na ravni vodotoka ali odseka vodotoka. Razmere v zaledju smo opisali s spremenljivkami iz skupine raba tal na dveh prostorskih ravneh, in sicer na ravni celotnega prispevnega območja (angl. *catchment*) in na ravni neposrednega prispevnega območja (angl. *subcatchment*) (Pavlin in sod., 2011). Določili smo skupini spremenljivk značilnosti mikrohabitata in kakovost vode (kemijske značilnosti vode), ki odražajo razmere v vodotokih na lokalni ravni (raven mesta vzorčenja). Spremenljivke, ki smo jih upoštevali v skupini kakovost vode so tiste, ki odražajo obremenjevanje z organskimi snovmi (TOC, nasičenost vode s kisikom,  $BPK_5$ ), evtrofikacije (ortofosfat, skupni fosfor, amonij, nitrit, nitrat in skupni dušik) ali druge tipe obremenjevanj (sulfat, klorid, skupne suspendirane snovi). V skupini značilnosti mikrohabitata so deleži organskega in anorganskega substrata, tipov tokov na mestu vzorčenja in razred HM spremenjenosti mesta vzorčenja.

Preglednica 10. Kategorije anorganskih in organskih substratov ter tipov vodnih tokov (AQEM, 2002; Urbanič in Toman, 2003; Urbanič in sod., 2005; Urbanič, 2014).

Table 10. Inorganic and organic substrate and flow type categories used for benthic invertebrate sampling (AQEM, 2002; Urbanič and Toman, 2003; Urbanič e tal., 2005; Urbanič, 2014).

| <i>Anorganski substrat</i>   | <i>Opis</i>                       |
|------------------------------|-----------------------------------|
| Megalital (>40 cm)           | Skale, živa skala                 |
| Makrolital (>20 cm do 40 cm) | Veliki kamni                      |
| Mezolital (>6 cm do 20 cm)   | Majhni kamni                      |
| Mikrolital (>2 cm do 6 cm)   | Prod                              |
| Akal (>0.2 cm do 2 cm)       | Gramoz                            |
| Psamal (>6 µm do 2 mm)       | Pesek                             |
| Psamopelal (<2 mm)           | Pesek z muljem                    |
| Pelal (<6 µm)                | Mulj(vključno z organskim muljem) |
| Argilal                      | Ilovica, glina                    |

| <i>Organski substrat</i>            |  |
|-------------------------------------|--|
| Makroalge                           | Nitaste alge, kosmi alg  |
| Submerzni makrofiti                 | Makrofiti, vključno z mahovi in parožnicami  |
| Emergentni makrofiti                | Šaši, trst, rogoz, ježki itd.  |
| Živi deli kopenskih rastlin         | Majhne korenine, plavajoči deli obrežne vegetacije   |
| Ksilal (les)                        | Debla, veje, odmrle korenine   |
| Veliki odmrli organski delci (CPOM) | Odloženi organski delci >1 mm; npr. odpadlo listje, iglice   |
| Drobni odmrli organski delci (FPOM) | Odloženi organski delci v velikosti od 0,45 µm do 1 mm   |
| Saprofitske makrobakterije in glice | Saprofitske bakterije ( <i>Sphaerotilus</i> , <i>Beggiatoa</i> , <i>Thiothrix</i> ) in glice ( <i>Leptomitus</i> ) |
| Naplavine                           | Organske in anorganske snovi odložene v pršnem pasu zaradi spremnjanja gladine vode (npr. lupine polžev in školjk) |

| <i>Tip vodnega toka</i>      |  |
|------------------------------|--|
| Prelivanje                   | Preliv vode v stiku s substratom (kaskada)                                 |
| Lomljeni stoječi valovi      | Peneči valovi (bela voda)  |
| Nelomljeni stoječi valovi    | Valovi, ki se ne penijo  |
| Kaotični tok                 | Kombinacija treh ali več tipov tokov brez urejenega vzorca                 |
| Rahlo valovanje              | Vodna gladina je brez stoječih valov, voda teče navzdol s skodrano gladino |
| Kipenje                      | Gladina se lomi, kot da bi spodaj izvirala voda                            |
| Lateralno premikajoči valovi | Valovanje ob robu omočenega dela struge                                    |
| Gladki tok (drsenje)         | Zaznaven tok je gladek, brez vrtincev                                      |
| Ni opaznega toka             | Voda navidezno ne teče oz. stoji (zatoni, zajezitve in mrtvice)            |

Preglednica 11. Seznam okoljskih spremenljivk, uporabljenih v kanoničnih analizah, po skupinah okoljskih spremenljivk z oznakami, enotami in uporabljenimi transformacijami.

Table 11. A list of environmental variables used in canonical analyses by groups of environmental variables with labels, units and transformations used.

| Skupina spremenljivke<br>(Oznaka skupine) | Spremenljivka   | Enota                                | Oznaka | Transformacija |
|---|---|--------------------------------------|--------|----------------|
| TIPOLOGIJA<br>(T)                         | Vpliv kraškega izvira (n)                             | -                                    | KI     | -              |
|   | Meandriranje (n)                                      | -                                    | Mean   | -              |
|   | Nadmorska višina                                      | m                                    | NMV    | ln ( x+1)      |
|   | Naklon  | %                                    | Naklon | ln ( x+1)      |
|   | Velikost prispevne površine (razred)                  | -                                    | VPP    | -              |
|   | Kalcij  | mg Ca <sup>2+</sup> /L               | Ca     | ln ( x+1)      |
|   | Magnezij  | mg Mg <sup>2+</sup> /L               | Mg     | ln ( x+1)      |
|   | Alkaliteta  | μeqv/L                               | Alk    | ln ( x+1)      |
| RABA TAL<br>(L)                           | <i>Raba tal - neposredne prispevne površine (NPP)</i> |                                      |        |                |
|   | Urbane površine                                       | %                                    | URB_n  | arcsin√x       |
|   | Naravne površine                                      | %                                    | NAR_n  | arcsin√x       |
|   | Intenzivno kmetijstvo                                 | %                                    | Ikm_n  | arcsin√x       |
|   | Ekstenzivno kmetijstvo                                | %                                    | Ekm_n  | arcsin√x       |
|   | <i>Raba tal - skupne prispevne površine (SPP)</i>     |                                      |        |                |
|   | Urbane površine                                       | %                                    | URB_s  | arcsin√x       |
|   | Naravne površine                                      | %                                    | NAR_s  | arcsin√x       |
|   | Intenzivno kmetijstvo                                 | %                                    | Ikm_s  | arcsin√x       |
|   | Ekstenzivno kmetijstvo                                | %                                    | Ekm_s  | arcsin√x       |
| KAKOVOST<br>VODE<br>(Q)                   | pH  | -                                    | pH     | ln ( x+1)      |
|   | Prevodnost (pri 25°C)                                 | µS/cm                                | Prev25 | ln ( x+1)      |
|   | Koncentracija v vodi raztopljenega kisika             | mg O <sub>2</sub> /L                 | O2     | ln ( x+1)      |
|   | Nasičenost vode s kisikom                             | %                                    | Sat    | ln ( x+1)      |
|   | Skupne suspendirane snovi                             | mg TSS/L                             | TSS    | ln ( x+1)      |
|   | BPK <sub>5</sub>                                      | mg O <sub>2</sub> /L                 | BPK    | ln ( x+1)      |
|   | Skupni organski ogljik (TOC)                          | mg/L                                 | TOC    | ln ( x+1)      |
|   | Skupni fosfor   | µg P/L                               | Ptot   | ln ( x+1)      |
|   | Ortofosfat  | µg PO <sub>4</sub> -P/L              | PO4_P  | ln ( x+1)      |
|   | Skupni dušik  | mg N/L                               | Ntot   | ln ( x+1)      |
|   | Amonij  | mg NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N/L | NH4_N  | ln ( x+1)      |
|   | Nitrit  | mg NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N/L | NO2_N  | ln ( x+1)      |
|   | Nitrat  | mg NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N/L | NO3_N  | ln ( x+1)      |
|   | Sulfat  | mg SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> /L  | SO4    | ln ( x+1)      |
|   | Klorid  | mg Cl <sup>-</sup> /L                | Cl     | ln ( x+1)      |

se nadaljuje  
 to be continued

nadaljevanje.

continued.

| Skupina spremenljivke<br>(Oznaka skupine) | Spremenljivka                          | Enota | Oznaka  | Transformacija    |
|---|--|-------|---------|-------------------|
| ZNAČILNOSTI                               |  |       |         |                   |
| MIKROHABITAT A (M)                        | Hidromorfološka spremenjenost (razred) | -     | HM_cl   | -                 |
|   | Megalital                              | %     | Meg     | arcsin $\sqrt{x}$ |
|   | Makrolital                             | %     | Mak     | arcsin $\sqrt{x}$ |
|   | Mezolital                              | %     | Mez     | arcsin $\sqrt{x}$ |
|   | Mikrolital                             | %     | Mik     | arcsin $\sqrt{x}$ |
|   | Akal                                   | %     | Aka     | arcsin $\sqrt{x}$ |
|   | Psamal                                 | %     | Psa     | arcsin $\sqrt{x}$ |
|   | Psamopelal in pelal                    | %     | Psp_Pel | arcsin $\sqrt{x}$ |
|   | Argilal                                | %     | Arg     | arcsin $\sqrt{x}$ |
|   | Makroalge                              | %     | MA      | arcsin $\sqrt{x}$ |
|   | Makrofiti                              | %     | MF      | arcsin $\sqrt{x}$ |
|   | Živi deli kopenskih rastlin            | %     | ZDKR    | arcsin $\sqrt{x}$ |
|   | Ksilal in CPOM                         | %     | Ksi_CPO |                   |
|   | Prelivanje                             | %     | M       | arcsin $\sqrt{x}$ |
|   | Lomljeni stoječi valovi                | %     | Prel    | arcsin $\sqrt{x}$ |
|   | Nelomljeni stoječi valovi              | %     | Lstoj   | arcsin $\sqrt{x}$ |
|   | Rahlo valovanje                        | %     | NLstoj  | arcsin $\sqrt{x}$ |
|   | Lateralni tok                          | %     | RV      | arcsin $\sqrt{x}$ |
|   | Gladki tok                             | %     | LT      | arcsin $\sqrt{x}$ |
|   | Ni opaznega toka                       | %     | GT      | arcsin $\sqrt{x}$ |
|   |  |       | NOT     | arcsin $\sqrt{x}$ |

## 6.5 STATISTIČNE ANALIZE

### 6.5.1 Analiza strukturnih in funkcionalnih značilnosti združb ličink EPT v povezavi z naravnimi značilnostmi in stopnjo obremenitve rek

Podobnost v taksonomski sestavi in številčnosti ličink EPT med vzorci smo ugotavljali glede na tipološke značilnosti rek (med kraškimi in nekraškimi rekami), stopnjo obremenitve rek (med neobremenjenimi in obremenjenimi rekami) ter glede na stopnjo obremenitve kraških in nekraških rek (med neobremenjenimi kraškimi, obremenjenimi kraškimi, neobremenjenenimi nekraškimi in obremenjenenimi nekraškimi rekami) bioregije Preddinarska hribovja in ravnine. Uporabili smo gradientno metodo nemetričnega multidimenzionalnega skaliranja (NMS), ki je najustreznejša metoda za prikaz podobnosti med vzorci na osnovi nesimetrično porazdeljenih podatkov, npr. številčnosti (abundanc) taksonov (Clarke in Warwick, 2001). Metodo NMS smo uporabili zato, ker smo želeli dejanske razdalje med vzorci ličink EPT, prikazati v dveh ali treh dimenzijah. Ustreznost prikazanih razdalj glede na dejanske razdalje med vzorci smo ugotovili s faktorjem stresa.

Ustrezni prikaz razdalj zagotovimo s faktorjem stresa < 0,2 (Clarke in Warwick, 2001). Da smo zagotovili faktor stresa < 0,2 smo na ordinacijskem diagramu izbrali tri osi. Na ordinacijskem diagramu so vzorci, podobni po taksonomski sestavi in številčnosti, razporejeni blizu skupaj, različni pa narazen. Za izračun podobnosti med vzorci ličink EPT smo uporabili Bray-Curtisov koeficient različnosti (Bray in Curtis, 1957). Za asimetrično razporejene vrednosti abundanc (običajno prevladujejo vrednosti nič) je Bray-Curtisov koeficient različnosti najbolj primeren izračun podobnosti med biološkimi vzorci (Clarke in Warwick, 2001). Bray-Curtisove podobnosti med vzorci ličink EPT smo izračunali na podlagi abundanc taksonov ličink EPT, ki smo jih log ( $x+1$ ) transformirali. S to transformacijo smo zmanjšali vpliv zelo pogostih taksonov v vzorcih (Clarke in Warwick, 2001). Analizo NMS smo naredili v programske paketu Past 2.08 (Hammer in sod., 2001).

Za analizo statistične značilnosti razlik v sestavi združb in številčnosti ličink EPT med seti bioloških vzorcev smo uporabili neparametrično permutacijsko multivariatno analizo variance PERMANOVA (angl. *Permutational multivariate analysis of variance*; Anderson, 2001). PERMANOVA je metoda, s katero ugotavljamo razlike v sestavi združb in številčnosti organizmov glede na različne dejavnike teh razlik in njihove interakcije hkrati (Anderson, 2001). V analizi PERMANOVA statistično značilnost ( $p$  – vrednost) pridobimo s permutacijami. Uporabili smo dvosmerno permutacijsko multivariatno analizo variance (angl. *two-way PERMANOVA*) za analizo statistične značilnosti razlik v sestavi in številčnosti združb ličink EPT glede na tipološke značilnosti rek (kraške oz. nekraške reke), stopnjo obremenitve rek (neobremenjene oz. obremenjene reke) ter glede na interakcijo tipoloških značilnosti in stopnje obremenitve rek. Analize PERMANOVA smo naredili s paketom *vegan* v programskem jeziku R (R Development Core Team, 2012) in v programskem okolju RStudio (RStudio, 2012).

S pomočjo analize indikatorskih vrst IndVal (angl. *Indicator Species Analysis*; Dufrêne in Legendre, 1997) smo ugotavljali taksone ličink EPT, ki so značilni za določen tip rek, za določeno stopnjo obremenitve rek in za določeno stopnjo obremenitve posameznih tipov rek. Prepoznani indikatorski taksoni so največ prispevali k razlikam v sestavi združb ličink EPT zaradi razlik v tipoloških značilnostih in/ali stopnji obremenitve rek bioregije Preddinarska hribovja in ravnine. Metoda IndVal temelji na izračunu indikatorske vrednosti ( $IndVal_{ij}$ ) na podlagi podatkov o številčnosti in pogostosti taksonov za vsak

takson  $i$  znotraj skupine vzorcev  $j$  (Dufrêne in Legendre, 1997). Indikatorske taksone smo ugotavljali za kraške reke, nekraške reke, obremenjene reke, neobremenjene reke, neobremenjene kraške, obremenjene kraške, neobremenjene nekraške in obremenjene kraške reke. Za izračun vrednosti  $IndVal_{ij}$  smo za vsak takson  $i$  v skupini vzorcev  $j$  izračunali povprečno abundanco taksona  $i$  ( $A_{ij}$ ) in relativno pogostost prisotnosti taksona  $i$  v vzorcih skupine  $j$  ( $B_{ij}$ ):

$$A_{ij} = Nosebkov_{ij}/Nosebkov_i$$

$$B_{ij} = Nvzorcev_{ij}/Nvzorcev_j$$

$$IndVal_{ij} = A_{ij} * B_{ij} * 100$$

Statistične značilnosti vrednosti  $IndVal_{ij}$  (p) smo izračunali na podlagi 9999 permutacij vzorcev (Bakker, 2008). V analizi  $IndVal$  so upoštevani taksoni, ki so prisotni v  $\geq 4$  vzorcih. Upoštevanje prisotnosti v  $\geq 3-5$  vzorcih za ugotavljanje indikatorskih taksonov raziskovalci priporočajo (npr. King in Bakker, 2010). Za določitev indikatorskih taksonov in izračun indikatorskih vrednosti taksonov ( $IndVal_{ij}$ ) smo uporabili paket *labdsv* programskega jezika R (R Development Core Team, 2012) v programskem okolju RStudio (RStudio, 2012).

Zaradi razlik v številu vzorcev ličink EPT med seti smo pestrost taksonov primerjali s pomočjo krivulj kopičenja vrst (angl. *species accumulation curves*) (Ugland in sod., 2003; Kindt in Coe, 2005). Kadar je število bioloških vzorcev v setih različno, je to lahko vzrok za navidezno razliko v vrstni pestrosti, ne pa dejanska razlika v vrstni pestrosti med seti bioloških vzorcev (Kindt in Coe, 2005). S krivuljami kopičenja vrst ovrednotimo, kako se število vrst povečuje z večanjem števila bioloških vzorcev. Število vrst v združbi običajno narašča z večanjem števila vzorcev do določene vrednosti, ko krivulja kopičenja vrst doseže asimptoto (Ugland in sod., 2003; Kindt in Coe, 2005). V setih smo imeli različno število vzorcev ličink EPT, zato smo med seti vzorcev primerjali povprečno število vrst v setih in ne skupnega števila vrst v setih vzorcev (Kindt in Coe, 2005). Povprečno število taksonov smo izračunali kot povprečje števila taksonov za kombinacije  $n$ -tega števila bioloških vzorcev z naključnim izbiranjem (randomizacijami) vzorcev iz nabora  $n$  (angl. *sample-based accumulation curves*; Gotteli in Colwell, 2001). Za izračun krivulje smo uporabili 999 naključnih izbir vzorcev. Krivulje smo izračunali v programskem paketu EstimateS 8.2 (Colwell, 2013). Za vsak set ločeno smo ugotavljali korelacijo med

povprečnim številom EPT taksonov in logaritmiranim številom vzorcev z linearno regresijsko premico. Za primerjavo naklonov regresijskih premic posameznih setov vzorcev smo uporabili analizo kovariance (angl. *analysis of covariance*; ANCOVA), ki smo jo naredili v programskemu paketu Past 2.08 (Hammer in sod., 2001).

Običajno ne povzorčimo celotnega območja raziskovanja. Z izračunom pričakovanega števila taksonov ugotovimo, ali je na raziskovanem območju več taksonov, kot smo jih ugotovili v raziskavi (Kindt in Coe, 2005). Za sete bioloških vzorcev smo v programskemu paketu EstimateS 8.2 izračunali pričakovano število taksonov EPT z različnimi cenilkami vrstne pestrosti: Jackknife 1. in 2. reda, Chao 1. in 2. reda ter Bootstrap (Colwell, 2013). Izračuni cenilk temeljijo na različnih matematičnih metodah in predvidevanjih kopiranja števila vrst s številom vzorcev (Kindt in Coe, 2005). Natančnost posameznih cenilk vrstne pestrosti nismo mogli preveriti, zato smo upoštevali vse cenilke vrstne pestrosti (Kindt in Coe, 2005).

### **6.5.2 Primerjava vrednosti metrik glede na tipološke značilnosti in stopnjo obremenitve rek**

Primerjava vrednosti posameznih metrik glede na tipološke značilnosti in stopnjo obremenitve rek smo naredili z neparametričnim Mann-Whitney U testom (Mann in Whitney, 1947). Ugotavljeni smo statistično značilne razlike ( $p < 0,05$ ) v vrednostih metrik med kraškimi in nekraškimi rekami, med obremenjenimi in neobremenjenimi rekami ter med obremenjenimi in neobremenjenimi rekami posameznih tipov rek bioregije Preddinarska hribovja in ravnine. Variabilnost vrednosti bioloških metrik glede na tipološke značilnosti in stopnjo obremenitve rek smo prikazali z box-plot diagrami. Za opisne statistike, neparametrične teste in grafične prikaze smo uporabili programski paket SPSS 20.0 (IBM, 2011). Med vrednostmi izbranih metrik smo izračunali soodvisnost ali korelacijo (Spearmanov korelačijski koeficient,  $r_s$ ). Korelacije smo ugotavljali med pari metrik iz istih skupin metrik in med pari metrik iz različnih skupin metrik v a) rekah bioregije Preddinarska hribovja in ravnine, ter posebej v b) kraških rekah bioregije Preddinarska hribovja in ravnine in c) nekraških rekah bioregije Preddinarska hribovja in ravnine. Korelacije smo izračunali v programskemu paketu SPSS 20.0 (IBM, 2011).

### **6.5.3 Analiza povezav med združbami ličink EPT in okoljskimi spremenljivkami**

Povezave med okoljskimi spremenljivkami in variabilnostjo združb ličink EPT, ki se nanaša na variabilnost v sestavi, razporeditvi in številčnosti ličink EPT, smo ugotavljali v treh setih podatkov: a) reke bioregije Preddinarska hribovja in ravnine, b) kraške reke bioregije Preddinarska hribovja in ravnine ter c) nekraške reke bioregije Preddinarska hribovja in ravnine. Posamezen set podatkov smo prikazali z matriko taksonov EPT in matriko okoljskih spremenljivk (Slika 12). Podatke o številčnosti taksonov smo uredili v matrike taksonov za vse tri sete podatkov ločeno. V matrikah taksonov smo upoštevali vse taksone EPT, ki smo jih ugotovili. Podatke o vrednostih okoljskih spremenljivk smo uredili v matrike okoljskih spremenljivk. Matrike okoljskih spremenljivk so predstavljale spremenljivke, ki smo jih razvrstili v skupine: tipologija, raba tal, kakovost vode in značilnosti mikrohabitata (Preglednica 13; Slika 12). Soodvisnost med okoljskimi spremenljivkami smo ugotavljali po posameznih setih podatkov na podlagi izračuna korelacij (Spearmanov korelačijski koeficient,  $r_s$ ). Razporeditev in razpone vrednosti okoljskih spremenljivk smo ugotavljali z opisnimi statistikami in box plot diagrami. Za primerjavo vrednosti okoljskih spremenljivk smo uporabili neparametrični Mann – Whitney U test (Mann in Whitney, 1947). Za opisne statistike, izračune korelacij, neparametrične teste in grafične prikaze smo uporabili programski paket SPSS 20.0 (IBM, 2011).

Za ugotavljanje odnosov med združbami ličink EPT in okoljskimi spremenljivkami smo uporabili gradientne metode. Te so najpogosteje uporabljeni metodi, s katerimi ugotavljamo kakšna je variabilnost združb v povezavi z gradienti okoljskih dejavnikov (ter Braak in Prentice, 1988). Z gradientnimi metodami upoštevamo, da v naravi običajno ni jasno ločenih združb, saj se stalno spreminjajo vzdolž gradientov okoljskih dejavnikov (ter Braak, 1994; Lepš in Šmilauer, 2003). Z gradientnimi metodami na podlagi biotskih podatkov in okoljskih spremenljivk poiščemo tak okoljski gradient, ki najbolje pojasnjuje variabilnost združb organizmov (ter Braak, 1987, ter Braak in Prentice, 1988). Gradienti okoljskih dejavnikov in pojavljanje taksonov vzdolž gradientov interpretiramo s pomočjo ordinacijskih diagramov, zato te metode pogosto imenujemo tudi ordinacijske metode (Lepš in Šmilauer, 2003).

Pred uporabo gradientnih metod smo vrednosti abundanc in okoljskih spremenljivk ustrezzo transformirali. Podatke o abundancah taksonov smo transformirali z logaritemsko funkcijo  $\ln(x+1)$ . S tem smo zmanjšali vpliv zelo številčnih oziroma dominantnih taksonov na rezultate analiz (Clarke in Warwick, 2001; Jongman in sod., 2005). Z različnimi transformacijskimi enačbami smo iz asimetrične razporeditve vrednosti kvantitativnih okoljskih spremenljivk pridobili bolj enakomerno razporeditev (Preglednica 13). Kadar smo vrednosti podali v odstotkih, smo uporabili funkcijo  $\text{arcsin}\sqrt{x}$  in  $\ln(x+1)$  za kvantitativne vrednosti (Legendre in Legendre, 1998; Johnson in sod., 2007). Semikvantitativnih (kategoričnih; npr. velikost prispevne površine) in kvalitativnih (nominalnih; npr. tip vodotoka) podatkov nismo pretvarjali.

S korespondenčno analizo z odstranjenim trendom (angl. Detrended Correspondence Analysis; DCA; Hill in Gauch, 1980) smo ugotavljali variabilnost združb ličink EPT v setih bioloških vzorcev na podlagi vrednosti najdaljšega gradiента. S pomočjo vrednosti najdaljšega gradienta se odločimo, katere od gradientnih metod so najbolj primerne za set podatkov (Lepš in Šmilauer, 2003). Izbirali smo med metodami s predpostavljenim unimodalnim odnosom med okoljskim gradienptom in taksoni in metodami s predpostavljenim linearnim odnosom. Dolgi gradieni označujejo heterogeno združbo, kar pomeni, da se sestava in številnost združb močno spreminja vzdolž gradientov okoljskih dejavnikov. Z metodo DCA smo ugotovili dolge gradiente ( $>3$  standardne deviacije) za vse sete vzorcev ličink EPT. Na podlagi izračunanih gradientov smo izbrali metode s predpostavljenim unimodalnim odnosom taksonov do okoljskih gradientov (Lepš in Šmilauer, 2003; Johnson in sod., 2007). Izbrali smo kanonično korespondenčno analizo (angl. Canonical Correspondence Analysis; CCA; ter Braak in Prentice, 1988) in parcialno kanonično korespondenčno analizo (angl. Partial Canonical Correspondence Analysis; pCCA; Borcard in sod., 1992).

Z metodo CCA smo ugotavljali, koliko variabilnosti matrike taksonov EPT pojasnimo z okoljskimi spremenljivkami iz posameznih skupin okoljskih spremenljivk v rekah bioregije Preddinarska hribovja in ravnine ter v posameznih tipih rek (kraške in nekraške reke) bioregije Preddinarska hribovja in ravnine (Slika 12). Analizo CCA smo naredili po metodi izbiranja spremenljivk (FS, angl. *forward selection*). Z metodo izbiranja smo za vsako spremenljivko izračunali delež pojasnjene variabilnosti matrike taksonov pred izbiranjem ( $\lambda_1$ ) (angl. *marginal effect*) in po izbiranju ( $\lambda_a$ ) (angl. *conditional effect*)

spremenljivk. Vrednost  $\lambda_1$  je količina variabilnosti matrike taksonov, ki jo pojasni posamezna spremenljivka neodvisno od drugih spremenljivk. Vrednost  $\lambda_a$  je količina variabilnosti matrike taksonov, ki jo spremenljivka pojasni odvisno od ostalih predhodno izbranih spremenljivk (Lepš in Šmilauer, 2003). Da smo lahko primerjali pomembnost okoljskih spremenljivk med seti bioloških vzorcev, smo za vse spremenljivke izračunali relativni delež pojasnjene variabilnosti matrike taksonov, ki je izračunana kot kvocient vrednosti  $\lambda_1$  posamezne spremenljivke v skupini spremenljivk in  $\lambda_{1\max}$ . Vrednost  $\lambda_{1\max}$  je največja vrednost variabilnosti matrike taksonov, pojasnjena z določeno spremenljivko v posamezni skupini spremenljivk.

Z metodo pCCA smo ugotavljali vpliv in prekrivanje vpliva dveh ali več skupin okoljskih spremenljivk na variabilnost matrike taksonov EPT (Borcard in sod., 1992; Lepš in Šmilauer, 2003) (Slika 12). Metoda pCCA je nadgradnja metode CCA in omogoča ugotavljanje vpliva posamezne skupine spremenljivk na variabilnost matrike taksonov ob upoštevanju ostalih skupin spremenljivk kot sospremenljivke (angl. *covariables*, *covariates*) (Johnson in sod., 2007). Spremenljivkam, ki jih v analizi upoštevamo kot sospremenljivke, odstranimo vpliv, tako da lahko ugotovimo količino variabilnosti matrik taksonov, ki jo pojasnimo samo s posamezno od dveh ali treh matrik okoljskih spremenljivk in količino variabilnosti, ki jo pojasnimo z dvema ali tremi matrikami okoljskih spremenljivk hkrati (Øakland in Eilersten, 1994). V analize pCCA smo iz vsake matrike okoljskih spremenljivk vključili samo tiste spremenljivke, s katerimi smo statistično značilno ( $p < 0,05$ ) pojasnili variabilnost matrike taksonov z metodo FS in so bile med sabo v čim manjši korelaciji (Slika 12, korak 1). Z metodo FS smo iz vsake skupine spremenljivk izbrali tako kombinacijo okoljskih spremenljivk, s katero smo najbolje pojasnili variabilnost matrike taksonov in izločili del variabilnosti, ki ga spremenljivke pojasnjujejo zaradi naključja (Urbanič, 2004). Z neupoštevanjem spremenljivk, ki variabilnosti matrike taksonov ne pojasnjujejo statistično značilno, smo se izognili možnosti, da bi precenili delež pojasnjene variabilnosti (Borcard in sod., 1992; Øakland in Eilertsen, 1994). Statistično značilnost pojasnjene variabilnosti matrike taksonov smo preverili z Monte Carlo permutacijskimi testi. Izbrali smo 9999 naključnih permutacij (angl. *unrestricted permutations*) (Lepš in Šmilauer, 2003).

Za vsako skupino spremenljivk smo izračunali delež pojasnjene variabilnosti ( $R^2$ ) (Borcard in sod., 1992) z izbranimi spremenljivkami, ki statistično značilno ( $p < 0,05$ ) pojasnjujejo

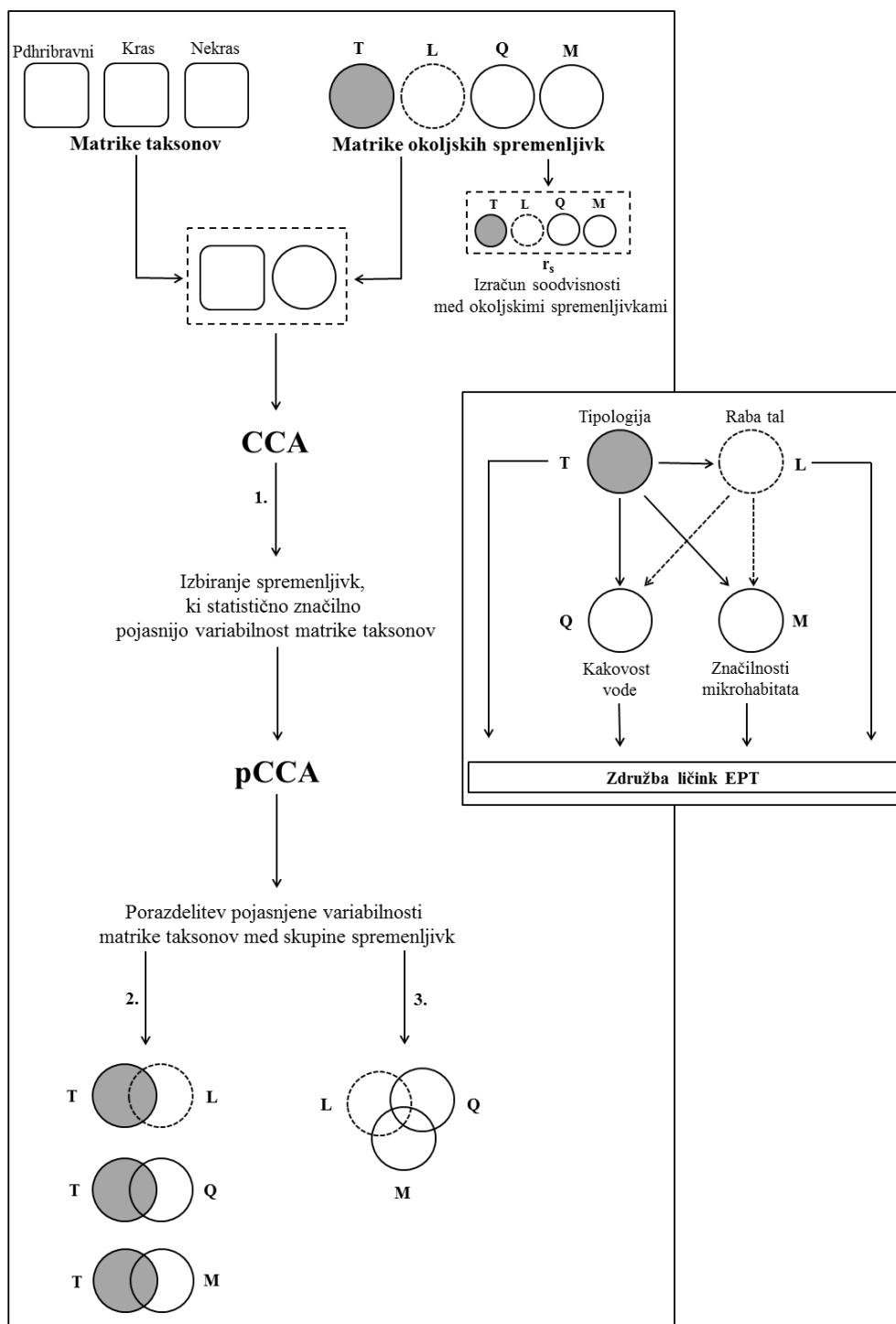
variabilnost matrike taksonov EPT. Ker na rezultate pCCA vpliva število bioloških vzorcev in število neodvisnih spremenljivk, vključenih v model (Kromrey in Hines, 1995), smo izračunali Eizekielovo prilagojeno cenilko za delež pojasnjene variabilnosti matrike taksonov ( $R^2_{adj}$ ) (Peres-Neto in sod., 2006):

$$R^2_{adj} = 1 - \frac{n-1}{n-p-1} (1 - R^2);$$

kjer je n število bioloških vzorcev, p število pojasnjevalnih spremenljivk v setu podatkov,  $R^2$  cenilka pojasnjene variabilnosti  $\rho^2$  matrike taksonov. Odnos med  $R^2$  in  $R^2_{adj}$  smo ugotavljali z linearno regresijsko premico. Če se razmerja s skupinami spremenljivk pojasnjene variabilnosti matrike taksonov ob upoštevanju števila vzorcev in števila neodvisnih spremenljivk ohranijo, lahko v analizi uporabimo vrednosti  $R^2$  (Pavlin, 2012).

Z analizami pCCA smo ugotavljali delež variabilnosti matrik taksonov EPT, ki jo pojasnimo: a) z dvema skupinama spremenljivk: tipologija in raba tal, tipologija in značilnosti mikrohabitata, ter tipologija in kakovost vode (Slika 12; korak 2); b) s tremi skupinami spremenljivk: raba tal, značilnosti mikrohabitata, kakovost vode (Slika 12; korak 3). Delež pojasnjene variabilnosti smo razdelili na delež variabilnosti matrike taksonov EPT, ki ga statistično značilno ( $p < 0,05$ ) pojasnimo samo z eno matriko spremenljivk (disjunktni delež) in na delež, ki ga statistično značilno pojasnimo z dvema ali tremi matrikami spremenljivk hkrati (presečni delež).

Za gradientne analize smo uporabili programski paket CANOCO 4.5 (ter Braak in Šmilauer, 2002). V analizah CCA in pCCA smo upoštevali možnost zmanjšanja vpliva redkim taksonom (angl. *downweighting of rare species*) (Lepš in Šmilauer, 2003). Ordinacijske diagrame smo prikazali s programom CanoDraw 4.13.



Slika 12. Koraki v analizah povezav med združbami ličink EPT in okoljskimi spremenljivkami ter prikaz povezav med okoljskimi spremenljivkami upoštevanimi v modelu. T – tipologija, L – raba tal, M – značilnosti mikrohabitata, Q – kakovost vode,  $r_s$  – Spearmanov korelacijski koeficient, CCA – kanonična korespondenčna analiza, pCCA – parcialna kanonična korespondenčna analiza.

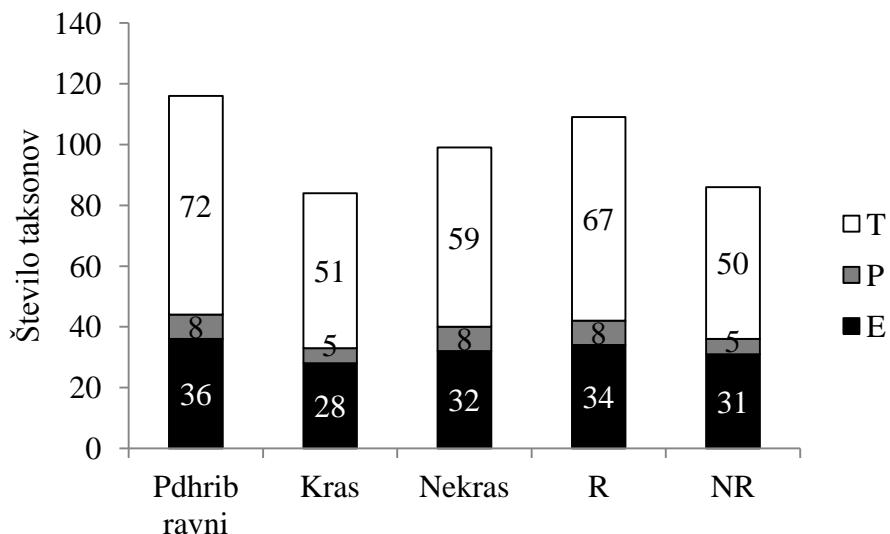
Figure 12. Procedure in the analyses of relationships among EPT larvae assemblages and environmental variables. Relations among environmental variables accounted in the model are indicated. T – typology, L – land use, M – microhabitat characteristics, Q – water quality,  $r_s$  – Spearman correlation coefficient, CCA – canonical correspondence analysis, pCCA – partial canonical correspondence analysis.

## 7 REZULTATI

### 7.1 STRUKTURNE IN FUNKCIONALNE ZAČILNOSTI ZDRUŽB LIČINK EPT V POVEZAVI Z NARAVNIMI ZNAČILNOSTMI IN STOPNJO OBREMENITVE REK

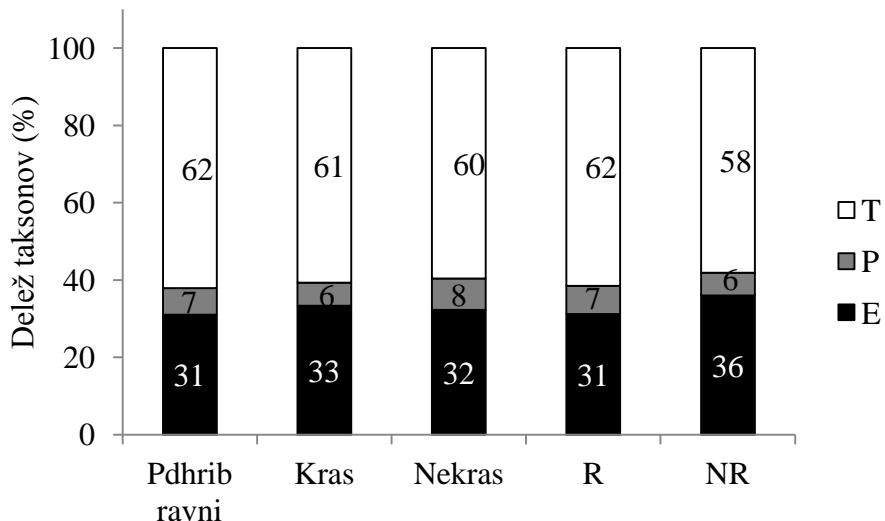
#### 7.1.1 Taksonomska sestava in številčnost

V 76 vzorcih ličink EPT s 63 mest vzorčenj v rekah bioregije Preddinarska hribovja in ravnine smo določili 116 taksonov enodnevnic, vrbnic in mladoletnic (EPT) (Preglednica 12). Največ (109) taksonov EPT smo ugotovili v neobremenjenih rekah (Slika 13). V obremenjenih rekah smo ugotovili 23 taksonov EPT manj kot v neobremenjenih rekah. Razlike v številu taksonov EPT med obremenjenimi in neobremenjenimi rekami so bile statistično značilne (Mann-Whitney U test = 203,  $p < 0,001$ ). V nekraških rekah je bilo kumulativno število taksonov EPT večje kot v kraških rekah. V nekraških rekah smo kumulativno določili 99 taksonov, v kraških pa 84 taksonov EPT. Statistično značilnih razlik v številu taksonov EPT med kraškimi in nekraškimi rekami nismo ugotovili (Mann-Whitney U test = 635,  $p > 0,05$ ). Deleži razpoznavanih taksonov enodnevnic, vrbnic in mladoletnic so bili podobni (Slika 14).



Slika 13. Število taksonov enodnevnic (E), vrbnic (P) in mladoletnic (T) v rekah bioregije Preddinarska hribovja in ravnine (Pdhribravni – reke bioregije Preddinarska hribovja in ravnine, Kras – kraške reke, Nekras - nekraške reke, R – neobremenjene reke, NR – obremenjene reke).

Figure 13. The number of Ephemeroptera (E), Plecoptera (P), and Trichoptera (T) taxa in rivers of Subdinaric hills and plains bioregion (Pdhribravni – rivers of Subdinaric hills and plains bioregion, Kras – karst rivers, Nekras – non-karst rivers, R – non-degraded rivers, NR - degraded rivers of Subdinaric hills and plains bioregion).



Slika 14. Delež taksonov enodnevnic (E), vrbnic (P) in mladoletnic (T) v rekah bioregije Preddinarska hribovja in ravnine ((Pdhrib ravni – reke bioregije Preddinarska hribovja in ravnine, Kras – kraške reke, Nekras - nekraške reke, R – neobremenjene reke, NR – obremenjene reke).

Figure 14. The portion of Ephemeroptera (E), Plecoptera (P), and Trichoptera (T) taxa in rivers of Subdinaric hills and plains bioregion (Pdhribravni – rivers of Subdinaric hills and plains bioregion, Kras – karst rivers, Nekras – non-karst rivers, R – non-degraded rivers, NR - degraded rivers).

Preglednica 12. Seznam taksonov EPT glede na prisotnost v kraških rekah (Kras), nekraških rekah (Nekras), neobremenjenih rekah (R) in obremenjenih rekah (NR) bioregije Preddinarska hribovja in ravnine (+ označuje prisotnost taksona).

Table 12. The list of EPT taxa according their occurrence in karst (Kras), non-karst (Nekras), non-degraded (R) and degraded (NR) rivers of Subdinaric hills and plains bioregion (+ the occurrence of taxon).

| Družina                  | Takson                               | Koda taksona | Set bioloških vzorcev |                  |             |              |
|--------------------------|--------------------------------------|--------------|-----------------------|------------------|-------------|--------------|
|                          |                                      |              | Kras<br>n = 31        | Nekras<br>n = 45 | R<br>n = 41 | NR<br>n = 35 |
| <b>EPHEMEROPTERA (E)</b> |                                      |              |                       |                  |             |              |
| Baetidae                 | <i>Baetis buceratus</i>              | Bae_buc      |                       | +                | +           | +            |
| Baetidae                 | <i>Baetis fuscatus</i>               | Bae_fus      | +                     | +                | +           | +            |
| Baetidae                 | <i>Baetis fuscatus/scambus</i>       | Bae_f_s      | +                     | +                | +           | +            |
| Baetidae                 | <i>Baetis liebenauae</i>             | Bae_lib      | +                     | +                | +           | +            |
| Baetidae                 | <i>Baetis lutheri</i>                | Bae_lut      |                       | +                | +           | +            |
| Baetidae                 | <i>Alainites muticus</i>             | Bae_mut      | +                     | +                | +           | +            |
| Baetidae                 | <i>Baetis rhodani</i>                | Bae_rho      | +                     | +                | +           | +            |
| Baetidae                 | <i>Baetis scambus</i>                | Bae_sca      | +                     | +                | +           | +            |
| Baetidae                 | <i>Baetis vardarensis</i>            | Bae_var      | +                     | +                | +           | +            |
| Baetidae                 | <i>Baetis vernus</i>                 | Bae_ver      | +                     | +                | +           | +            |
| Baetidae                 | <i>Baetis buceratus/vernum</i>       | Bae_b_v      | +                     | +                | +           | +            |
| Baetidae                 | <i>Centroptilum luteolum</i>         | Cen_lut      | +                     | +                | +           | +            |
| Baetidae                 | <i>Centroptilum</i> sp.              | Cen_spp      | +                     | +                | +           | +            |
| Baetidae                 | <i>Cloeon dipterum</i>               | Clo_dip      | +                     | +                | +           | +            |
| Baetidae                 | <i>Nigrobaetis niger</i>             | Bae_nig      | +                     | +                | +           | +            |
| Baetidae                 | <i>Procleon</i> sp.                  | Prc_spp      | +                     |                  | +           |              |
| Baetidae                 | <i>Pseudocentroptilum pennulatum</i> | Psu_pen      |                       | +                | +           |              |
| Caenidae                 | <i>Caenis</i> sp.                    | Cae_sppS     | +                     | +                | +           | +            |
| Ephemerellidae           | <i>Seratella ignita</i>              | Epm_ign      | +                     | +                | +           | +            |
| Ephemerellidae           | <i>Torleya major</i>                 | Epm_maj      | +                     | +                | +           | +            |
| Ephemeridae              | <i>Ephemera danica</i>               | Eph_dan      | +                     | +                | +           | +            |
| Ephemeridae              | <i>Ephemera</i> sp.                  | Eph_spp      | +                     | +                | +           | +            |
| Ephemeridae              | <i>Ephemera vulgata</i>              | Eph_vul      | +                     |                  | +           | +            |
| Heptagenidae             | <i>Ecdyonurus</i> sp.                | Ecd_spp      | +                     | +                | +           | +            |
| Heptagenidae             | <i>Electrogena</i> sp.               | Ele_spp      | +                     | +                | +           | +            |
| Heptagenidae             | <i>Epeorus</i> sp.                   | Epe_spp      |                       | +                | +           |              |
| Heptagenidae             | <i>Epeorus sylvicola</i>             | Epe_syl      |                       | +                | +           |              |
| Heptagenidae             | <i>Heptagenia sulphurea</i>          | Hep_sul      | +                     |                  |             | +            |
| Heptagenidae             | <i>Rhithrogena</i> sp.               | Rhi_spp      |                       | +                | +           |              |
| Leptophlebiidae          | <i>Habroleptoides confusa</i>        | Hab_con      | +                     | +                | +           | +            |
| Leptophlebiidae          | <i>Habrophlebia fusca</i>            | Hab_fus      | +                     |                  | +           | +            |
| Leptophlebiidae          | <i>Habrophlebia lauta</i>            | Hab_lau      | +                     | +                | +           | +            |
| Leptophlebiidae          | <i>Paraleptophlebia submarginata</i> | Pal_sub      | +                     | +                | +           | +            |
| Potamanthidae            | <i>Potamanthus luteus</i>            | Pom_let      |                       | +                | +           | +            |
| Siphlonuridae            | <i>Siphlonurus aestivialis</i>       | Sip_aes      | +                     | +                | +           | +            |
| Siphlonuridae            | <i>Siphlonurus</i> sp.               | Sip_spp      | +                     |                  | +           |              |
| <b>PLECOPTERA (P)</b>    |                                      |              |                       |                  |             |              |
| Leuctridae               | <i>Leuctra</i> sp.                   | Leu_spp      | +                     | +                | +           | +            |
| Nemouridae               | <i>Nemoura</i> sp.                   | Nem_spp      | +                     | +                | +           | +            |
| Nemouridae               | <i>Nemurella pictetii</i>            | Nemu_pic     | +                     | +                | +           | +            |

se nadaljuje  
to be continued

nadaljevanje.

continued.

| Družina                | Takson                                  | Koda taksona | Set bioloških vzorcev |                  |             |             |
|------------------------|---|--------------|-----------------------|------------------|-------------|-------------|
|                        |   |              | Kras<br>n = 31        | Nekras<br>n = 45 | R<br>n = 41 | NR<br>n= 35 |
| <b>PLECOPTERA (P)</b>  |   |              |                       |                  |             |             |
| Nemouridae             | <i>Protonemura</i> sp.                  | Prt_spp      |                       | +                | +           | +           |
| Perlidae               | <i>Perla</i> sp.                        | Pea_spp      | +                     | +                | +           |             |
| Perlodidae             | <i>Isoperla</i> sp.                     | Iso_spp      | +                     | +                | +           | +           |
| Perlodidae             | <i>Perlodes</i> sp.                     | Per_spp      |                       | +                | +           |             |
| Taeniopterygidae       | <i>Brachyptera</i> sp.                  | Brp_spp      |                       | +                | +           |             |
| <b>TRICHOPTERA (T)</b> |   |              |                       |                  |             |             |
| Beraeidae              | <i>Beraea dira</i>                      | Ber_dir      |                       | +                | +           |             |
| Beraeidae              | <i>Beraeamyia</i> sp.                   | Bem_spp      |                       | +                | +           |             |
| Beraeidae              | <i>Beraeodes minuta</i>                 | Bde_min      | +                     | +                | +           | +           |
| Brachycnemidae         | <i>Brachycentrus subnubilis</i>         | Bra_sub      | +                     | +                | +           | +           |
| Brachycnemidae         | <i>Micrasema setiferum</i>              | Mic_set      | +                     | +                | +           |             |
| Glossosomatidae        | <i>Agapetus delicatulus</i>             | Aga_del      |                       | +                | +           | +           |
| Glossosomatidae        | <i>Agapetus delicatulus/ochripes</i>    | Aga_d_o      |                       | +                | +           |             |
| Glossosomatidae        | <i>Glossosoma bifidum</i>               | Glos_bif     |                       | +                | +           |             |
| Goeridae               | <i>Goera pilosa</i>                     | Goe_pil      | +                     | +                | +           | +           |
| Goeridae               | <i>Silo nigricornis</i>                 | Sil_nig      | +                     | +                | +           | +           |
| Goeridae               | <i>Silo pallipes</i>                    | Sil_pal      |                       | +                | +           | +           |
| Goeridae               | <i>Silo piceus</i>                      | Sil_pic      |                       | +                | +           | +           |
| Goeridae               | <i>Silo</i> sp.                         | Sil_spp      |                       | +                | +           |             |
| Hydropsychidae         | <i>Cheumatopsyche lepida</i>            | Che_lep      | +                     | +                | +           | +           |
| Hydropsychidae         | <i>Hydropsyche angustipennis</i>        | Hyd_ang      | +                     | +                |             | +           |
| Hydropsychidae         | <i>Hydropsyche bulbifera</i>            | Hyd_bul      | +                     | +                | +           | +           |
| Hydropsychidae         | <i>Hydropsyche dinarica</i>             | Hyd_din      | +                     |                  | +           |             |
| Hydropsychidae         | <i>Hydropsyche incognita</i>            | Hyd_inc      | +                     | +                | +           | +           |
| Hydropsychidae         | <i>Hydropsyche instabilis</i>           | Hyd_ins      |                       | +                | +           |             |
| Hydropsychidae         | <i>Hydropsyche pellucidula</i>          | Hyd_pel      | +                     | +                | +           | +           |
| Hydropsychidae         | <i>Hydropsyche saxonica</i>             | Hyd_sax      | +                     | +                | +           | +           |
| Hydropsychidae         | <i>Hydropsyche siltalai</i>             | Hyd_sil      |                       | +                | +           | +           |
| Hydropsychidae         | <i>Hydropsyche</i> sp.-juv.             | Hyd_spp      | +                     | +                | +           | +           |
| Hydroptilidae          | <i>Allotrichia pallicornis</i>          | Alo_pal      |                       | +                | +           |             |
| Hydroptilidae          | <i>Hydroptila</i> spp.                  | Hdt_sppS     | +                     | +                | +           | +           |
| Hydroptilidae          | <i>Ithytrichia lamellaris</i>           | Ith_lam      | +                     |                  | +           |             |
| Hydroptilidae          | <i>Orthotrichia</i> sp.                 | Ort_spp      | +                     |                  | +           |             |
| Lepidostomatidae       | <i>Lepidostoma hirtum</i>               | Lep_hir      | +                     | +                | +           | +           |
| Leptoceridae           | <i>Adicella</i> sp.                     | Adi_spp      |                       | +                |             | +           |
| Leptoceridae           | <i>Athripsodes albifrons</i>            | Ath_alb      |                       | +                | +           | +           |
| Leptoceridae           | <i>Athripsodes albifrons/bilineatus</i> | Ath_a_b      |                       | +                | +           |             |
| Leptoceridae           | <i>Athripsodes aterrimus</i>            | Ath_ate      | +                     |                  |             | +           |
| Leptoceridae           | <i>Athripsodes bilineatus</i>           | Ath_bil      | +                     | +                | +           | +           |
| Leptoceridae           | <i>Athripsodes cinereus</i>             | Ath_cin      | +                     |                  | +           | +           |
| Leptoceridae           | <i>Ceraclea dissimilis</i>              | Cer_dis      | +                     | +                | +           | +           |
| Leptoceridae           | <i>Leptocerus interruptus</i>           | Lpt_int      |                       | +                |             | +           |
| Leptoceridae           | <i>Mystacides azurea/nigra</i>          | Mys_a_n      | +                     | +                | +           | +           |
| Leptoceridae           | <i>Mystacides azurea</i>                | Mys_azu      | +                     | +                | +           | +           |
| Leptoceridae           | <i>Mystacides longicornis</i>           | Mys_lon      | +                     |                  | +           | +           |
| Leptoceridae           | <i>Mystacides nigra</i>                 | Mys_nig      | +                     | +                | +           |             |

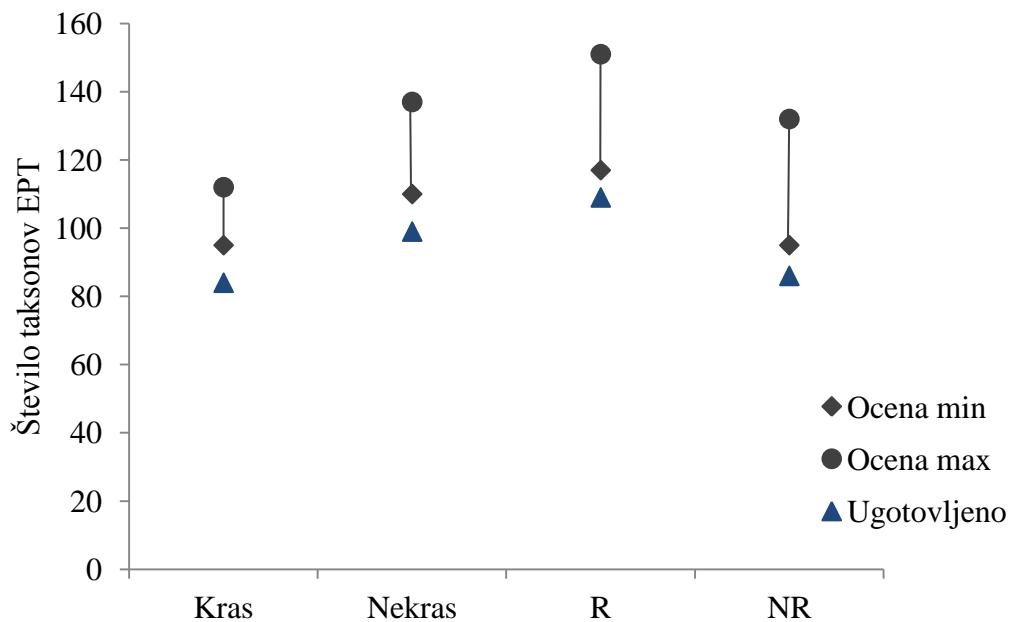
se nadaljuje  
to be continued

nadaljevanje.

continued.

| Družina                | Takson                                   | Koda taksona | Set bioloških vzorcev |                  |             |             |
|------------------------|--|--------------|-----------------------|------------------|-------------|-------------|
|                        |  |              | Kras<br>n = 31        | Nekras<br>n = 45 | R<br>n = 41 | NR<br>n= 35 |
| <b>TRICHOPTERA (T)</b> |  |              |                       |                  |             |             |
| Leptoceridae           | <i>Mystacides</i> sp.                    | Mys_spp      | +                     |                  | +           |             |
| Leptoceridae           | <i>Oecetis testacea</i>                  | Oec_tes      | +                     |                  | +           | +           |
| Limnephilidae          | <i>Anabolia furcata</i>                  | Ana_fur      | +                     | +                | +           | +           |
| Limnephilidae          | <i>Chaetopteryx fusca</i>                | Cha_fus      | +                     | +                | +           | +           |
| Limnephilidae          | <i>Ecclisopteryx guttulata</i>           | Ecc_gut      |                       | +                | +           |             |
| Limnephilidae          | <i>Halesus digitatus</i>                 | Hal_dig      |                       | +                | +           | +           |
| Limnephilidae          | <i>Halesus digitatus/tesselatus</i>      | Hal_d_t      | +                     | +                | +           | +           |
| Limnephilidae          | <i>Halesus radiatus</i>                  | Hal_rad      | +                     |                  | +           |             |
| Limnephilidae          | Limnephilinae-juv.                       | Limn_nae     | +                     | +                | +           | +           |
| Limnephilidae          | <i>Limnephilus lunatus</i>               | Lim_lun      | +                     | +                | +           | +           |
| Limnephilidae          | <i>Potamophylax cingulatus</i>           | Pot_cin      | +                     | +                | +           |             |
| Limnephilidae          | <i>Potamophylax rotundipennis</i>        | Pot_rot      | +                     | +                | +           | +           |
| Limnephilidae          | <i>Potamophylax/Acrophylax</i>           | Pot_Acr      | +                     |                  | +           |             |
| Limnephilidae          | <i>Potamophylax</i> sp.                  | Pot_spp      |                       | +                | +           |             |
| Odontoceridae          | <i>Odontocerum albicorne</i>             | Odo_alb      | +                     | +                | +           | +           |
| Philopotamidae         | <i>Philopotamus variegatus</i>           | Phi_var      |                       | +                | +           |             |
| Philopotamidae         | <i>Wormaldia subnigra</i>                | Wor_sub      | +                     | +                | +           | +           |
| Phryganeidae           | <i>Agrypnia varia</i>                    | Agri_var     | +                     | +                |             | +           |
| Phryganeidae           | <i>Phryganea bipunctata</i>              | Phg_bip      | +                     |                  | +           |             |
| Polycentropodidae      | <i>Cyrnus trimaculatus</i>               | Cyr_tri      | +                     | +                | +           | +           |
| Polycentropodidae      | <i>Plectrocnemia conspersa</i>           | Ple_con      |                       | +                | +           |             |
| Polycentropodidae      | <i>Polycentropus flavomaculatus</i>      | Pol_fla      | +                     | +                | +           | +           |
| Polycentropodidae      | <i>Polycentropus irroratus</i>           | Pol_irr      | +                     | +                | +           | +           |
| Psychomyiidae          | <i>Lype reducta</i>                      | Lyp_red      | +                     | +                | +           | +           |
| Psychomyiidae          | <i>Psychomyia klapaleki</i>              | Psy_kla      | +                     | +                | +           | +           |
| Psychomyiidae          | <i>Psychomyia pusilla</i>                | Psy_pus      | +                     | +                | +           | +           |
| Psychomyiidae          | <i>Tinodes dives</i>                     | Tin_div      | +                     |                  | +           |             |
| Psychomyiidae          | <i>Tinodes unicolor</i>                  | Tin_uni      |                       | +                | +           | +           |
| Rhyacophilidae         | <i>Rhyacophila</i> sp. sensu stricto sp. | Rhy_s_sS     | +                     | +                | +           | +           |
| Rhyacophilidae         | <i>Rhyacophila tristis</i>               | Rhy_tri      | +                     | +                | +           | +           |
| Sericostomatidae       | <i>Notidobia ciliaris</i>                | Not_cil      | +                     | +                | +           | +           |
| Sericostomatidae       | <i>Sericostoma</i> sp.                   | Ser_spp      | +                     | +                | +           | +           |

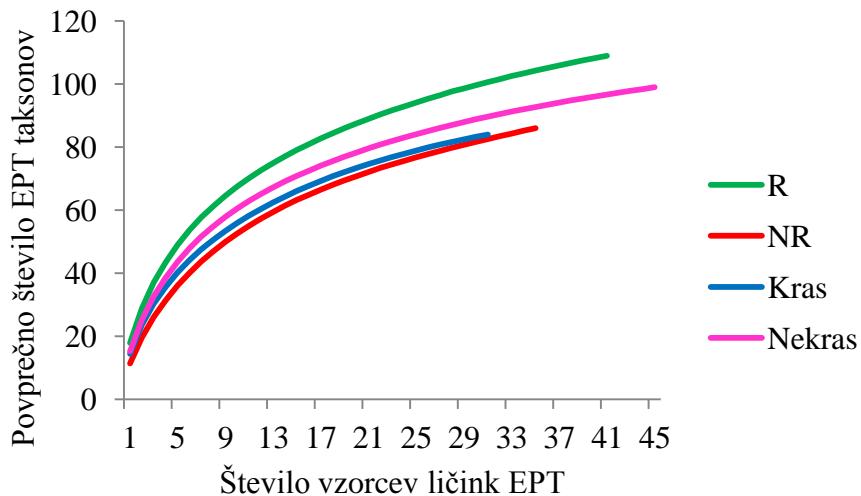
Pestrost taksonov ličink EPT v kraških oz. nekraških rekah je bila manjša od ocenjenega števila taksonov ličink EPT na podlagi izračuna cenilk vrstne pestrosti (Slika 15). Tudi v neobremenjenih in obremenjenih rekah je bilo s cenilkami vrstne pestrosti ocenjeno število taksonov ličink EPT večje od ugotovljenega števila taksonov EPT. Nobena od krivulj kopičenja vrst, s katerimi smo prikazali povečevanje števila taksonov ličink EPT s številom bioloških vzorcev ni dosegla asymptote.



Slika 15. Ugotovljeno in ocenjeno število taksonov (EPT v rekah bioregije Preddinarska hribovja in ravnine s cenilkami Jackknife 1. in 2. reda, Chao 1. in 2. reda ter Bootstrap (Kras – kraške reke, Nekras - nekraške reke, R – neobremenjene reke, NR – obremenjene reke). Ocenjeno število je označeno kot razpon ocen (Ocena min – ocena max).

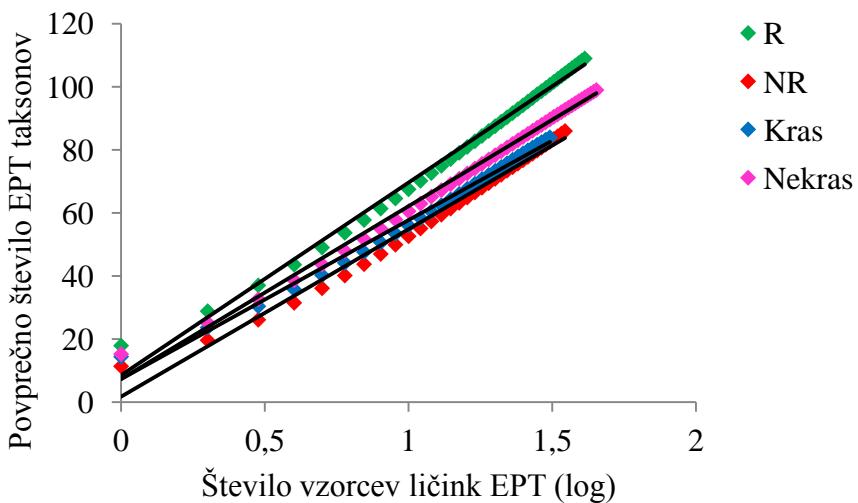
Figure 15. Determined and predicted total number of EPT taxa in rivers of Subdinaric hills and plains bioregion using Jackknife1, Jackknife2, Chao1, Chao2 and Bootstrap estimates (Kras – karst rivers, Nekras – non-karst rivers, R – non-degraded rivers, NR - degraded rivers). Predicted total number is indicated as range of estimates (Ocena min – ocena max).

Z naraščanjem števila vzorcev ličink EPT se je število taksonov EPT v neobremenjenih rekah povečevalo hitreje kot v obremenjenih rekah (Slika 16). V kraških rekah se je število taksonov EPT povečevalo s številom vzorcev ličink EPT podobno kot v nekraških rekah. Ugotovili smo statistično značilne razlike v povečevanju regresijsih premic med številom taksonov EPT in številom vzorcev ličink EPT med kraškimi in nekraškimi (ANCOVA,  $F = 16,32$ ;  $p < 0,0001$ ) ter med obremenjenimi in neobremenjenimi (ANCOVA,  $F = 34,41$ ;  $p < 0,0001$ ) rekami (Slika 17).



Slika 16. Krivulje kopičenja taksonov EPT v rekah bioregije Preddinarska hribovja in ravnine (R – neobremenjene reke, NR – obremenjene reke, Kras – kraške reke, Nekras - nekraške reke).

Figure 16. EPT taxa accumulation curves in rivers of Subdinaric hills and plains (R – non-degraded rivers, NR – degraded rivers, Kras – karst rivers, Nekras – non-karst rivers).



Slika 17. Povprečno število taksonov EPT glede na (log) števila vzorcev ličink EPT v rekah bioregije Preddinarska hribovja in ravnine (R - neobremenjene, NR - obremenjene, Kras – kraške, Nekras - nekraške reke).

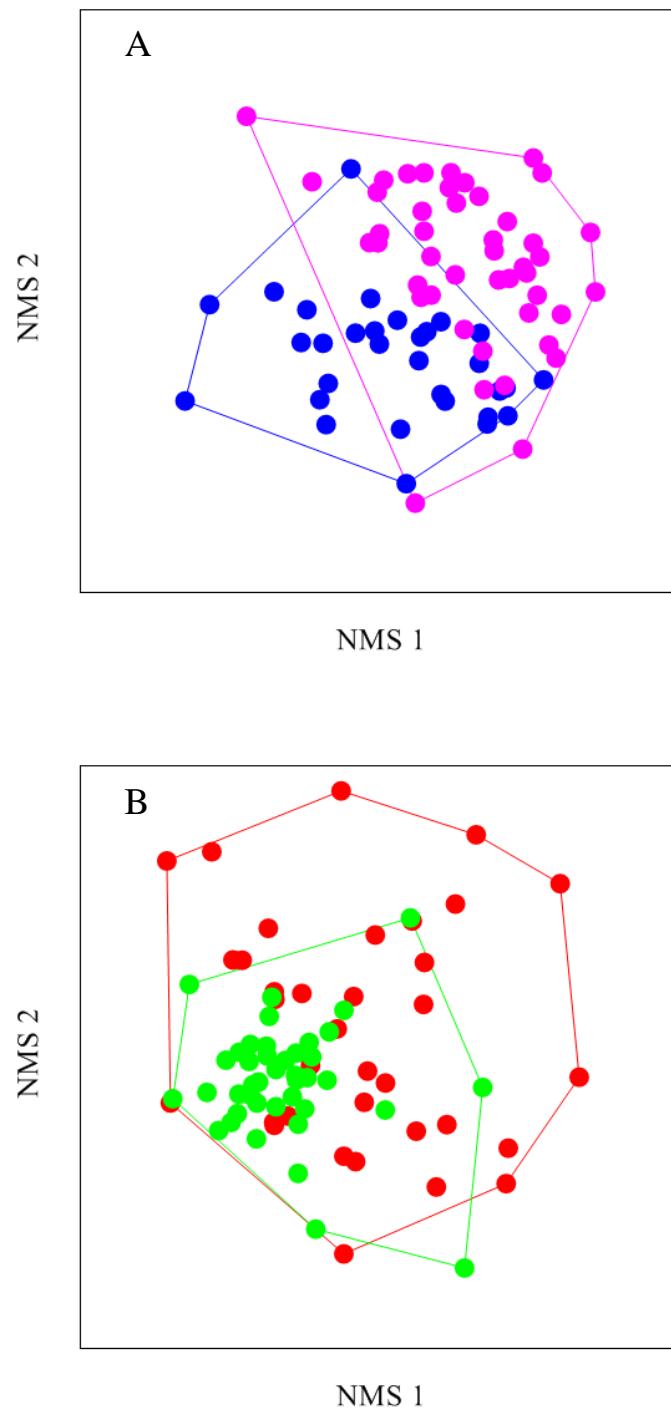
Figure 17. The average number of EPT taxa in relation to logarithmic number (log) of EPT larvae samples in rivers of Subdinaric hills and plains bioregion rivers (R – non-degraded rivers, NR – degraded rivers, Kras – karst rivers, Nekras – non-karst rivers).

Vzorci ličink EPT kraških in nekraških rek so se na ordinacijskem diagramu NMS razporedili v ločeni skupini z manjšim prekrivanjem (Slika 18A). Z dvosmerno permutacijsko multivariatno analizo variance (PERMANOVA) smo ugotovili statistično značilne razlike ( $R^2 = 0,08$ ,  $p < 0,001$ ) v taksonomski sestavi združb in številčnosti ličink EPT med kraškimi in nekraškimi rekami (Preglednica 13). Na diagramu NMS so se vzorci ličink EPT obremenjenih in neobremenjenih rek prav tako razporedili v dve jasno ločeni skupini z manjšim prekrivanjem (Slika 18B). Statistično značilne razlike smo ugotovili tudi v taksonomski sestavi združb in številčnosti ličink EPT med obremenjenimi in neobremenjenimi rekami ( $R^2 = 0,06$ ,  $p < 0,001$ ). Na diagramu NMS je bilo prekrivanje med vzorci ličink EPT obremenjenih in neobremenjenih kraških ter obremenjenih in neobremenjenih nekraških rek majhno. Ugotovili smo manjše ( $R^2 = 0,03$ ,  $p < 0,01$ ), vendar še vedno statistično značilne razlike v združbah ličink EPT. Razlike v sestavi združb in številčnosti ličink EPT med obremenjenimi in neobremenjenimi rekami so bile večje v nekraških ( $R^2 = 0,01$ ,  $p < 0,001$ ) kot v kraških rekah ( $R^2 = 0,09$ ,  $p < 0,01$ ) (Slika 19, Preglednica 14).

Preglednica 13. Rezultati dvosmerne PERMANOVA analize razlik v sestavi združb in številčnosti ličink EPT glede na tip rek in/ali stopnjo obremenitve rek bioregije Preddinarska hribovja in ravnine (df – stopinje prostosti, SumOfSqs – vsota kvadratov odklonov od povprečja, MeanSqs - povprečni kvadratni odklon, p – statistična značilna verjetnost na osnovi 9999 permutacij).

Table 13. Results of two-way PERMANOVA tests for differences in EPT assemblage structures according to rivers type and/degradation level in rivers of Subdinaric hills and plains bioregion (Df- degrees of freedom, SumOfSqs – sum of squares, MeanSqs – mean square, p – probability of statistical significance based on 9999 permutations).

| Vir za razlike v združbah ličink EPT | df | SumOfSqs | MeanSqs | F Model | R <sup>2</sup> | p      |
|--------------------------------------|----|----------|---------|---------|----------------|--------|
| Tip rek                              | 1  | 1,69     | 1,69    | 6,73    | 0,08           | <0,001 |
| Stopnja obremenitve rek              | 1  | 1,32     | 1,32    | 5,25    | 0,06           | <0,001 |
| Tip rek x Stopnja obremenitve rek    | 1  | 0,59     | 0,59    | 2,34    | 0,03           | <0,01  |
| Ostanek                              | 72 | 18,04    | 0,25    |         | 0,83           |        |
| Skupaj                               | 75 | 21,63    |         |         | 1,00           |        |

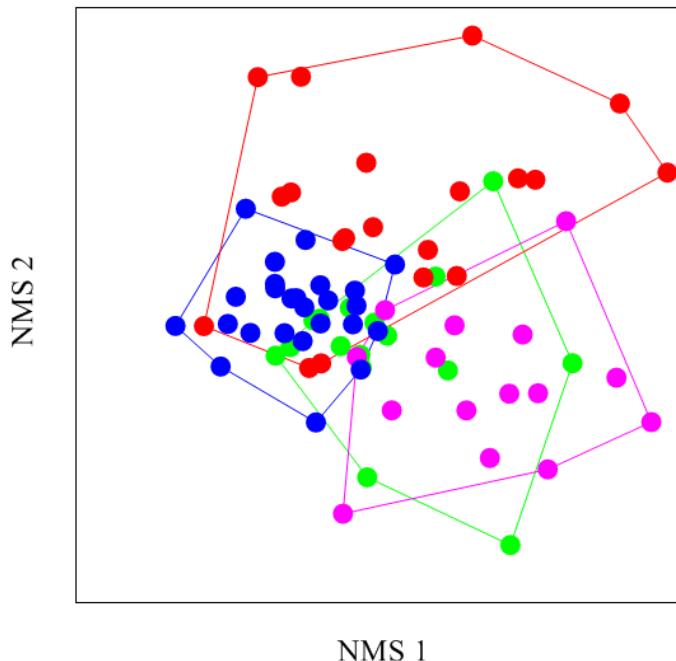


Slika 18. Ordinacijski diagram nemetričnega multidimenzionalnega skaliranja (NMS) z vzorci ličink EPT v A) kraških rekah (modre pike) in nekraških rekah (roza pike) ter B) obremenjenih rekah (rdeče pike) in neobremenjenih rekah (zelene pike) bioregije Preddinarska hribovja in ravnine (stres = 0,19).

Figure 18. Nonmetric multidimensional scaling (NMS) ordination diagram of EPT larvae samples in A) karst rivers (blue dots) and non-karst rivers (pink dots), and of B) degraded rivers (red dots) and non-degraded rivers (green dots) of Subdinaric hills and plains bioregion (stress = 0,19).

Slika 19. Ordinacijski diagram nemetričnega multidimenzionalnega skaliranja (NMS) z vzorci ličink EPT v neobremenjenih kraških rekah (zelene pike), obremenjenih kraških rekah (roza pike), neobremenjenih nekraških rekah (modre pike) in obremenjenih nekraških rekah (rdeče pike) bioregije Preddinarska hribovja in ravnine (stres = 0,19).

Figure 19. Nonmetric multidimensional scaling (NMS) ordination diagram of EPT larvae samples in non-degraded karst rivers (green dots), degraded karst rivers (pink dots), non-degraded non-karst rivers (blue dots) and degraded non-karst rivers (red dots) of Subdinaric hills and plain bioregion (stress = 0,19).



Preglednica 14. Rezultati enosmerne PERMANOVA analize razlik v sestavi združb in številčnosti ličink EPT glede na stopnjo obremenitve kraških (Kras) in nekraških (Nekras) rek bioregije Preddinarska hribovja in ravnine (df – stopinje prostosti, SumOfSqs – vsota kvadratov odklonov od povprečja, MeanSqs – povprečni kvadratni odklon, p – statistična značilna verjetnost na osnovi 9999 permutacij).

Table 14. Results of one-way PERMANOVA tests for differences in EPT assemblage structures according to degradation level of karst (Kras) and non-karst (Nekras) rivers of Subdinaric hills and plains bioregion (Df – degrees of freedom, SumOfSqs – sum of squares, MeanSqs – mean square, p – probability of statistical significance based on 9999 permutations).

| Vir za razlike v združbah ličink EPT | Tip rek | df | SumOfSqs | MeanSqs | F Model | R <sup>2</sup> | p      |
|--------------------------------------|---------|----|----------|---------|---------|----------------|--------|
| Stopnja obremenitve rek              |         | 1  | 0,69     | 0,69    | 2,73    | 0,09           | <0,01  |
| Ostanek                              | Kras    | 29 | 7,39     | 0,25    |         |                | 0,91   |
| Skupaj                               |         | 30 | 8,08     |         |         |                | 1,00   |
| Stopnja obremenitve rek              |         | 1  | 1,23     | 1,23    | 5,01    | 0,10           | <0,001 |
| Ostanek                              | Nekras  | 43 | 10,56    | 0,25    |         |                | 0,90   |
| Skupaj                               |         | 44 | 11,79    |         |         |                | 1,00   |

### 7.1.2 Indikatorski taksoni

V kraških in nekraških rekah smo ugotovili različno število indikatorskih taksonov ličink EPT (Preglednica 15). V kraških rekah smo ugotovili 14 indikatorskih taksonov, in sicer sedem mladoletnic, pet enodnevnic in dve vrbnici. Od 11 indikatorskih taksonov nekraških rek smo ugotovili sedem enodnevnic, tri mladoletnice in eno vrbnico. V neobremenjenih rekah smo ugotovili več indikatorskih taksonov kot v obremenjenih rekah. V neobremenjenih rekah smo prepoznali 12 indikatorskih taksonov, in sicer sedem mladoletnic, tri enodnevnice in dve vrbnici. Za obremenjene reke smo ugotovili samo dva indikatorska taksona mladoletnic. Od indikatorskih taksonov neobremenjenih kraških rek je bilo šest mladoletnic, dve enodnevni in ena vrbnica. V neobremenjenih nekraških rekah smo ugotovili 10 indikatorskih taksonov, in sicer pet enodnevnic, štiri mladoletnice in eno vrbnico. V obremenjenih nekraških rekah smo ugotovili en indikatorski takson, in sicer mladoletnico.

Preglednica 15. Rezultati analize indikatorskih vrednosti EPT taksonov (IndVal) v rekah bioregije Preddinarska hribovja in ravnine (Kras – kraške reke, Nekras – nekraške reke, R – neobremenjene reke, NR - obremenjene reke). Stopnja statistične značilnosti je označena z zvezdicami (\*  $p \leq 0,05$ , \*\* $p \leq 0,01$ , \*\*\* $p \leq 0,001$ ). Kode taksonov so podane v Preglednici 1.

Table 15. The results of Indicator value analysis (IndVal) for characteristic EPT taxa of rivers of Subdinaric hills and plains bioregion (Kras – karst rivers, Nekras – non-karst rivers, R – non-degraded, rivers NR - degraded rivers). Statistical significance level is indicated by asterisks (\*  $p \leq 0,05$ , \*\* $p \leq 0,01$ , \*\*\* $p \leq 0,001$ ). Taxa codes are given in Table 1.

| Takson  | Kras         | Nekras       | R            | NR | Kras R      | Kras NR      | Nekras R    | Nekras NR |
|---|--------------|--------------|--------------|----|-------------|--------------|-------------|-----------|
| Indikatorska vrednost taksona (število prisotnosti taksona) |              |              |              |    |             |              |             |           |
| Bae_f_s   |              | 0,25* (13)   |              |    |             |              |             |           |
| Bae_lib   | 0,20** (7)   |              |              |    | 0,33*** (6) |              |             |           |
| Bae_lut   |              | 0,20* (9)    |              |    |             |              | 0,25* (8)   |           |
| Bae_sca   |              | 0,55*** (25) |              |    |             |              | 0,38** (17) |           |
| Bae_var   |              |              | 0,22* (9)    |    | 0,29* (5)   |              |             |           |
| Bae_ver   |              | 0,24* (11)   |              |    |             |              |             |           |
| Ecd_spp   |              | 0,31** (15)  |              |    |             | 0,32** (11)  |             |           |
| Rhi_spp   |              | 0,20* (9)    | 0,22** (9)   |    |             | 0,36** (9)   |             |           |
| Eph_dan   | 0,59** (24)  |              |              |    | 0,39* (11)  |              |             |           |
| Eph_spp   | 0,19* (6)    |              |              |    | 0,24** (4)  |              |             |           |
| Epm_maj   |              |              | 0,33** (15)  |    |             | 0,26* (10)   |             |           |
| Hab_fus   | 0,13* (4)    |              |              |    |             |              |             |           |
| Hab_lau   |              | 0,32* (18)   |              |    |             |              |             |           |
| Pal_sub   | 0,26* (10)   |              |              |    |             |              |             |           |
| Pea_sp  |              |              | 0,15* (6)    |    |             |              |             |           |
| Iso_spp   | 0,16* (5)    |              |              |    | 0,23** (4)  |              |             |           |
| Leu_spp   |              | 0,74** (37)  | 0,84*** (38) |    |             | 0,79*** (24) |             |           |
| Nem_spp   | 0,50*** (16) |              |              |    | 0,33* (8)   |              |             |           |

se nadaljuje  
 to be continued

nadaljevanje.

continued.

| Takson                               | Kras         | Nekras      | R  | NR          | Kras R     | Kras NR      | Nekras R    | Nekras NR |
|--------------------------------------|--------------|-------------|----|-------------|------------|--------------|-------------|-----------|
| IndVal (število prisotnosti taksona) |              |             |    |             |            |              |             |           |
| Agri_var                             |              |             |    | 0,11*(4)    |            | 0,18* (3)    |             |           |
| Ath_cin                              | 0,23*** (7)  |             |    |             |            | 0,21* (4)    |             |           |
| Cha_fus                              | 0,34** (11)  |             |    |             | 0,33* (7)  |              |             |           |
| Hdt_sppS                             |              |             |    |             | 0,46* (12) |              |             |           |
| Hyd_ang                              |              |             |    | 0,14* (5)   |            |              |             | 0,16* (4) |
| Hyd_din                              | 0,13*** (4)  |             |    |             | 0,25** (4) |              |             |           |
| Hyd_pel                              |              |             |    |             |            | 0,26* (15)   |             |           |
| Hyd_spp                              |              |             |    | 0,59** (29) |            | 0,47* (21)   |             |           |
| Limn_nae                             | 0,19** (6)   |             |    |             |            |              |             |           |
| Lyp_red                              |              |             |    | 0,27** (12) |            |              |             |           |
| Mys_nig                              | 0,16** (5)   |             |    |             |            |              |             |           |
| Not_cil                              | 0,22** (8)   |             |    |             |            | 0,26** (6)   |             |           |
| Odo_alb                              | 0,45*** (16) |             |    | 0,39* (20)  |            | 0,60*** (12) |             |           |
| Psy_pus                              |              | 0,25* (12)  |    |             |            |              |             |           |
| Rhy_s_sS                             |              |             |    | 0,45* (26)  |            | 0,36* (10)   |             |           |
| Sil_nig                              |              |             |    | 0,37** (16) |            |              |             |           |
| Sil_pal                              |              | 0,27** (12) |    | 0,25* (10)  |            |              | 0,39** (10) |           |
| Sil_pic                              |              | 0,18* (8)   |    | 0,17* (7)   |            |              | 0,27** (7)  |           |
| Ser_spp                              |              |             |    |             | 0,29* (8)  |              |             |           |
| Število indikatorskih taksonov EPT   | 14           | 11          | 12 | 2           | 9          | 6            | 10          | 1         |

### 7.1.3 Metrike, izračunane na podlagi podatkov o združbah ličink EPT

V rekah bioregije Preddinarska hribovja in ravnine smo ugotovili devet statistično značilnih ( $p < 0,01$ ) močnih korelacij ( $r_s \geq 0,80$ ) med metrikami (Preglednica 16). Največ (osem) korelacij med metrikami je bilo pozitivnih. Ena korelacija je bila negativna, in sicer med deležem drobilcev in deležem enodnevnic. V kraških in nekraških rekah smo med metrikami ugotovili 12 statistično značilnih močnih korelacij. V kraških rekah je bilo devet pozitivnih in tri negativne statistično značilne močne korelacije. V nekraških rekah je bilo deset pozitivnih in dve negativni štatistično značilni močni korelacijsi. Pet pozitivnih statistično značilnih korelacij med metrikami smo ugotovili v kraških in nekraških rekah, in sicer med Shannon – Wienerjevim in Simpsonovim diverzitetnim indeksom, številom taksonov mladoletnic in številom taksonov EPT, številčnostjo enodnevnic in številčnostjo EPT, deležem vrbnic in številčnostjo vrbnic, ter med Margalefovim diverzitetnim indeksom in številom taksonov EPT. Ostale korelacije, ki smo jih ugotovili med metrikami, so bile srednje močne ( $0,60 < r_s < 0,80$ ) ali šibke ( $r_s < 0,60$ ). Vse korelacije med metrikami so v Prilogi C.

S primerjavo vrednosti metrik med kraškimi in nekraškimi rekami smo ugotovili statistično značilne razlike ( $p < 0,05$ ) pri 29 % metrik, to je pri osmih metrikah (Preglednica 17, Slika 20). Največ metrik (tri), pri katerih smo ugotovili razlike v vrednostih med kraškimi in nekraškimi rekami, je bilo iz skupine metrik preferenca do substrata. V vsaki od skupin metrik številčnost, preferenca do tipa vodnega toka in način prehranjevanja smo ugotovili statistično značilne razlike med kraškimi in nekraškimi rekami v vrednostih ene metrike, v skupini metrik abundanca pa v vrednostih dveh metrik. Vrednosti petih metrik so bile v povprečju statistično značilno višje v nekraških kot v kraških rekah (Mann-Whitney U test = 254–478,  $p < 0,05$ ), in sicer iz skupin metrik preferenca do substrata (delež taksonov, ki preferirajo lital, % taksonov, ki preferirajo akal, delež taksonov, ki preferirajo akal, lital in psamal), preferenca do tipa vodnega toka (delež ritrobiontov) in sestava (delež vrbnic) (Slike 24, 25, 26). Dve metriki (delež enodnevnic, delež aktivnih filtratorjev) sta imeli v povprečju statistično značilne višje vrednosti (Mann-Whitney U test = 462–503,  $p < 0,05$ ) v kraških kot v nekraških rekah (Sliki 24, 27). Med metrikami iz skupin bogastvo in pestrost nismo ugotovili statistično značilnih razlik v vrednostih med kraškimi in nekraškimi rekami (Mann-Whitney U test = 517–682,  $p > 0,05$ ).

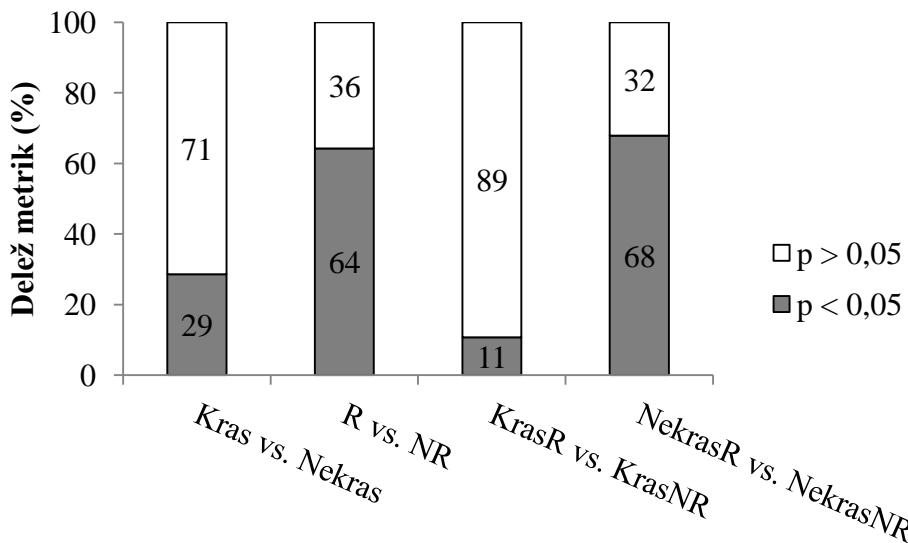
Preglednica 16. Statistično značilne ( $p < 0,01$ ) močne korelacijske (Spearmanov korelacijski koeficient,  $r_s \geq 0,80$ ) med metrikami združb ličink EPT (Pdhribavni – reke bioregije Preddinarska hribovja in ravnine, Kras – kraške reke, Nekras – nekraške reke bioregije Preddinarska hribovja in ravnine). Skupine in oznake metrik so navedene v Preglednici 9.

Table 16. Statistically significant ( $p < 0,01$ ) strong Spearman's correlations ( $r_s \geq 0,80$ ) between EPT assemblages metrics (Pdhribavni – rivers of Subdinaric hills and plains bioregion, Kras - karst rivers, Nekras – non- karst rivers of Subdinaric hills and plains bioregion). Metric groups and codes are indicated in Table 9.

| Pari metrik |           | Set vzorcev ličink EPT |       |        |
|-------------|-----------|------------------------|-------|--------|
|             |           | Pdhribavni             | Kras  | Nekras |
|             |           |                        | $R_s$ |        |
| Shannon     | Simpson   |                        | 0,92  | 0,90   |
| Num T       | Num EPT   |                        | 0,90  | 0,83   |
| Abund E     | Abund EPT |                        | 0,88  | 0,96   |
| P %         | Abund P   |                        | 0,88  | 0,87   |
| Margalef    | Num EPT   |                        | 0,88  | 0,84   |
| Shred       | E %       |                        | -0,80 | -0,86  |
| Num E       | Num EPT   |                        | 0,82  | 0,84   |
| Aka+Lit+Psa | Aka       |                        | 0,80  | 0,85   |
| Aka+Lit+Psa | Lit       |                        | 0,82  |        |
| Evenness    | Abund E   |                        | -0,81 |        |
| Gath        | E %       |                        | 0,84  |        |
| RP          | Lit       |                        | 0,87  |        |
| RP          | Phy       |                        | 0,85  |        |
| Gath        | T %       |                        | -0,82 |        |
| Evenness    | Simpson   |                        | 0,85  |        |
| T %         | E %       |                        | -0,80 |        |
| Shred       | P %       |                        |       | 0,90   |
| Margalef    | Num T     |                        |       | 0,83   |
| P %         | Aka       |                        |       | 0,88   |
| P %         | E %       |                        |       | -0,82  |

Med neobremenjenimi in obremenjenimi rekami smo ugotovili statistično značilne razlike (Mann-Whitney U test = 242–710,  $p < 0,05$ ) pri 64 % metrik, to je pri 16 metrikah (Slika 20, Preglednica 17). Vrednosti večine metrik so bile statistično značilno višje (Mann-Whitney U test = 242–516,  $p < 0,05$ ) v neobremenjenih kot v obremenjenih rekah (Slike 21–27). Samo pri dveh metrikah (indeks Evenness, delež taksonov brez preference do tipa vodnega toka) smo ugotovili statistično značilne višje vrednosti v obremenjenih rekah kot v neobremenjenih rekah (Mann-Whitney U test = 475–524,  $p < 0,05$ ) (Sliki 22, 25). Pri metrikah iz skupine bogastvo smo ugotovili statistično značilne razlike med obremenjenimi in neobremenjenimi rekami v vrednostih vseh metrik (Mann-Whitney U test = 242–425,  $p < 0,05$ ). Pri večini vrednosti metrik iz skupine številčnost, preferenca do tipa vodnega toka in preferenca do substrata smo ugotovili statistično značilne razlike med obremenjenimi in neobremenjenimi rekami (Mann-Whitney U test = 268–524,  $p < 0,05$ ), razen pri metrikah abundanca enodnevnic, delež reofilov in delež taksonov, ki preferirajo

fital. V skupini metrik način prehranjevanja nismo ugotovili statistično značilnih razlik v vrednostih metrik med obremenjenimi in neobremenjenimi rekami (Mann-Whitney U test = 505–691,  $p > 0,05$ ).



Slika 20. Delež metrik (%) združb ličink EPT s/brez statistično značilno (p) različnimi vrednostmi med kraškimi in nekraškimi rekami (Kras vs. Nekras), med obremenjenimi in neobremenjenimi rekami (R vs. NR), med obremenjenimi in neobremenjenimi kraškimi rekami (KrasR vs. KrasNR) in med obremenjenimi in neobremenjenimi nekraškimi rekami (NekrasR vs. NekrasNR) bioregije Preddinarska hribovja in ravnine.

Figure 20. The portion of EPT metrics (%) representing statistical significance of differences (p) between karst and non-karst rivers (Kras vs. Nekras), non-degraded and degraded rivers (R vs. NR), non-degraded and degraded karst rivers (KrasR vs. KrasNR), non-degraded and degraded non-karst rivers (NekrasR vs. NekrasNR) of Subdinaric hills and plains bioregion.

Delež metrik, pri katerih smo ugotovili statistično značilne razlike (Mann-Whitney U test = 48–66,  $p < 0,05$ ) v vrednostih med obremenjenimi in neobremenjenimi kraškimi rekami je bil majhen (11 %). Statistično značilne razlike med obremenjenimi in neobremenjenimi kraškimi rekami smo ugotovili v abundanci mladoletnic, številu EPT taksonov in deležu vrste *Baetis rhodani* (Preglednica 17). Vrednosti vseh treh navedenih metrik so bile statistično značilno višje v neobremenjenih kot v obremenjenih kraških rekah (Mann-Whitney U test = 48–66,  $p < 0,05$ ) (Slike 21, 23, 24). Pri metrikah iz skupin pestrost, preferenca do tipa vodnega toka, preferenca do substrata in način prehranjevanja nismo ugotovili statistično značilnih razlik v vrednostih metrik med obremenjenimi in neobremenjenimi kraškimi rekami (Mann-Whitney U test = 79–113,  $p > 0,05$ ). Med obremenjenimi in neobremenjenimi nekraškimi rekami smo ugotovili več kot 60 % metrik

s statistično značilnimi razlikami v vrednostih, to je pri 19 metrikah (Preglednica 17, Slika 20). Ugotovili smo štiri metrike s statistično značilno višjimi vrednostmi v obremenjenih kot v neobremenjenih nekraških rekah (Mann-Whitney U test = 117–156,  $p < 0,05$ ) in sicer iz skupin metrik sestava (delež enodnevnic), pestrost (Evenness), preferenca do tipa vodnega toka (delež taksonov brez preference do tipa vodnega toka) in način prehranjevanja (delež zbiralcev) (Slike 22, 24, 25). Statistično značilne razlike med obremenjenimi in neobremenjenimi nekraškimi rekami smo ugotovili v vrednostih vseh metrik iz skupine bogastvo (Mann-Whitney U test = 63–137,  $p < 0,05$ ). V skupinah metrik številčnost, preferenca do tipa vodnega toka in način prehranjevanja smo ugotovili statistično značilne razlike med obremenjenimi in neobremenjenimi nekraškimi rekami (Mann-Whitney U test = 44–167,  $p < 0,05$ ) v vrednostih treh metrik (abundanca EPT, abundanca vrbnic, abundanca mladoletnic, delež taksonov, ki preferirajo akal, delež taksonov, ki preferirajo lital, delež taksonov, ki preferirajo akal, lital in psamal, delež aktivnih filtratorjev, delež zbiralcev, delež drobilcev) (Preglednica 17).

Preglednica 17. Rezultati Mann-Whitney U testa razlik v vrednostih metrik združb ličink EPT med kraškimi in nekraškimi rekami (Kras vs. Nekras), med neobremenjenimi in obremenjenimi rekami (R vs. NR), med neobremenjenimi in obremenjenimi kraškimi rekami (KrasR vs. KrasNR) ter med neobremenjenimi in obremenjenimi nekraškimi rekami (NekrasR vs. NekrasNR) bioregije Preddinarska hribovja in ravnine. Statistična značilnost je označena z zvezdicami (\* p < 0,05, \*\*p < 0,01, \*\*\* p < 0,001).

Table 17. Mann-Whitney U test results of differences in EPT larvae assemblages metrics between karst and non-karst rivers (Kras vs. Nekras), non-degraded and degraded rivers (R vs. NR), non-degraded and degraded karst rivers (KrasR vs. KrasNR), non-degraded and degraded non-karst rivers (NekrasR vs. NekrasNR) of Subdinaric hills and plains bioregion. Statistical significance is indicated by asterisks (\* p < 0,05, \*\*p < 0,01, \*\*\* p < 0,001).

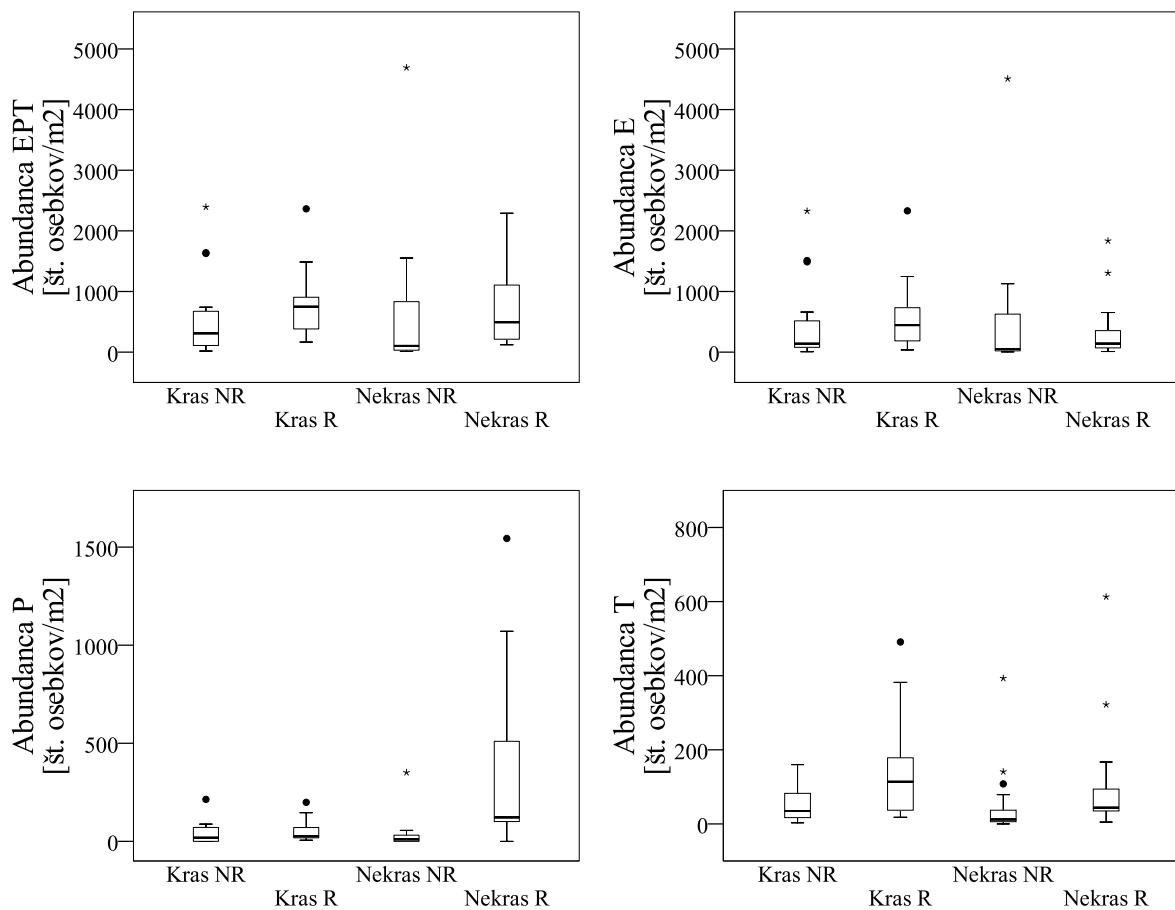
|                    | Pari setov vzorcev ličink EPT | Kras vs. Nekras  | R vs. NR | KrasR vs. KrasNR | NekrasR vs. NekrasNR |
|--------------------|-------------------------------|------------------|----------|------------------|----------------------|
| Skupina metrik     | Metrika                       | Mann – Whitney U |          |                  |                      |
| ŠTEVILČNOST<br>(A) | Abund E                       | 492*             | 554      | 81               | 187                  |
|                    | Abund T                       | 525              | 389**    | 66*              | 123**                |
|                    | Abund EPT                     | 602              | 437***   | 78               | 135**                |
|                    | Abund P                       | 530              | 268***   | 92               | 44***                |
| BOGASTVO<br>(R)    | Num E                         | 517              | 359***   | 88               | 83***                |
|                    | Num P                         | 604              | 425**    | 77               | 137**                |
|                    | Num EPT                       | 635              | 242***   | 63*              | 63***                |
|                    | Num T                         | 682              | 272***   | 81               | 74***                |
| SESTAVA<br>(C)     | P %                           | 478*             | 341***   | 100              | 75***                |
|                    | E %                           | 503*             | 520*     | 108              | 117**                |
|                    | Bae rho %                     | 562              | 538      | 48**             | 238                  |
|                    | T %                           | 635              | 689      | 112              | 221                  |
| PESTROST<br>(D)    | Margalef                      | 568              | 343***   | 79               | 85***                |
|                    | Simpson                       | 633              | 710      | 106              | 219                  |
|                    | Shanon                        | 643              | 584      | 84               | 216                  |
|                    | Eveness                       | 656              | 475*     | 107              | 131**                |

se nadaljuje  
to be continued

nadaljevanje.

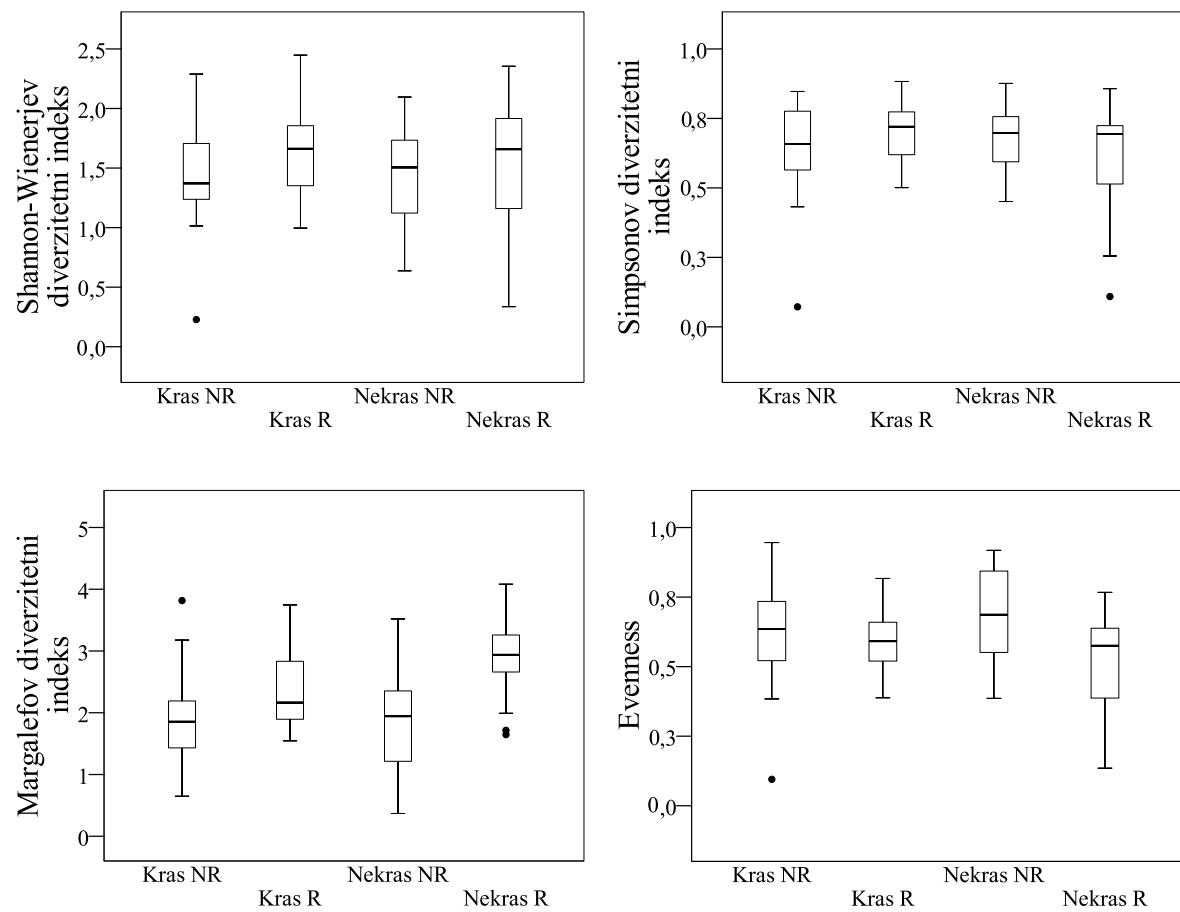
continued.

|                                  | Pari setov vzorcev ličink EPT | Kras vs. Nekras  | R vs. NR | KrasR vs. KrasNR | NekrasR vs. NekrasNR |
|----------------------------------|-------------------------------|------------------|----------|------------------|----------------------|
| Skupina metrik                   | Metrika                       | Mann – Whitney U |          |                  |                      |
| PREFERENCA DO TIPA<br>(Fcp)      | RB                            | 254***           | 522*     | 99               | 167*                 |
|                                  | RL                            | 515              | 686      | 84               | 211                  |
|                                  | RP                            | 537              | 516*     | 91               | 171                  |
|                                  | IN                            | 679              | 524*     | 108              | 156*                 |
| PREFERENCA DO SUBSTRATA<br>(Fsp) | Aka +Lit +Psa                 | 359***           | 394**    | 108              | 54***                |
|                                  | Aka                           | 391**            | 393**    | 113              | 63***                |
|                                  | Lit                           | 398**            | 400**    | 94               | 104***               |
|                                  | Phy                           | 586              | 680      | 88               | 174                  |
| NAČIN PREHRANJEVANJA<br>(Fft)    | Active filter                 | 462*             | 546      | 97               | 116**                |
|                                  | Gath                          | 584              | 607      | 100              | 142*                 |
|                                  | Graz scrap                    | 646              | 691      | 110              | 247                  |
|                                  | Shred                         | 675              | 505*     | 107              | 103**                |



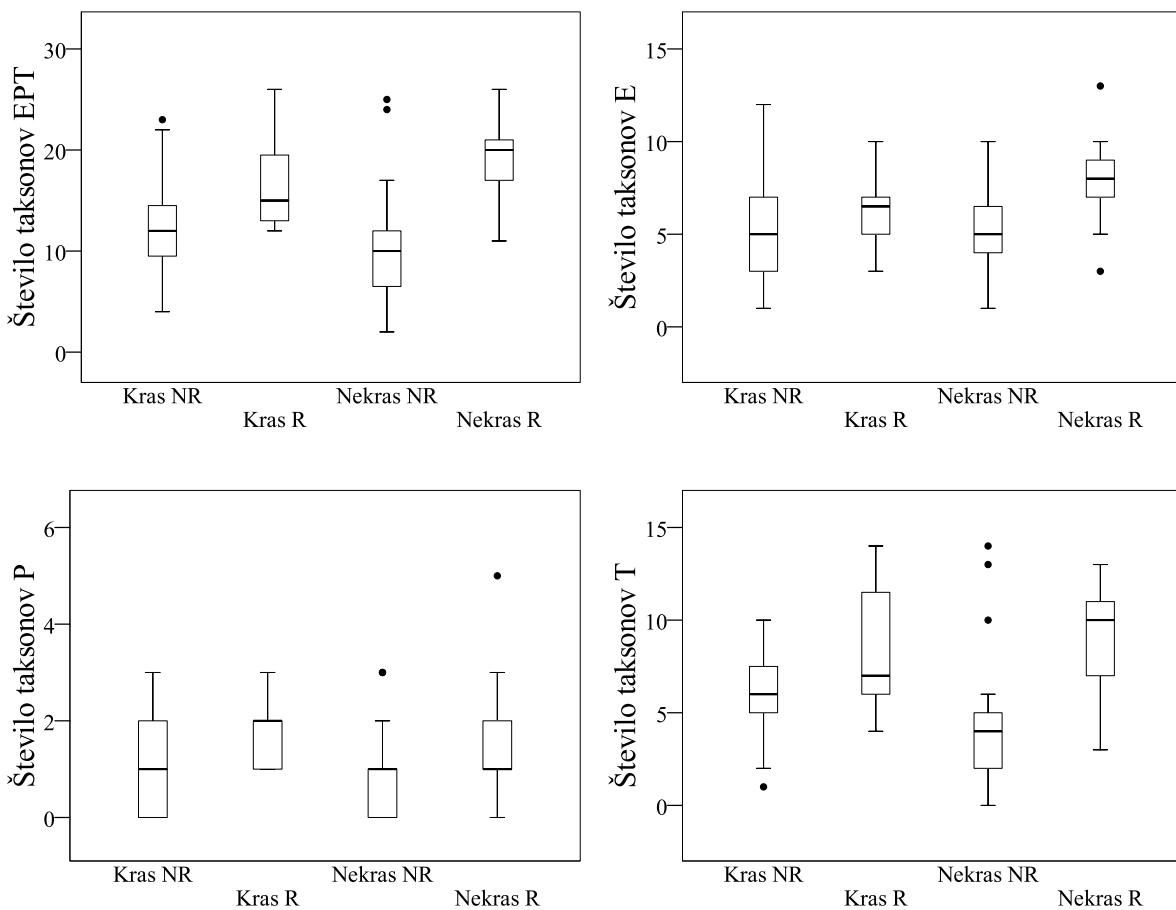
Slika 21. Grafični kvantilovi izbranih metrik združb ličink EPT iz skupine metrik številčnost (A) glede na tip in stopnjo obremenitve rek bioregije Preddinarska hribovja in ravnine (Kras – kraške reke, Nekras – nekraške reke, R – neobremenjenje reke, NR – obremenjenje reke).

Figure 21. Box-and-whisker plots of selected EPT larvae assemblages metrics from abundance (A) metric group according to the river type and degradation level of rivers of Subdinaric hills and plains bioregion (Kras – karst rivers, Nekras – non-karst rivers, R – non-degraded rivers, NR – degraded rivers).



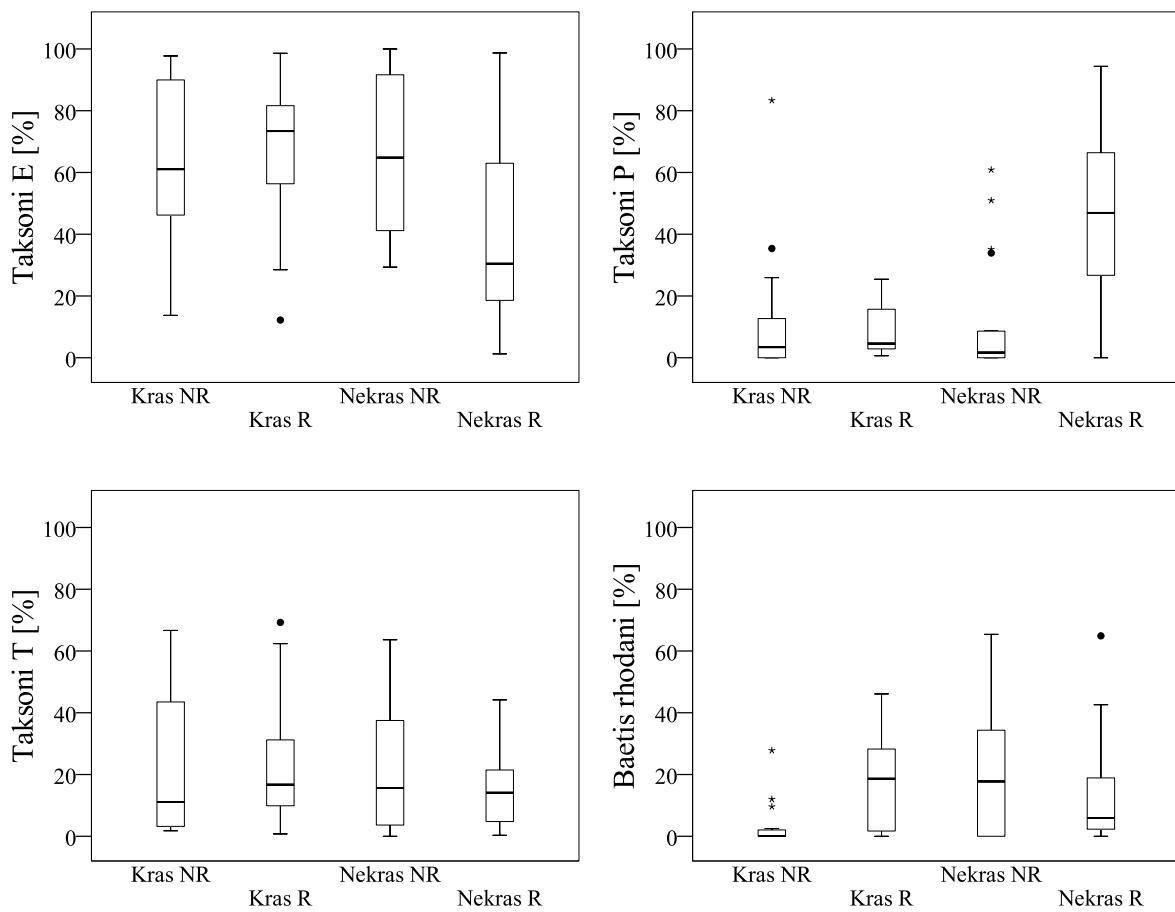
Slika 22. Grafikoni kvantilov izbranih metrik združb ličink EPT iz skupine metrik pestrost (D) glede na tip in stopnjo obremenitve rek bioregije Preddinarska hribovja in ravnine (Kras – kraške reke, Nekras – nekraške reke, R – neobremenjene reke, NR – obremenjene reke).

Figure 22. Box-and-whisker plots of selected EPT larvae assemblages metrics from richness (D) metric group according to the river type and degradation level of rivers of Subdinaric hills and plains bioregion (Kras – karst rivers, Nekras – non-karst rivers, R – non-degraded rivers, NR – degraded rivers).



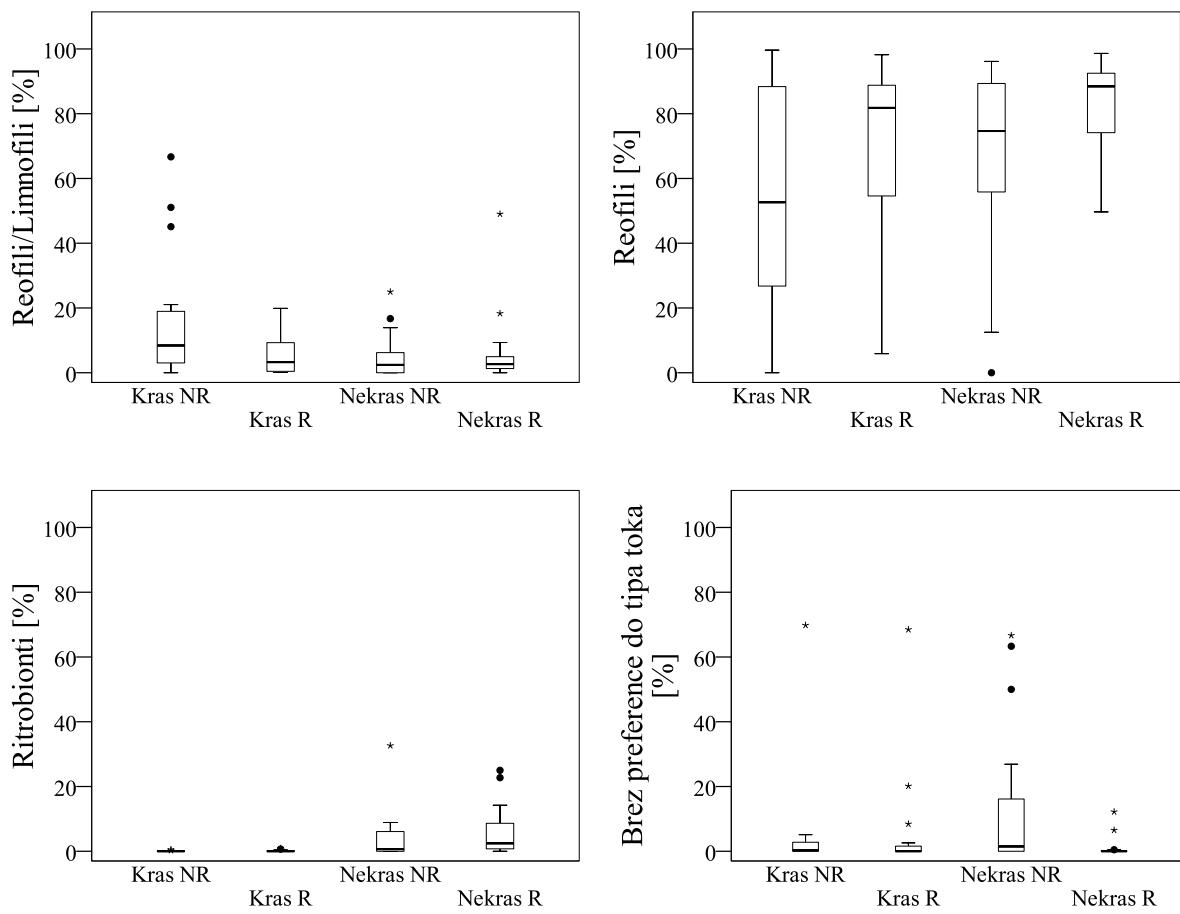
Slika 23. Grafikoni kvantilovizbranih metrik združb ličink EPT iz skupine metrik bogastvo (R) glede na tip in stopnjo obremenitve rek bioregije Preddinarska hribovja in ravnine (Kras – kraške reke, Nekras – nekraške reke, R – neobremenjene reke, NR – obremenjene reke).

Figure 23. Box-and-whisker plots selected EPT larvae assemblages metrics from richness metric group (R) according to the river type and degradation level of rivers of Subdinaric hills and plains bioregion (Kras – karst rivers, Nekras – non-karst rivers, R – non-degraded rivers, NR – degraded rivers).



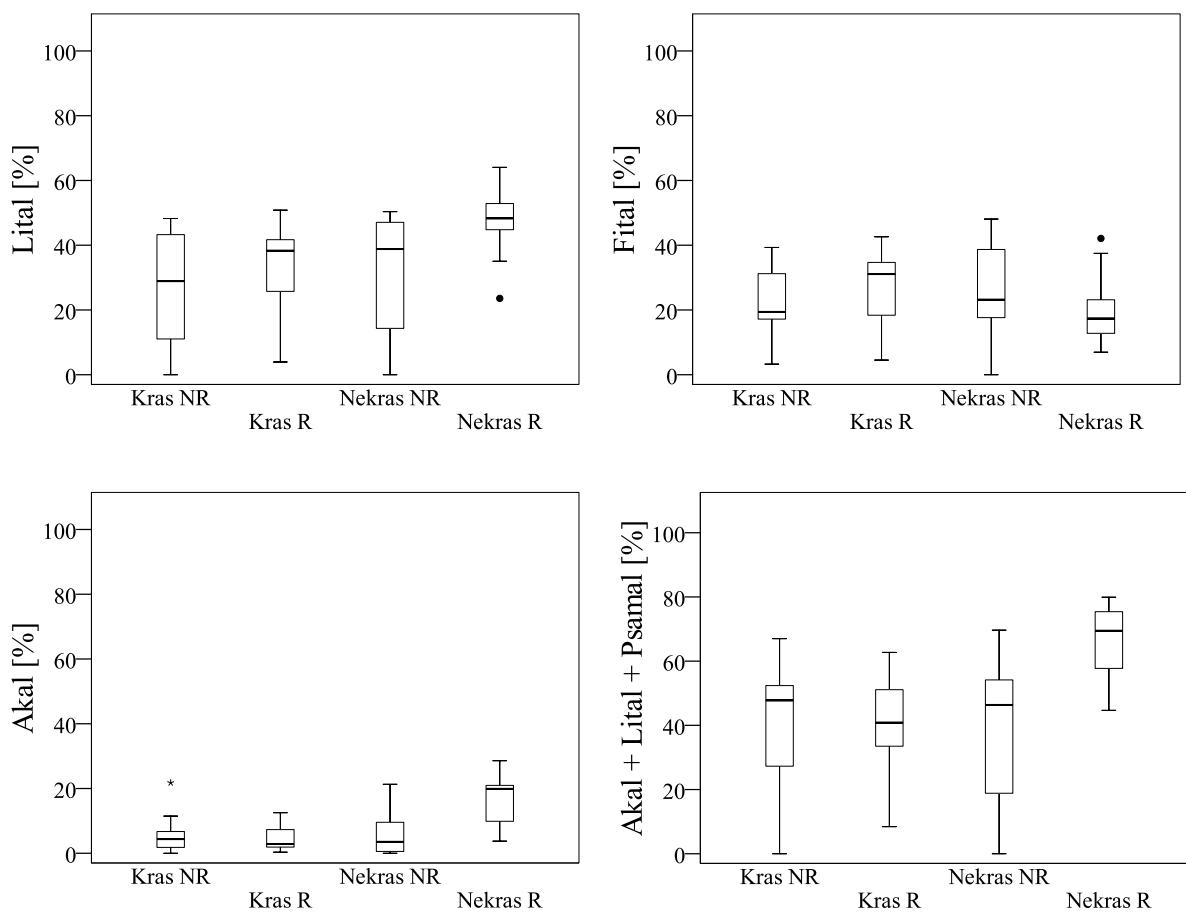
Slika 24. Grafikoni kvantilovizbranih metrik združb ličink EPT iz skupine metrik sestava (C) glede na tip in stopnjo obremenitve rek bioregije Preddinarska hribovja in ravnine (Kras – kraške reke, Nekras – nekraške reke, R – neobremenjene reke, NR – obremenjene reke).

Figure 24. Box-and-whisker plots of selected EPT larvae assemblages metrics from composition (C) metric group to the river type and degradation level of rivers of Subdinaric hills and plains bioregion (Kras – karst rivers, Nekras – non-karst rivers, R – non-degraded rivers, NR – degraded rivers).



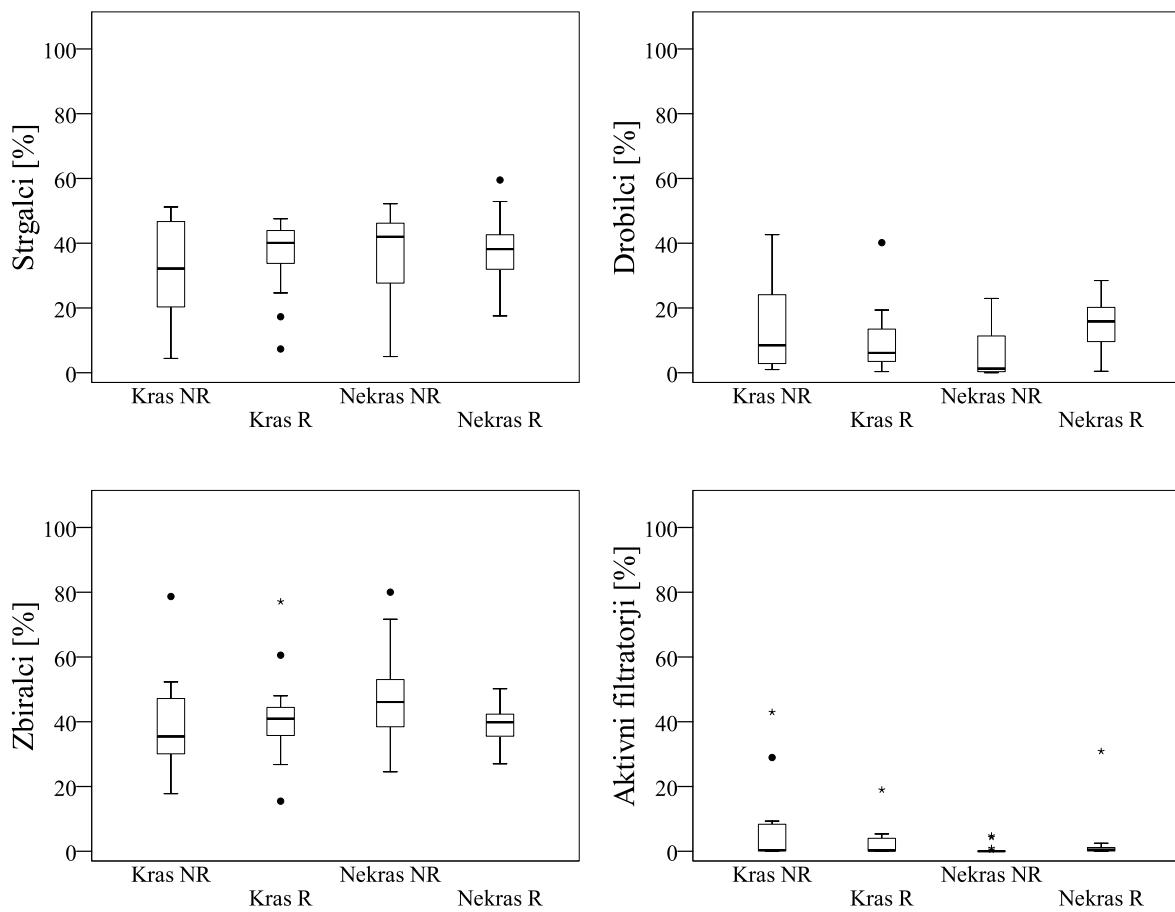
Slika 25. Grafikoni kvantilov izbranih funkcionalnih metrik združb ličink EPT iz skupine metrik preferenca do tipa vodnega toka (Fcp) glede na tip in stopnjo obremenitve rek bioregije Preddinarska hribovja in ravnine (Kras – kraške reke, Nekras – nekraške reke, R – neobremenjenje reke, NR – obremenjenje reke).

Figure 25. Box-and-whisker plots of selected functional EPT larvae assemblages metrics from metric group current velocity preference (Fcp) to the river type and degradation level of rivers of Subdinaric hills and plains bioregion (Kras – karst rivers, Nekras – non-karst rivers, R – non-degraded rivers, NR – degraded rivers).



Slika 26. Grafikoni kvantilov izbranih funkcionalnih metrik združb ličink EPT iz skupine metrik preferenca do substrata (Fsp) glede na tip in stopnjo obremenitve rek bioregije Preddinarska hribovja in ravnine (Kras – kraške reke, Nekras – nekraške reke, R – neobremenjene reke, NR – obremenjene reke).

Figure 26. Box-and-whisker plots of selected functional EPT larvae assemblages metrics from metric group substrate preference (Fsp) to the river type and degradation level (of rivers of Subdinaric hills and plains bioregion (Kras – karst rivers, Nekras – non-karst rivers, R – non-degraded rivers, NR – degraded rivers).



Slika 27. Grafikoni kvantilov izbranih funkcionalnih metrik združb ličink EPT iz skupine metrik način prehranjevanja (Fft) glede na tip in stopnjo obremenitve rek bioregije Preddinarska hribovja in ravnine (Kras – kraške reke, Nekras – nekraške reke, R – neobremenjene reke, NR – obremenjene reke).

Figure 27. Box-and-whisker plots of selected functional EPT larvae assemblages metrics from metric group feeding types (Fft) to the river type and degradation level of rivers of Subdinaric hills and plains bioregion (Kras – karst rivers, Nekras – non-karst rivers, R – non-degraded rivers, NR – degraded rivers).

## 7.2 POVEZAVE MED ZDRUŽBAMI LIČINK EPT IN OKOLJSKIMI SPREMENLJIVKAMI

### 7.2.1 Vrednosti okoljskih spremenljivk

Med kraškimi in nekraškimi rekami bioregije Preddinarska hribovja in ravnine smo ugotovili statistično značilne razlike v vrednostih nekaterih okoljskih spremenljivk (Preglednici 18, 19). Za kraške reke so bili statistično značilni nižji nakloni terena kot za nekraške reke (Mann-Whitney U test = 331,  $p < 0,001$ ). Mesta vzorčenja kraških rek so bila prisotna na nižjih nadmorskih višinah kot mesta vzorčenja nekraških rek (Mann-Whitney U test = 187,  $p < 0,001$ ). Vsebnosti kalcija so bile statistično značilno višje (Mann-Whitney U test = 276,  $p < 0,001$ ), vsebnosti magnezija pa nižje (Mann-Whitney U test = 334,  $p < 0,001$ ) v kraških kot v nekraških rekah. Statistično značilne razlike med kraškimi in nekraškimi rekami smo ugotovili le v deležih naravnih površin v skupnih prispevnih površinah (SPP) in deležih ekstenzivnega kmetijstva v SPP (Mann-Whitney U test = 406–448,  $p < 0,01$ ). V nekraških rekah so bile statistično značilno višje vrednosti nekaterih hranil (celotni fosfor, ortofosfat, amonij, nitrit, nitrat) kot v nekraških rekah (Mann-Whitney U test = 304–501,  $p < 0,05$ ). Koncentracije kloridnih in sulfatnih ionov so bile prav tako značilno višje v nekraških kot v kraških rekah (Mann-Whitney U test = 330–505,  $p < 0,05$ ). Razlike med kraškimi in nekraškimi rekami so bile tudi v deležih anorganskega substrata na mestih vzorčenja. Delež psamopelala in pelala je bil statistično značilno večji v kraških kot v nekraških rekah (Mann-Whitney U test = 536,  $p < 0,01$ ), delež mikrolitala in delež akala pa sta bila statistično značilno večja v nekraških kot v kraških rekah (Mann-Whitney U test = 275–351,  $p < 0,001$ ). Edina statistično značilna razlika v sestavi organskih substratov je bila v deležu makrofitov na mestih vzorčenja, ki je bil značilno večji v kraških rekah kot v nekraških rekah (Mann-Whitney U test = 254,  $p < 0,001$ ). V tipih vodnih tokov nismo ugotovili statistično značilnih razlik med kraškimi in nekraškimi rekami (Mann-Whitney U test = 570–691,  $p > 0,05$ ).

Preglednica 18. Vrednosti okoljskih spremenljivk z mest vzorčenja rek bioregije Preddinarska hribovja in ravnine (Pdhribavni – reke bioregije Preddinarska hribovja in ravnine, Kras – kraške reke, Nekras – nekraške reke bioregije Preddinarska hribovja in ravnine). Za večino spremenljivk je navedena povprečna vrednost in razpon (min - max) vrednosti spremenljivke. n- število vrednosti, \* - za kategorične spremenljivke je navedena mediana in razpon vrednosti spremenljivke.

Table 18. Environmental variables of rivers of Subdinaric hills and plains bioregion (Pdhribavni – rivers of Subdinaric hills and plains bioregion, Kras – karst, Nekras – non-karst rivers of Subdinaric hills and plains bioregion). The values are indicated as average and range (min – max) for most variables. n – the number of samples, \* - for categorical variables median and the range of values are indicated.

| Okoljska spremenljivka   | Pd hrib ravni      | Kras             | Nekras             |
|--|--------------------|------------------|--------------------|
| Vpliv kraškega izvira (n)                                      | 20                 | 20               | -                  |
| Meandriranje (n)   | 21                 | 21               | -                  |
| Nadmorska višina (m)   | 285 (130-739)      | 223 (130-739)    | 328 (176-550)      |
| Naklon (%)   | 5,13 (0-40,35)     | 3,26 (0-15,30)   | 9,67 (0,42-40,35)  |
| Velikost prispevne površine (razred)*                          | 1 (1-3)            | 2 (1-3)          | 1 (1-2)            |
| Kalcij ( $\text{Ca}^{2+}$ ) (mg/L)                             | 68,9 (42,0-99,5)   | 77,7 (56,3-99,5) | 62,9 (42,0-93,2)   |
| Magnezij ( $\text{Mg}^{3+}$ )(mg/L)                            | 19,4 (7,0-39,6)    | 15,1 (7-39,7)    | 22,4 (7,3-34,5)    |
| Alkaliteta ( $\mu\text{eqv/L}$ )                               | 4183 (1350-6700)   | 4429 (3620-5506) | 4014 (1350-6700)   |
| pH   | 8,1 (7,4-9,0)      | 7,9 (7,4-8,3)    | 8,2 (7,4-9,0)      |
| Električna prevodnost (pri 25°C) ( $\mu\text{S/cm}$ )          | 415 (284-761)      | 380 (292-506)    | 439 (284-761)      |
| Koncentracija raztopljenega kisika v vodi (mg/L)               | 9,6 (4,6-14,2)     | 10,4 (8,1-14,2)  | 9,0 (4,6-11,9)     |
| Nasičenost vode s kisikom (%)                                  | 97 (51-147)        | 101 (83-147)     | 94 (51-121)        |
| Temperatura vode (°C)  | 15,0 (9,2-19,9)    | 13,4 (9,2-18,2)  | 16,2 (12,7-19,9)   |
| Skupne suspendirane snovi (TSS) (mg/L)                         | 15,0 (0,3-176,2)   | 14,7 (0,5-41,2)  | 15,3 (0,3-176,2)   |
| BPK <sub>5</sub> (mg O <sub>2</sub> /L)                        | 1,1 (0-3,4)        | 1,1 (0,3-3,0)    | 1,1 (0-3,4)        |
| Celotni organski ogljik (TOC) (mg/L)                           | 2,9 (0,5-18,1)     | 1,5 (0,5-3,2)    | 3,8 (0,8-18,1)     |
| Celotni fosfor (P) ( $\mu\text{g/L}$ )                         | 107,4 (3,5-1343,5) | 33,1 (3,5-123,9) | 158,5 (3,5-1343,5) |
| Ortofosfat ( $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ ) ( $\mu\text{g/L}$ ) | 44,9 (0,7-903,3)   | 8,6 (0,7-44,7)   | 70,0 (0,7-903,3)   |
| Celotni dušik (N) (mg/L)                                       | 1,8 (0,7-17,8)     | 1,4 (0,8-2,9)    | 2,0 (0,7-17,8)     |
| Amonij ( $\text{NH}_4^+\text{-N}$ ) (mg/L)                     | 0,3 (0-17,6)       | 0 (0-0,2)        | 0,5 (0-17,6)       |
| Nitrit ( $\text{NO}_2^-$ -N) (mg/L)                            | 0 (0-0,1)          | 0 (0-0)          | 0 (0-0,1)          |
| Nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ) (mg/L)                              | 1,1 (0,1-3,6)      | 1,2 (0-4)        | 1,0 (0,2-3,6)      |
| Sulfat ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) (mg/L)                           | 7,1 (3,0-20,9)     | 5,3 (3,0-11,0)   | 8,3 (3,0-20,9)     |
| Klorid ( $\text{Cl}^-$ ) (mg/L)                                | 5,8 (1,5-36,6)     | 4,1 (1,7-8,2)    | 7,0 (1,5-36,6)     |

se nadaljuje  
to be continued

nadaljevanje.

continued.

| Okoljska spremenljivka                                   | Pd hrib ravni | Kras       | Nekras     |
|--|---------------|------------|------------|
| <i>Raba tal v neposrednih prispevnih površinah (NPP)</i> |               |            |            |
| Urbane površine (%)                                      | 6 (0-78)      | 5 (0-78)   | 6 (0-54)   |
| Naravne površine (%)                                     | 58 (2-95)     | 58 (6-94)  | 58 (2-95)  |
| Intenzivno kmetijstvo (%)                                | 20 (0-68)     | 23 (0-68)  | 18 (0-60)  |
| Ekstenzivno kmetijstvo (%)                               | 16 (2-45)     | 13 (2-30)  | 18 (2-45)  |
| <i>Raba tal v skupnih prispevnih površinah (SPP)</i>     |               |            |            |
| Urbane površine (%)                                      | 2 (0-7)       | 1 (0-3)    | 2 (0-7)    |
| Naravne površine (%)                                     | 64 (23-59)    | 68 (40-94) | 62 (23-95) |
| Intenzivno kmetijstvo (%)                                | 18 (0-36)     | 18 (0-32)  | 18 (1-36)  |
| Ekstenzivno kmetijstvo (%)                               | 16 (4-45)     | 13 (4-30)  | 19 (4-45)  |
| Megalital (%)  | 4 (0-75)      | 4 (0-45)   | 4 (0-75)   |
| Makrolital (%)   | 6 (0-65)      | 4 (0-45)   | 7 (0-65)   |
| Mezolital (%)  | 13 (0-70)     | 13 (0-55)  | 14 (0-70)  |
| Mikrolital (%)   | 23 (0-90)     | 8 (0-45)   | 34 (0-90)  |
| Akal (%)   | 9 (0-85)      | 2 (0-30)   | 14 (0-85)  |
| Psamal (%)   | 3 (0-30)      | 1 (0-10)   | 4 (0-30)   |
| Psamopelal in pelal (%)                                  | 4 (0-85)      | 10 (0-85)  | 1 (0-15)   |
| Argilal (%)  | 3 (0-100)     | 4 (0-100)  | 1 (0-40)   |
| Makroalge (%)  | 10 (0-100)    | 11 (0-75)  | 9 (0-100)  |
| Makrofiti (%)  | 23 (0-100)    | 41 (0-100) | 10 (0-100) |
| Živi deli kopenskih rastlin (%)                          | 2 (0-10)      | 2 (0-10)   | 2 (0-50)   |
| Ksilal in CPOM (%)                                       | 1 (0-15)      | 2 (0-15)   | 1 (0-10)   |
| Prelivanje (%)   | 1 (0-10)      | 1 (0-10)   | 1 (0-10)   |
| Lomljeni stoječi valovi (%)                              | 5 (0-50)      | 5 (0-35)   | 5 (0-50)   |
| Nelomljeni stoječi valovi (%)                            | 9 (0-70)      | 6 (0-55)   | 11 (0-70)  |
| Rahlo valovanje (%)                                      | 25 (0-100)    | 30 (0-100) | 23 (0-100) |
| Lateralni tok (%)  | 2 (0-20)      | 2 (0-15)   | 2 (0-20)   |
| Gladki tok (%)   | 42 (0-100)    | 34 (0-100) | 47 (0-100) |
| Ni opaznega toka (%)                                     | 15 (0-100)    | 19 (0-100) | 12 (0-100) |
| Hidromorfološka spremenjenost (HM) (razred)*             | 2 (1-5)       | 1 (1-3)    | 2 (1-5)    |

Preglednica 19. Rezultati Mann-Whitney U testa razlik v vrednostih okoljskih spremenljivk med kraškimi in nekraškimi rekami (Kras vs. Nekras), med neobremenjenimi in obremenjenimi rekami (R vs. NR), med neobremenjenimi in obremenjenimi kraškimi rekami (KrasR vs. KrasNR) ter med neobremenjenimi in obremenjenimi nekraškimi rekami (NekrasR vs. NekrasNR) bioregije Preddinarska hribovja in ravnine. Statistična značilnost je označena z zvezdicami (\* p < 0,05, \*\*p < 0,01, \*\*\* p < 0,001).

Table 19. Mann-Whitney U test results of differences in environmental variables values between karst and non-karst rivers (Kras vs. Nekras), non-degraded and degraded rivers (R vs. NR), non-degraded and degraded karst rivers (KrasR vs. KrasNR), non-degraded and degraded non-karst rivers (NekrasR vs. NekrasNR) of Subdinaric hills and plains bioregion. Statistical significance is indicated by asterisks (\* p < 0,05, \*\*p < 0,01, \*\*\* p < 0,001).

| Okoljska spremenljivka                                  | Kras vs.<br>Nekras | R vs.<br>NR | Kras R vs.<br>Kras NR | NekrasR vs.<br>Nekras NR |
|---|--------------------|-------------|-----------------------|--------------------------|
| Nadmorska višina (m)                                    | 187***             | 860         | 101                   | 170                      |
| Naklon (%)  | 331***             | 625         | 120                   | 205                      |
| Kalcij ( $\text{Ca}^{2+}$ ) (mg/L)                      | 276***             | 672         | 117                   | 243                      |
| Magnezij ( $\text{Mg}^{2+}$ ) (mg/L)                    | 334***             | 662         | 91                    | 191                      |
| Alkaliteta ( $\mu\text{eqv/L}$ )                        | 608                | 522*        | 82                    | 114**                    |
| pH  | 321***             | 672         | 114                   | 213                      |
| Električna prevodnost (pri 25°C) ( $\mu\text{S/cm}$ )   | 424**              | 662         | 99                    | 243                      |
| Koncentracija raztopljenega kisika v vodi (mg/L)        | 254***             | 578         | 119                   | 139*                     |
| Nasičenost vode s kisikom (%)                           | 553                | 527*        | 114                   | 121**                    |
| Temperatura vode (°C)                                   | 209***             | 714         | 99                    | 237                      |
| Skupne suspendirane snovi (TSS) (mg/L)                  | 660                | 709         | 103                   | 210                      |
| BPK <sub>5</sub> (mg O <sub>2</sub> /L)                 | 648                | 478*        | 90                    | 152*                     |
| Celotni organski ogljik (TOC) (mg/L)                    | 275***             | 664         | 111                   | 201                      |
| Celotni fosfor (P) ( $\mu\text{g/L}$ )                  | 365***             | 669         | 95                    | 195                      |
| Ortofosfat ( $\text{PO}_4^{3-}$ -P) ( $\mu\text{g/L}$ ) | 346***             | 547         | 103                   | 151*                     |
| Celotni dušik (N) ( $\mu\text{g/L}$ )                   | 593                | 565         | 110                   | 176                      |
| Amonij ( $\text{NH}_4^+$ -N) ( $\mu\text{g/L}$ )        | 304***             | 590         | 117                   | 162*                     |
| Nitrit ( $\text{NO}_2^-$ -N) ( $\mu\text{g/L}$ )        | 354***             | 507*        | 96                    | 144*                     |
| Nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ) ( $\mu\text{g/L}$ )          | 501*               | 676         | 107                   | 225                      |
| Sulfat ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) (mg/L)                    | 330***             | 664         | 90                    | 247                      |
| Klorid ( $\text{Cl}^-$ ) (mg/L)                         | 505*               | 566         | 114                   | 164*                     |

se nadaljuje  
 to be continued

nadaljevanje.

continued.

| Okoljska spremenljivka                                   | Kras vs.<br>Nekras | R vs.<br>NR | Kras R vs.<br>Kras NR | Nekras R vs.<br>Nekras NR |
|--|--------------------|-------------|-----------------------|---------------------------|
| <i>Raba tal v neposrednih prispevnih površinah (NPP)</i> |                    |             |                       |                           |
| Urbane površine (%)                                      | 570                | 429***      | 55**                  | 172                       |
| Naravne površine (%)                                     | 692                | 570         | 78                    | 229                       |
| Intenzivno kmetijstvo (%)                                | 526                | 519*        | 112                   | 137*                      |
| Ekstenzivno kmetijstvo (%)                               | 514                | 603         | 119                   | 181                       |
| <i>Raba tal v skupnih prispevnih površinah (SPP)</i>     |                    |             |                       |                           |
| Urbane površine (%)                                      | 560                | 400***      | 93                    | 101**                     |
| Naravne površine (%)                                     | 448**              | 636         | 90                    | 248                       |
| Intenzivno kmetijstvo (%)                                | 671                | 644         | 99                    | 181                       |
| Ekstenzivno kmetijstvo (%)                               | 406**              | 459***      | 74                    | 153*                      |
| Megalital (%)  | 582                | 653         | 103                   | 247                       |
| Makrolital (%)   | 653                | 652         | 117                   | 228                       |
| Mezolital (%)  | 679                | 520*        | 100                   | 161*                      |
| Mikrolital (%)   | 351***             | 603         | 87                    | 148*                      |
| Akal (%)   | 275***             | 616         | 99                    | 248                       |
| Psamal (%)   | 554                | 549*        | 104                   | 179                       |
| Psamopelal in pelal (%)                                  | 536**              | 584*        | 78                    | 236                       |
| Argilal (%)  | 619                | 611*        | 96                    | 225                       |
| Makroalge (%)  | 558                | 600         | 103                   | 167**                     |
| Makrofiti (%)  | 254***             | 669         | 107                   | 203                       |
| Živi deli kopenskih rastlin (%)                          | 617                | 609         | 104                   | 160*                      |
| Ksilal in CPOM (%)                                       | 613                | 622         | 94                    | 233                       |
| Prelivanje (%)   | 674                | 678         | 113                   | 236                       |
| Lomljeni stoeči valovi (%)                               | 689                | 563*        | 77                    | 222                       |
| Nelomljeni stoeči valovi (%)                             | 600                | 566         | 79                    | 218                       |
| Rahlo valovanje (%)                                      | 646                | 464**       | 69*                   | 118                       |
| Lateralni tok (%)  | 685                | 632         | 101                   | 228                       |
| Gladki tok (%)   | 571                | 545         | 102                   | 166                       |
| Ni opaznega toka (%)                                     | 691                | 709         | 62*                   | 160*                      |

V rekah bioregije Preddinarska hribovja in ravnine nismo ugotovili nobenih statistično značilnih ( $p < 0,05$ ) močnih ( $r_s \geq 0,80$ ) korelacij med okoljskimi spremenljivkami (Preglednica 20). Nekaj (16) korelacij v rekah bioregije je bilo srednje močnih ( $0,60 < r_s < 0,80$ ). Največ (13) statistično značilnih srednje močnih korelacij je bilo med spremenljivkami iz istih skupin spremenljivk. Med spremenljivkami iz različnih skupin spremenljivk smo v rekah bioregije ugotovili tri srednje močne korelacije. Spremenljivka nadmorska višina iz skupine spremenljivk tipologija je bila v srednje močni pozitivni korelaciji s spremenljivkama koncentracija celotnega organskega ogljika in koncentracija amonija. Med spremenljivkama delež naravnih površin v SPP iz skupine spremenljivk raba tal in koncentracija klorida iz skupine spremenljivk kakovost vode smo ugotovili srednje močno negativno korelacijo.

V kraških rekah smo ugotovili eno močno negativno korelacijo med spremenljivkama delež naravnih površin v skupnih prispevnih površinah (SPP) in delež intenzivnega kmetijstva v SPP iz skupine spremenljivk raba tal. Eno močno negativno korelacijo smo ugotovili med spremenljivkama iz različnih skupin spremenljivk in sicer med deležem naravnih površin v SPP iz skupine spremenljivk raba tal in koncentracijo magnezija iz skupine spremenljivk tipologija. V kraških rekah smo med spremenljivkami iz različnih skupin spremenljivk ugotovili osem srednje močnih korelacij. Od ugotovljenih srednje močnih korelacij je bilo največ (šest) pozitivnih. Spremenljivka nadmorska višina iz skupine spremenljivk tipologija je bila v srednje močni pozitivni korelaciji s spremenljivkama celotni organski ogljik iz skupine spremenljivk kakovost vode in delež ekstenzivnega kmetijstva v SPP iz skupine spremenljivk raba tal. Iz skupine spremenljivk kakovost vode so bile v kraških rekah v srednje močni pozitivni korelacijski koncentracija skupnih suspendiranih snovi s koncentracijo kalcija iz skupine spremenljivk tipologija, celotni organski ogljik s spremenljivkama koncentracija magnezija iz skupine spremenljivk tipologija in delež urbanih površin iz skupine spremenljivk raba tal. Ena srednje močna pozitivna korelacija je bila prisotna med spremenljivkama celotni organski ogljik iz skupine spremenljivk kakovost vode in koncentracija magnezija iz skupine spremenljivk tipologija. Dve srednje močni negativni korelacijski med spremenljivkami iz različnih skupin spremenljivk sta bili prisotni med spremenljivkama koncentracija kalcija iz skupine spremenljivk tipologija in električno prevodnostjo vode iz skupine spremenljivk

kakovost vode ter med lomljenimi stoječimi valovi iz skupine spremenljivk značilnosti mikrohabitata in nitritom iz skupine spremenljivk kakovost vode.

V nekraških rekah smo ugotovili dve močni pozitivni korelaciji med spremenljivkami iz istih skupin spremenljivk. Ena močna korelacija je bila prisotna med spremenljivkama koncentracija raztopljenega kisika v vodi in nasičenostjo vode s kisikom v skupini spremenljivk kakovost vode, druga močna korelacija pa med spremenljivkama delež ekstenzivnega kmetijstva v SPP in delež ekstenzivnega kmetijstva v neposrednih prispevnih površinah (NPP) v skupini spremenljivk raba tal. Močnih korelacij med spremenljivkami iz skupine spremenljivk značilnosti mikrohabitata nismo ugotovili. V nekraških rekah smo ugotovili pet srednje močnih pozitivnih korelacij med spremenljivkami iz različnih skupin spremenljivk. Iz skupine spremenljivk tipologija je bila v nekraških rekah spremenljivka nadmorska višina v srednje močni pozitivni korelacijski s spremenljivko amonij, iz skupine spremenljivk raba tal pa delež intenzivnega kmetijstva v SPP s spremenljivko koncentracija nitrata iz skupine spremenljivk kakovost vode. V nekraških rekah je bila spremenljivka alkaliteta vode iz skupine spremenljivk tipologija v srednje močni negativni korelacijski s spremenljivkama delež psamala in delež živih delov kopenskih rastlin iz skupine spremenljivk značilnosti mikrohabitata. V nekraških rekah smo ugotovili še eno srednje močno negativno korelacijo med spremenljivkama delež naravnih površin v SPP iz skupine spremenljivk raba tal in nitratom iz skupine spremenljivk kakovost vode.

Ostale ugotovljene statistično značilne korelacije med okoljskimi spremenljivkami so bile šibke ( $r_s < 0,60$ ). Vrednosti vseh korelacijskih koeficientov  $r_s$  so v Prilogi D.

Preglednica 20. Statistično značilne ( $p < 0,01$ ) močne in srednje močne korelacije (Spearmanov korelacijski koeficient,  $r_s > 0,60$ ) med okoljskimi spremenljivkami v rekah bioregije Preddinarska hribovja in ravnine ((Pdhribavni – reke bioregije, Kras – kraške reke, Nekras – nekraške reke). Oznake in skupine spremenljivk so v Preglednici 13.

Table 20. Statistically significant ( $p < 0,01$ ) strong and moderate Spearman's correlations correlations ( $r_s > 0,60$ ) between environmental variables of rivers of Subdinaric hills and plains bioregion (Pdhribavni – rivers of bioregion, Kras – karst, Nekras – non-karst rivers). Variable groups and codes are indicated in Table 13.

| Pari spremenljivk |       | Pdhribavni | Kras         | Nekras      |
|-------------------|-------|------------|--------------|-------------|
|                   |       |            | $r_s$        |             |
| Sat               | O2    | 0,73       | 0,68         | <b>0,86</b> |
| PO4_P             | P_tot | 0,72       |              | 0,71        |
| NO2_N             | NH4_N | 0,71       |              | 0,72        |
| Ekm_s             | Ekm_n | 0,73       |              | <b>0,80</b> |
| NLstoj            | Lstoj | 0,77       | 0,79         | 0,78        |
| TOC               | NMV   |            | 0,75         |             |
| TSS               | BPK5  |            | 0,71         |             |
| NAR_s             | Ikm_s |            | <b>-0,86</b> | -0,64       |
| NAR_n             | Ikm_n |            | -0,70        |             |
| URB_n             | URB_s |            | 0,72         |             |
| Ekm_s             | NMV   |            | 0,72         |             |
| NAR_s             | Mg    |            | <b>-0,81</b> |             |
| NO3_N             | N_tot |            | 0,79         |             |
| NMV               | TOC   | 0,66       |              |             |
| NMV               | NH4_N | 0,64       |              | 0,67        |
| P_tot             | TOC   | 0,65       |              |             |
| PO4_P             | TOC   | 0,63       | 0,68         |             |
| NH4_N             | TOC   | 0,67       |              |             |
| NO2_N             | P_tot | 0,62       |              | 0,65        |
| NH4_N             | PO4_P | 0,63       |              | 0,66        |
| NO2_N             | PO4_P | 0,64       |              | 0,67        |
| NAR_s             | Cl    | -0,63      |              |             |
| NAR_s             | Ikm_s | 0,66       |              |             |
| Ikm_n             | Ikm_s | 0,63       |              | 0,67        |
| NMV               | Mg    |            | 0,67         |             |
| Prev25            | Ca    |            | -0,68        |             |
| TSS               | Ca    |            | 0,67         |             |
| TOC               | Mg    |            | 0,63         |             |
| Ekm_s             | Mg    |            | 0,68         |             |
| Urb_s             | TOC   |            | 0,65         |             |
| N_tot             | Cl    |            | 0,67         |             |
| Lstoj             | NO2_N |            | -0,61        |             |
| Mez               | Mak   |            | 0,66         |             |
| Lstoj             | Prel  |            | 0,67         |             |
| NH4_N             | P_tot |            |              | 0,61        |
| Psa               | Alk   |            |              | -0,63       |
| ZDKR              | Alk   |            |              | -0,69       |
| NAR_s             | NO3_N |            |              | -0,64       |
| Ikm_s             | NO3_N |            |              | 0,61        |
| ZDKR              | Psa   |            |              | 0,62        |
| NOT               | Psa   |            |              | 0,62        |
| NLstoj            | GT    |            |              | -0,62       |

### 7.2.2 Povezave med združbami ličink EPT, spremenljivkami tipologije, rabe tal, kakovosti vode in značilnosti mikrohabitata

S posameznimi spremenljivkami smo pojasnili različne deleže variabilnosti združb ličink EPT (Preglednica 21).

Preglednica 21. Celotna variabilnost ter pojasnjene variabilnosti združb ličink enodnevnic, vrbnic in mladoletnic (EPT) pred izbiranjem ( $\lambda_1$ ) in po izbiranju ( $\lambda_a$ ) spremenljivk iz skupin tipologija (T), raba tal (L), kakovost vode (Q) in značilnosti mikrohabitata (M) v rekah bioregije Preddinarska hribovja in ravnine (Pdhribavni), kraških rekah (Kras) in nekraških rekah (Nekras) bioregije Preddinarska hribovja in ravnine. Vrednosti  $\lambda_a$  so navedene samo za spremenljivke, s katerimi smo statistično značilno (\*  $p < 0,05$ , \*\*  $p < 0,01$ , \*\*\*  $p < 0,001$ ) pojasnili variabilnost matrik taksonov EPT. *Kurziv* – skupina spremenljivk

Table 21. Total inertia, marginal ( $\lambda_1$ ) and conditional ( $\lambda_a$ ) effects of tipology (T), land use (L), microhabitat (M) and water quality (Q) variables for Ephemeroptera, Plecoptera and Trichoptera (EPT) assemblages of rivers of Subdinaric hills and plains bioregion (Pdhribavni), karst rivers (Kras) and non-karst rivers (Nekras) of Subdinaric hills and plains bioregion.  $\lambda_a$  values are indicated for statistically significant variables (\*  $p < 0,05$ , \*\*  $p < 0,01$ , \*\*\*  $p < 0,001$ ) only. *Italics* – variables group

|   | Pdhribavni  |             | Kras        |             | Nekras      |             |
|---|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Celotna variabilnost matrik taksonov<br>(total inertia) | 3,824       |             | 3,207       |             | 3,033       |             |
| Spremenljivka   | $\lambda_1$ | $\lambda_a$ | $\lambda_1$ | $\lambda_a$ | $\lambda_1$ | $\lambda_a$ |
| <i>Tipologija (T)</i>                                   |             |             |             |             |             |             |
| Meandriranje  | 0,17        | 0,17***     | 0,20        | 0,18*       | -           | -           |
| Vpliv kraškega izvira                                   | 0,15        | 0,13***     | 0,22        | 0,22**      | -           | -           |
| Nadmorska višina  | 0,12        |             | 0,17        |             | 0,15        | 0,12**      |
| Kalcij  | 0,12        |             | 0,17        | 0,16*       | 0,07        |             |
| Naklon  | 0,11        | 0,08**      | 0,07        |             | 0,12        | 0,12**      |
| Velikost prispevne površine                             | 0,09        | 0,11***     | 0,14        |             | 0,21        | 0,21***     |
| Alkaliteta  | 0,09        | 0,08**      | 0,17        |             | 0,11        | 0,10*       |
| Magnezij  | 0,09        |             | 0,17        | 0,15*       | 0,08        |             |
| <i>Raba tal(L)</i>                                      |             |             |             |             |             |             |
| Urbane površine SPP                                     | 0,14        | 0,14***     | 0,18        | 0,18*       | 0,18        | 0,18***     |
| Naravne površine SPP                                    | 0,10        | 0,07*       | 0,14        |             | 0,12        | 0,11*       |
| Ekstenzivno kmetijstvo SPP                              | 0,09        | 0,09**      | 0,17        | 0,17*       | 0,09        | 0,11**      |
| Ekstenzivno kmetijstvo NPP                              | 0,08        |             | 0,11        |             | 0,09        |             |
| Intenzivno kmetijstvo SPP                               | 0,07        | 0,07*       | 0,10        |             | 0,11        |             |
| Urbane površine NPP                                     | 0,07        |             | 0,09        |             | 0,09        |             |
| Intenzivno kmetijstvo NPP                               | 0,07        |             | 0,10        |             | 0,10        |             |
| Naravne površine NPP                                    | 0,06        |             | 0,09        |             | 0,10        |             |

se nadaljuje  
to be continued

nadaljevanje.

continued.

| Spremenljivka                        | Pdhribavni  |             | Kras        |             | Nekras      |             |
|--------------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|                                      | $\lambda_1$ | $\lambda_a$ | $\lambda_1$ | $\lambda_a$ | $\lambda_1$ | $\lambda_a$ |
| <i>Kakovost vode (Q)</i>             |             |             |             |             |             |             |
| pH                                   | 0,14        | 0,14***     | 0,18        | 0,14*       | 0,14        | 0,13***     |
| Sulfat                               | 0,10        |             | 0,19        | 0,22***     | 0,07        |             |
| Ortofosfat                           | 0,10        |             | 0,14        |             | 0,13        |             |
| Nitrit                               | 0,10        | 0,09*       | 0,16        |             | 0,15        | 0,10*       |
| Skupni organski ogljik               | 0,09        | 0,11**      | 0,15        |             | 0,10        |             |
| Koncentracija kisika                 | 0,09        |             | 0,10        |             | 0,17        | 0,17***     |
| Prevodnost                           | 0,09        | 0,07*       | 0,21        | 0,21**      | 0,09        |             |
| Skupne suspendirane snovi            | 0,09        |             | 0,17        |             | 0,12        |             |
| Skupni fosfor                        | 0,09        |             | 0,14        |             | 0,12        |             |
| BPK                                  | 0,09        | 0,09**      | 0,20        | 0,18**      | 0,11        |             |
| Klorid                               | 0,08        |             | 0,21        | 0,19**      | 0,10        |             |
| Nitrat                               | 0,06        |             | 0,18        |             | 0,06        |             |
| Skupni dušik                         | 0,06        |             | 0,18        |             | 0,08        |             |
| Nasičenost s kisikom                 | 0,06        |             | 0,08        |             | 0,15        | 0,12**      |
| Amonij                               | 0,05        |             | 0,15        | 0,15*       | 0,07        |             |
| <i>Značilnosti mikrohabitata (M)</i> |             |             |             |             |             |             |
| Makrofiti                            | 0,13        | 0,13***     | 0,21        | 0,21**      | 0,10        |             |
| Lomljeni stoječi valovi              | 0,11        | 0,11**      | 0,17        |             | 0,16        |             |
| Nelomljeni stoječi valovi            | 0,10        |             | 0,14        |             | 0,14        |             |
| Ni opaznega toka                     | 0,10        | 0,09**      | 0,19        | 0,21**      | 0,11        |             |
| Gladki tok                           | 0,10        |             | 0,14        | 0,19**      | 0,16        | 0,16***     |
| Akal                                 | 0,10        |             | 0,16        |             | 0,06        |             |
| Psamopelal in pelal                  | 0,09        |             | 0,08        |             | 0,07        |             |
| Hidromorfološka spremenjenost        | 0,09        | 0,08**      | 0,08        |             | 0,09        |             |
| Mikrolital                           | 0,09        |             | 0,12        |             | 0,11        | 0,09*       |
| Ksilal in CPOM                       | 0,09        | 0,09**      | 0,14        |             | 0,08        |             |
| Makroalge                            | 0,09        |             | 0,14        | 0,13*       | 0,13        | 0,12*       |
| Megalital                            | 0,08        | 0,08*       | 0,21        |             | 0,08        |             |
| Rahlo valovanje                      | 0,08        |             | 0,17        |             | 0,09        |             |
| Makrolital                           | 0,08        |             | 0,18        | 0,16**      | 0,11        |             |
| Prelivanje                           | 0,08        |             | 0,16        |             | 0,10        |             |
| Živi deli kopenskih rastlin          | 0,07        |             | 0,13        |             | 0,12        |             |
| Mezolital                            | 0,06        |             | 0,14        |             | 0,07        |             |
| Psamal                               | 0,06        |             | 0,13        |             | 0,08        |             |
| Lateralni tok                        | 0,06        |             | 0,11        |             | 0,09        |             |
| Argilal                              | 0,05        |             | 0,08        |             | 0,04        |             |

V rekah bioregije Preddinarska hribovja in ravnine smo največ variabilnosti združb ličink EPT pojasnili s spremenljivko meandriranje ( $\lambda_1 = 0,17$ ) iz skupine spremenljivk tipologija, delež urbanih površin v skupnih prispevnih površinah ( $\lambda_1 = 0,14$ ) iz skupine spremenljivk raba tal, pH ( $\lambda_1 = 0,14$ ) iz skupine spremenljivk kakovost vode in delež makrofitov ( $\lambda_1 = 0,13$ ) iz skupine spremenljivk značilnosti mikrohabitata.

V kraških in nekraških rekah smo največ variabilnosti združb ličink EPT pojasnili z različnimi spremenljivkami iz skupin spremenljivk tipologija, raba tal, kakovost vode in značilnosti mikrohabitata. V kraških rekah smo pojasnili največ variabilnosti s spremenljivko vpliv kraškega izvira ( $\lambda_1 = 0,22$ ) iz skupine spremenljivk tipologija, delež urbanih površin v skupnih prispevnih površinah ( $\lambda_1 = 0,18$ ) iz skupine spremenljivk raba tal, sulfat ( $\lambda_1 = 0,19$ ) iz skupine spremenljivk kakovost vode in delež makrofitov ( $\lambda_1 = 0,13$ ) iz skupine spremenljivk značilnosti mikrohabitata. V nekraških rekah smo največ variabilnosti pojasnili s spremenljivko velikost prispevne površine ( $\lambda_1 = 0,21$ ) iz skupine spremenljivk tipologija, delež urbanih površin v skupnih prispevnih površinah ( $\lambda_1 = 0,18$ ) iz skupine spremenljivk raba tal, koncentracija raztopljenega kisika v vodi ( $\lambda_1 = 0,17$ ) iz skupine spremenljivk kakovost vode ter s spremenljivkama gladki tok in lomljeni stoječi valovi ( $\lambda_1 = 0,16$ ) iz skupine spremenljivk značilnosti mikrohabitata.

Razmerja variabilnosti združb ličink EPT, ki smo jih pojasnili z isto okoljsko spremenljivko, so bila različna v rekah bioregije Preddinarska hribovja in ravnine, v kraških in nekraških rekah bioregije Preddinarska hribovja in ravnine (Preglednica 22).

Preglednica 22. Razmerja med variabilnostjo združb ličink EPT, pojasnjeno s posamezno okoljsko spremenljivko ( $\lambda_1$ ) in variabilnostjo združb ličink EPT, pojasnjeno z najbolj pojasnevalno spremenljivko ( $\lambda_{1\max}$ ) iz skupine spremenljivk v rekah bioregije (Pdhribavni), kraških rekah (Kras) in nekraških (Nekras) rekah bioregije Preddinarska hribovja in ravnine. Razmerja  $\lambda_1/\lambda_{1\max} > 0,80$  so označena krepko. *Kurziv* – skupina spremenljivk.

Table 22. Ratios between EPT larvae assemblages variability explained by each environmental variable ( $\lambda_1$ ) and the most explanatory environmental variable ( $\lambda_{1\max}$ ) of environmental variable group in rivers of Subdinaric hills and plains bioregion (Pdhribavni), karst (Kras) and non-karst (Nekras) rivers of Subdinaric hills and plains bioregion. Ratios  $\lambda_1/\lambda_{1\max} > 0,80$  are in bold. *Italics* – variables group.

| Spremenljivka               | Pdhribavni                  | Kras        | Nekras      |
|-----------------------------|-----------------------------|-------------|-------------|
| <i>Tipologija (T)</i>       | $\lambda_1/\lambda_{1\max}$ |             |             |
| Meandriranje                | <b>1,00</b>                 | <b>0,91</b> | -           |
| Vpliv kraškega izvira       | <b>0,88</b>                 | <b>1,00</b> | -           |
| Nadmorska višina            | 0,71                        | 0,77        | 0,71        |
| Kalcij                      | 0,71                        | 0,77        | 0,33        |
| Naklon                      | 0,65                        | 0,32        | 0,57        |
| Velikost prispevne površine | 0,53                        | 0,64        | <b>1,00</b> |
| Alkaliteta                  | 0,53                        | 0,77        | 0,52        |
| Magnezij                    | 0,53                        | 0,77        | 0,38        |

se nadaljuje  
to be continued

nadaljevanje.

continued.

| Spremenljivka                        | Pdhribavni                  | Kras        | Nekras      |
|--------------------------------------|-----------------------------|-------------|-------------|
|                                      | $\lambda_1/\lambda_{1\max}$ |             |             |
| <i>Raba tal (L)</i>                  |                             |             |             |
| Urbane površine SPP                  | <b>1,00</b>                 | <b>1,00</b> | <b>1,00</b> |
| Naravne površine SPP                 | 0,71                        | 0,78        | 0,67        |
| Ekstenzivno kmetijstvo SPP           | 0,64                        | <b>0,94</b> | 0,50        |
| Ekstenzivno kmetijstvo NPP           | 0,57                        | 0,61        | 0,50        |
| Intenzivno kmetijstvo SPP            | 0,50                        | 0,56        | 0,61        |
| Urbane površine NPP                  | 0,50                        | 0,50        | 0,50        |
| Intenzivno kmetijstvo NPP            | 0,50                        | 0,56        | 0,56        |
| Naravne površine NPP                 | 0,43                        | 0,50        | 0,56        |
| <i>Kakovost vode (Q)</i>             |                             |             |             |
| pH                                   | <b>1,00</b>                 | <b>0,86</b> | <b>0,82</b> |
| Sulfat                               | 0,71                        | <b>0,90</b> | 0,41        |
| Ortofosfat                           | 0,71                        | 0,67        | 0,76        |
| Nitrit                               | 0,71                        | 0,76        | <b>0,88</b> |
| Skupni organski ogljik               | 0,64                        | 0,71        | 0,59        |
| Koncentracija kisika                 | 0,64                        | 0,48        | <b>1,00</b> |
| Prevodnost                           | 0,64                        | <b>1,00</b> | 0,53        |
| Skupne suspendirane snovi            | 0,64                        | <b>0,81</b> | 0,71        |
| Skupni fosfor                        | 0,64                        | 0,67        | 0,71        |
| BPK                                  | 0,64                        | <b>0,95</b> | 0,65        |
| Klorid                               | 0,57                        | <b>1,00</b> | 0,59        |
| Nitrat                               | 0,43                        | <b>0,86</b> | 0,35        |
| Skupni dušik                         | 0,43                        | <b>0,86</b> | 0,47        |
| Nasičenost s kisikom                 | 0,43                        | 0,38        | <b>0,88</b> |
| Amonij                               | 0,36                        | 0,71        | 0,41        |
| <i>Značilnosti mikrohabitata (M)</i> |                             |             |             |
| Makrofiti                            | <b>1,00</b>                 | <b>1,00</b> | 0,63        |
| Lomljeni stopeči valovi              | <b>0,85</b>                 | <b>0,81</b> | <b>1,00</b> |
| Nelomljeni stopeči valovi            | 0,77                        | 0,67        | <b>0,88</b> |
| Ni opaznega toka                     | 0,77                        | <b>0,90</b> | 0,69        |
| Gladki tok                           | 0,77                        | 0,67        | <b>1,00</b> |
| Akal                                 | 0,77                        | 0,76        | 0,38        |
| Psamopelal in pelal                  | 0,69                        | 0,38        | 0,44        |
| Hidromorfološka spremenjenost        | 0,69                        | 0,38        | 0,56        |
| Mikrolital                           | 0,69                        | 0,57        | 0,69        |
| Ksilal in CPOM                       | 0,69                        | 0,67        | 0,50        |
| Makroalge                            | 0,69                        | 0,67        | <b>0,81</b> |
| Megalital                            | 0,62                        | <b>1,00</b> | 0,50        |
| Rahlo valovanje                      | 0,62                        | <b>0,81</b> | 0,56        |
| Makrolital                           | 0,62                        | <b>0,86</b> | 0,69        |
| Prelivanje                           | 0,62                        | 0,76        | 0,63        |
| Živi deli kopenskih rastlin          | 0,54                        | 0,62        | 0,75        |
| Mezolital                            | 0,46                        | 0,67        | 0,44        |
| Psamal                               | 0,46                        | 0,62        | 0,50        |
| Lateralni tok                        | 0,46                        | 0,52        | 0,56        |
| Argilal                              | 0,38                        | 0,38        | 0,25        |

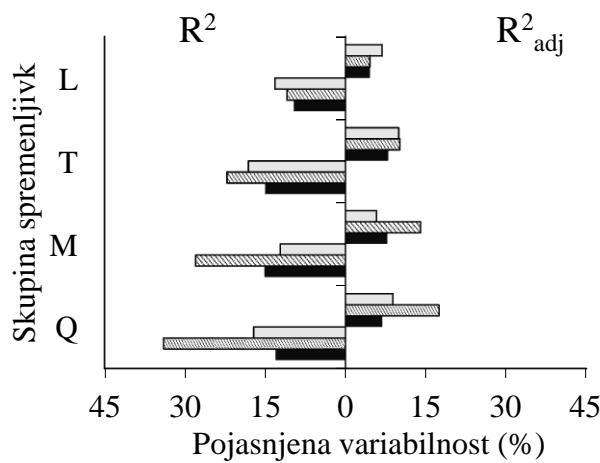
Iz posameznih skupin spremenljivk smo z metodo izbiranja (angl. forward selection, FS) izbrali različno število in različne kombinacije spremenljivk, ki statistično značilno pojasnjujejo variabilnost združb ličink EPT (Preglednici 21, 23). V rekah bioregije Preddinarska hribovja in ravnine smo združbe ličink EPT statistično značilno pojasnili s šestimi spremenljivkami iz skupine značilnosti mikrohabitata, petimi spremenljivkami iz vsake skupine spremenljivk tipologija in kakovost vode, ter štirimi spremenljivkami iz skupine raba tal. V kraških rekah smo združbe ličink EPT statistično značilno pojasnili s šestimi spremenljivkami iz skupine kakovost vode, petimi spremenljivkami iz skupine značilnosti mikrohabitata, štirimi spremenljivkami iz skupine tipologija in dvema spremenljivkama iz skupine raba tal. V nekraških rekah smo združbe ličink EPT statistično značilno pojasnili s štirimi spremenljivkami iz vsake od skupin spremenljivk tipologija in kakovost vode, ter tremi spremenljivkami iz vsake od skupin spremenljivk raba tal in značilnosti mikrohabitata.

Preglednica 23. Vrednosti F-testa in statistična značilnost pojasnjene variabilnosti združb ličink EPT z izbranimi spremenljivkami po skupinah spremenljivk tipologija (T), raba tal (L), značilnosti mikrohabitata (M) in kakovost vode (Q) v rekah bioregije Preddinarska hribovja in ravnine (Pdhribavni – reke bioregije Preddinarska hribovja in ravnine, Kras – kraške reke, Nekras – nekraške reke bioregije Preddinarska hribovja in ravnine). \*\* p < 0,01, \*\*\* p < 0,001.

Table 23. F –test and statistical significance of EPT larvae assemblages variability explained by the forward selected variables in typology (T), land use (L), microhabitat (M) and water quality (Q) variables group in rivers of Subdinaric hills and plains bioregion (Pdhribavni – rivers of Subdinaric hills and plains bioregion, Kras – karst rivers, Nekras – non-karst rivers of Subdinaric hills and plains bioregion). \*\* p < 0,01, \*\*\* p < 0,001.

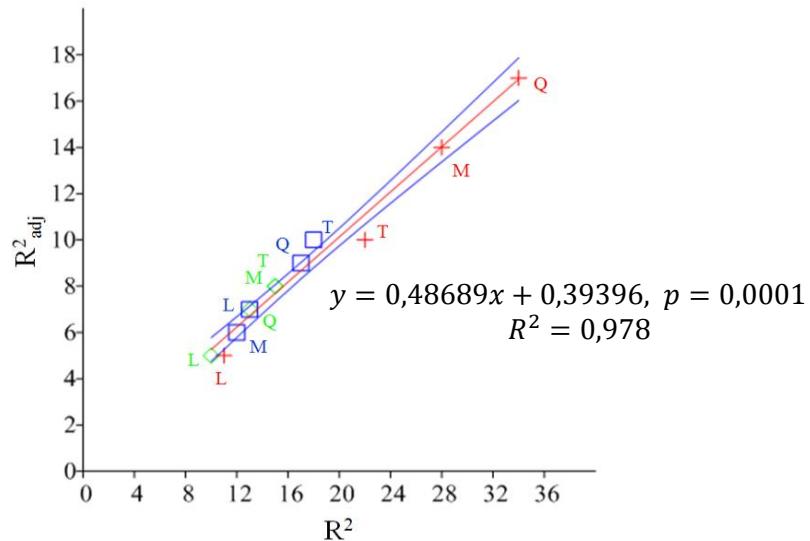
| Skupina spremenljivk          | Pdhribavni | Kras     | Nekras   |
|-------------------------------|------------|----------|----------|
|                               | F          |          |          |
| Tipologija (T)                | 2,464***   | 1,851*** | 2,195*** |
| Raba tal (Q)                  | 1,926***   | 1,692**  | 1,920*** |
| Značilnosti mikrohabitata (M) | 2,051***   | 1,862*** | 1,928*** |
| Kakovost vode (Q)             | 2,083***   | 2,045*** | 2,090*** |

Pred izvedbo analiz pCCA smo preverili odnos med vrednostmi neprilagojenih cenilk ( $R^2$ ) in prilagojenih cenilk ( $R^2_{adj}$ ) pojasnjene variabilnosti združb ličink EPT z izbranimi spremenljivkami (Slika 28). Po izračunu prilagojenih cenilk so se razmerja med deleži pojasnjene variabilnosti taksonov EPT ohranila pri vseh skupinah spremenljivk ( $R^2 = 0,978$ ,  $p = 0,0001$ ) (Slika 29), zato smo v analizah pCCA uporabili vrednosti neprilagojenih cenilk.



Slika 28. Deleži pojasnjene variabilnosti združb ličink EPT z izbranimi spremenljivkami iz skupin spremenljivk tipologija (T), raba tal (L), kakovost vode (Q), značilnosti mikrohabitata (M) v rekah bioregije Preddinarska hribovja in ravnine (Pdhribavni), kraških rekah (Kras) in nekraških rekah (Nekras) bioregije Preddinarska hribovja in ravnine.  $R^2$  – neprilagojena cenilka pojasnjene variabilnosti,  $R^2_{adj}$  – prilagojena cenilka pojasnjene variabilnosti.

Figure 28. Percentages of the EPT larvae assemblages variability explained by forward selected typology (T), land use (L), water quality (Q), and microhabitat characteristics (M) variables in rivers of Subdinaric hills and plains bioregion (Pdhribavni), karst rivers (Kras) and non-karst rivers (Nekras) of Subdinaric hills and plains bioregion.  $R^2$  – non-adjusted explained variability,  $R^2_{adj}$  – adjusted explained variability.

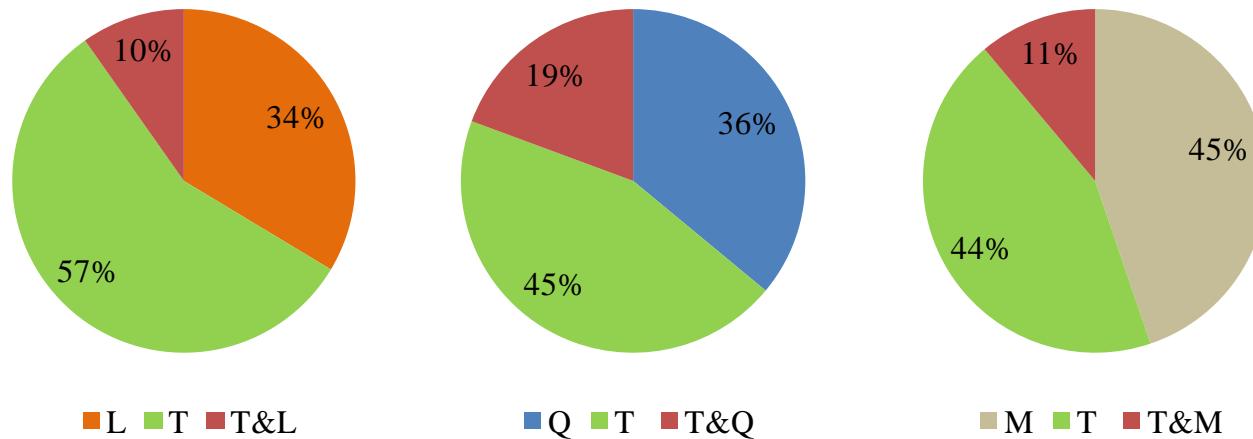


Slika 29. Odnos med deleži pojasnjene variabilnosti združb ličink EPT, izračunanimi z neprilagojeno ( $R^2$ ) in prilagojeno ( $R^2_{adj}$ ) cenilko (◊ - reke bioregije Preddinarska hribovja in ravnine, + - kraške reke, □ - nekraške reke, skupine spremenljivk: T – tipologija, L – raba tal, Q – kakovost vode, M – značilnosti mikrohabitata).

Figure 29. Relation between percentages of the explained EPT larvae assemblages variability calculated as non-adjusted ( $R^2$ ) and adjusted ( $R^2_{adj}$ ) explained variability (◊ - rivers of Subdinaric hills and plains bioregion, + - karst rivers, □ - non-karst rivers, and groups of variables: T - tipology , L – land use, Q - water quality, M – microhabitat characteristics).

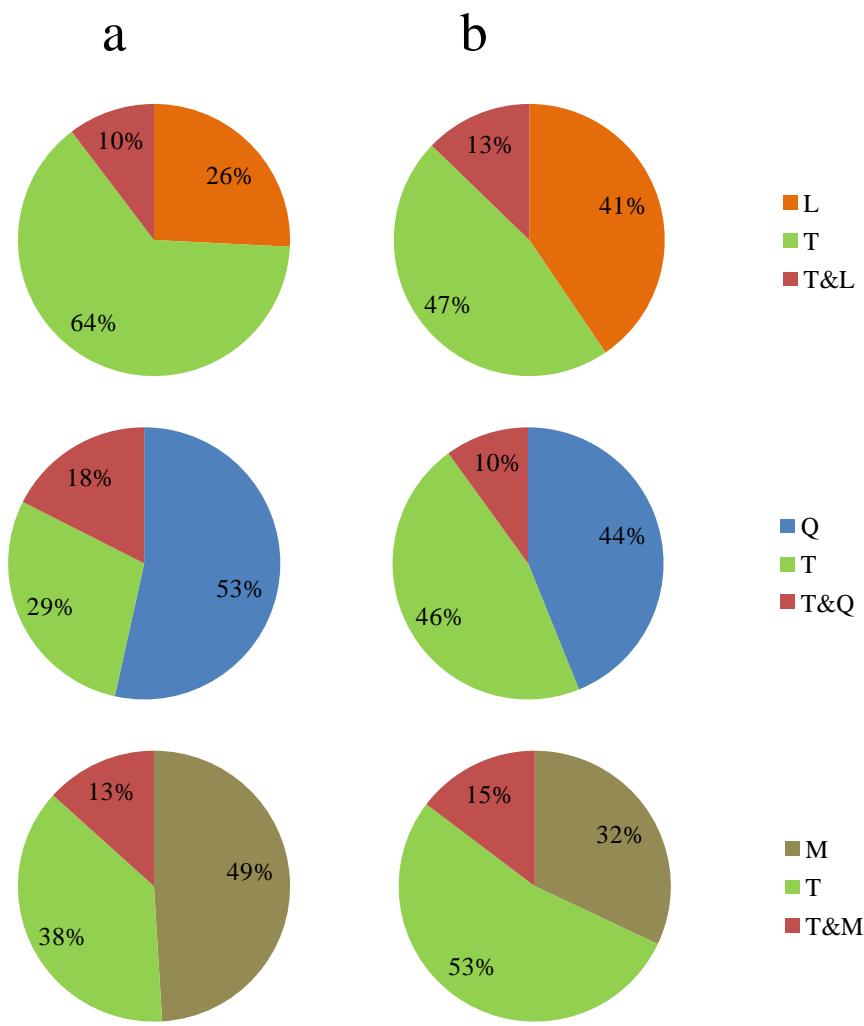
### **7.2.3 Porazdelitev pojasnjene variabilnosti združb ličink EPT med skupine spremenljivk tipologija in raba tal, tipologija in kakovost vode ter tipologija in značilnosti mikrohabitata**

Deleže pojasnjene variabilnosti združb ličink EPT smo porazdelili med dve skupini spremenljivk: a) tipologija in raba tal, b) tipologija in kakovost vode, c) tipologija in značilnosti mikrohabitata. Disjunktni deleži pojasnjene variabilnosti združb ličink EPT so bili bili pojasnjeni z eno skupino skupino spremenljivk. Presečni deleži pojasnjene variabilnosti združb ličink EPT so bili pojasnjeni z dvema skupinama spremenljivk. Ugotovili smo različne deleže pojasnjene variabilnosti združb ličink EPT s posamezno skupino spremenljivk in z dvema skupinama spremenljivk hkrati (Sliki 30, 31). V raziskovani bioregiji smo s skupino spremenljivk tipologija pojasnili večje disjunktne deleže variabilnosti združb ličink EPT kot s skupinama spremenljivk raba tal in kakovost vode (Slika 30). S skupino spremenljivk značilnosti mikrohabitata smo pojasnili približno enak (45 %) disjunktni delež kot s skupino spremenljivk tipologija. Najmanjši delež variabilnosti združb ličink EPT (34 %), v primerjavi s skupino spremenljivk tipologija, smo pojasnili s skupino spremenljivk raba tal. S skupino spremenljivk kakovost vode smo pojasnili nekoliko manjši delež (36 %) variabilnosti združb ličink EPT kot s spremenljivkami tipologije. Disjunktni deleži variabilnosti, ki smo jih pojasnili s skupino spremenljivk tipologija so bili v kraških rekah od 29–64 %, v nekraških pa od 45–53 % (Slika 31). V kraških rekah smo s skupino spremenljivk tipologija pojasnili večje disjunktne deleže kot s skupino spremenljivk raba tal. Disjunktni deleži, ki smo jih pojasnili s skupinama spremenljivk kakovost vode in značilnosti mikrohabitata pa so bili v kraških rekah večji (10-20 %) od disjunktnih deležev pojasnjenih s skupino spremenljivk tipologija. V nekraških rekah smo ugotovili večje disjunktne deleže variabilnosti združb ličink EPT pojasnjene s skupino spremenljivk tipologija od disjunktnih deležev pojasnjenih s skupinami spremenljivk raba tal, kakovost vode in značilnosti mikrohabitata. S skupino spremenljivk raba tal smo v kraških rekah pojasnili manjši (26 %) disjunktni delež variabilnosti združb ličink EPT kot v nekraških rekah (41 %). Z ostalima skupinama spremenljivk, kakovost vode in značilnosti mikrohabitata, smo v kraških rekah pojasnili večje (za 9–17 %) disjunktne deleže variabilnosti združb ličink EPT kot v nekraških rekah. Povsod smo ugotovili manjše presečne deleže pojasnjene variabilnosti od disjunktnih deležev (Sliki 30, 31).



Slika 30. Porazdelitev variabilnosti združb ličink EPT med skupino spremenljivk tipologija (T) in skupino spremenljivk: raba tal (L), kakovost vode (Q) ali značilnosti mikrohabitata (M) v rekah bioregije Preddinarska hribovja in ravnine. Deleži pojasnjene variabilnosti so podani kot disjunktni deleži (T, L, Q, M) in presečni deleži (T&L, T&Q, T&M).

Figure 30. EPT larvae assemblages variability partitioned between typology (T) and: land use (L), water quality (Q) or microhabitat (M) variables in rivers of Subdinaric hills and plains bioregion. Percentages of explained variability are calculated as unique (T, L, Q, M) and common (T&L, T&Q, T&M) contribution of variable groups.

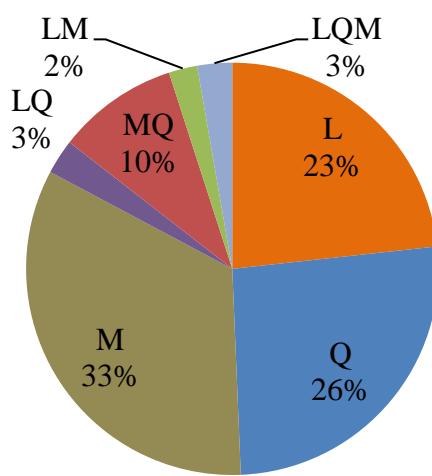


Slika 31. Porazdelitev variabilnosti združb ličink EPT med skupino spremenljivk tipologija (T) in skupino spremenljivk: raba tal (L), kakovost vode (Q) ali značilnosti mikrohabitata (M) v a) kraških rekah in b) nekraških rekah bioregije Preddinarska hribovja in ravnine. Deleži pojasnjene variabilnosti so podani kot disjunktni deleži (T, L, Q, M) in presečni deleži (T&L, T&Q, T&M).

Figure 31. EPT larvae assemblages variability partitioned between typology (T) and: land use (L), water quality (Q) or microhabitat (M) variables in a) karst and b) non-karst rivers of Subdinaric hills and plains bioregion. Percentages of explained variability are calculated as unique (T, L, Q, M) and common (T&L, T&Q, T&M) contribution of variable groups.

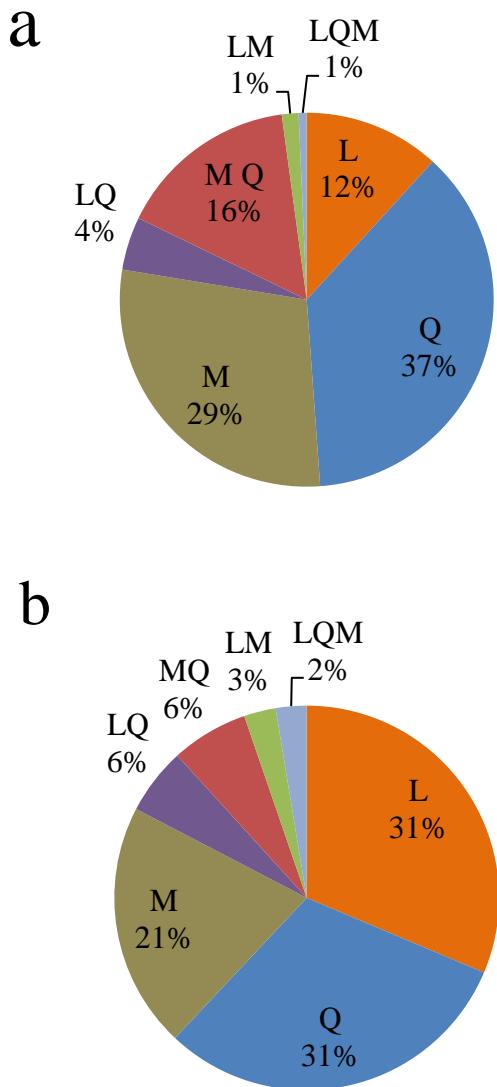
#### 7.2.4 Porazdelitev pojasnjene variabilnosti združb ličink EPT med skupine spremenljivk raba tal, kakovost vode in značilnosti mikrohabitata

Deleže pojasnjene variabilnosti združb ličink EPT smo porazdelili med tri skupine spremenljivk, in sicer raba tal, kakovost vode in značilnosti mikrohabitata. V raziskovani bioregiji smo s skupinami spremenljivk raba tal, značilnosti mikrohabitata in kakovosti vode pojasnili skupno več kot 80 % variabilnosti združb ličink EPT (Slika 32). Največji (33 %) disjunktni delež variabilnosti združb ličink EPT smo pojasnili s skupino spremenljivk značilnosti mikrohabitata, nekoliko manjši (26 %) s skupino spremenljivk kakovost vode in najmanjši (23 %) s skupino spremenljivk raba tal. S porazdelitvijo deležev variabilnosti združb ličink EPT smo ugotovili manjše presečne deleže od disjunktnih deležev.



Slika 32. Porazdelitev variabilnosti združb ličink EPT med skupine spremenljivk raba tal (L), kakovost vode (Q) in značilnosti mikrohabitata (M) v rekah bioregije Preddinarska hribovja in ravnine. Deleži pojasnjene variabilnosti so podani kot disjunktni deleži (L, Q, M) in presečni deleži dveh skupin spremenljivk (LM, LQ, MQ) in treh skupin spremenljivk (LQM).

Figure 32. EPT larvae assemblages variability partitioned between land use (L), water quality (Q) and microhabitat (M) variables in rivers of Subdinaric hills and plains bioregion. Percentages of explained variability are calculated as unique (L, Q, M) and common contribution of two (LM, LQ, MQ) and three (LQM) variable groups.



Slika 33. Porazdelitev variabilnosti združb ličink EPT med skupine spremenljivk raba tal (L), kakovost vode (Q) in značilnosti mikrohabitata (M) v a) kraških in b) nekraških rekah bioregije Preddinarska hribovja in ravnine. Deleži pojasnjene variabilnosti so podani kot disjunktni deleži (L, Q, M) in presečni deleži dveh skupin spremenljivk (LM, LQ, MQ) in treh skupin spremenljivk (LQM).

Figure 33. EPT larvae assemblages variability partitioned between land use (L), water quality (Q) and microhabitat (M) variables in a) karst and b) non-karst rivers of Subdinaric hills and plains bioregion. Percentages of explained variability are calculated as unique (L, Q, M) and common contribution of two (LM, LQ, MQ) and three (LQM) variable groups.

Skupno smo s posameznimi skupinami spremenljivk v nekraških rekah pojasnili primerljiv delež variabilnosti združb ličink EPT kot v kraških rekah (Slika 33). Največji disjunktni delež variabilnosti združb ličink EPT v kraških rekah smo pojasnili s skupino spremenljivk kakovost vode (37 %), nekoliko manjši s skupino spremenljivk značilnosti mikrohabitata (29 %) in najmanjši (12 %) s skupino spremenljivk raba tal. V nekraških rekah smo s posameznima skupinama spremenljivk raba tal in kakovost vode pojasnili enak (31 %) največji disjunktni delež variabilnosti združb ličink EPT. S skupino spremenljivk značilnosti mikrohabitata pojasnjen disjunktni delež variabilnosti zdrub ličink EPT je bil v nekraških rekah najmanjši (21 %). V kraških rekah je bilo največ presečnih deležev pojasnjene variabilnosti manjših od disjunktivnih deležev, razen presečnega deleža značilnosti mikrohabitata in kakovost vode, ki je bil večji od disjunktnega deleža rabe tal. S presečnimi deleži raba tal in kakovost vode, raba tal in značilnosti mikrohabitata ter raba tal, kakovost vode in značilnosti mikrohabitata smo pojasnili od 1–4 % variabilnosti združb ličink EPT v kraških rekah. V nekraških rekah smo ugotovili manjše presečne deleže pojasnjene variabilnosti združb ličink EPT od disjunktnih deležev. S presečnimi deleži značilnosti mikrohabitata in kakovost vode, raba tal in značilnosti mikrohabitata, raba tal in kakovost vode ter raba tal, kakovost vode in značilnosti mikrohabitata smo pojasnili od 2–6 % variabilnosti združb ličink EPT v nekraških rekah.

## 8 RAZPRAVA

### 8.1 RAZLIKE V ZDRUŽBAH LIČINK EPT ZARADI TIPOLOŠKIH ZNAČILNOSTI IN OBREMENITEV REK

Pogoj za uspešno upravljanje z ekosistemi tekočih voda je dobro poznavanje njihove zgradbe in delovanja (Ward, 1998; Townsend in Riley, 1999; Lorenz in sod., 2004a). Ekosisteme tekočih voda določajo naravne (tipološke) značilnosti in obremenitve, zato se združbe bentoških nevretenčarjev razlikujejo med ekosistemi tekočih voda (Allan, 2004; Lorenz in sod., 2004a; Urbanič in Toman, 2007; Dohet in sod., 2008). Čeprav so navedeni raziskovalci ugotovili, da so združbe bentoških nevretenčarjev določene s tipološkimi značilnostmi in obremenitvami rek, nihče od njih ni ugotavljal, ali so združbe bolj določene s tipološkimi značilnostmi ali s stopnjo obremenitve rek. Združbe neobremenjenih oz. malo obremenjenih rek se običajno dobro razlikujejo glede na tipološke značilnosti rek (Lorenz in sod., 2004a; Verdonschot, 2006). Največ ličink EPT je prisotnih v neobremenjenih in malo obremenjenih vodotokih (Soldan in sod., 1998; Helešic, 2001; Urbanič in Toman, 2007), zato smo pričakovali, da bomo združbe ličink EPT v raziskovani bioregiji bolje pojasnili s tipološkimi značilnostmi rek kot s stopnjo obremenitev rek. V nasprotju s pričakovanji smo ugotovili, da tipološke značilnosti rek enako dobro pojasnjujejo združbe ličink EPT kot stopnja obremenitve rek. To pomeni, da so razlike v sestavi združb in številnosti ličink EPT enako povezane s tipološkimi značilnostmi kot z obremenitvami rek. Dodatne statistično značilne razlike v sestavi združb in številnosti ličink EPT smo ugotovili zaradi kombiniranega vpliva tipoloških značilnosti in obremenitev rek. V obremenjenih rekah so združbe pogosto podobne v sestavi ne glede na razlike v tipoloških značilnostih rek (Verdonschot, 2006; Feld in Hering, 2007). Zaradi kombiniranega vpliva tipoloških dejavnikov in obremenitev na združbe bentoških nevretenčarjev je ugotavljanje, ali so razlike v sestavi združb bolj povezane s tipološkimi dejavniki kot obremenitvami rek, težavno (Allan, 2004). Vpliv obremenitev na reke se razlikuje glede na tipološke značilnosti rek, tako da imajo iste obremenitve različen vpliv v različnih tipih rek. V raziskovani bioregiji se kraške in nekraške reke razlikujejo v tipoloških značilnostih in obremenitvah. Ugotovili smo, da razlike med kraškimi in nekraškimi rekami odraža manj strukturnih kot funkcionalnih značilnosti združb ličink EPT, kar je povezano z razlikami v tipoloških značilnostih in/ali obremenitvah. Zaradi razlik v tipoloških značilnostih, obremenitvah rek ali kombinacije vplivov tipoloških značilnosti in obremenitev rek smo ugotovili, da se vpliv obremenitev na strukturne in

funkcionalne značilnosti ličink EPT razlikuje med kraškimi in nekraškimi rekami. Zaradi različnih povezav med obremenitvami in združbami ličink EPT v kraških in nekraških rekah je treba te povezave obravnavati ločeno v kraških ter nekraških rekah.

Ekološko stanje tekočih voda vrednotimo na podlagi tistih strukturnih in funkcionalnih značilnosti združb bentoških nevretenčarjev, ki dobro odražajo obremenitve in niso povezane z razlikami v tipoloških značilnostih tekočih voda (Hering in sod., 2004; Hering in sod., 2006; Urbanič, 2014). Pavlinova (2012) je ugotovila, da se združbe bentoških nevretenčarjev različno odzivajo na obremenitve rek zaradi razlik v tipoloških značilnostih in obremenitvah rek. Feld in Hering (2007) in Urbanič (2014) so obravnavali reke z drugimi tipološkimi značilnostmi in obremenitvami kot mi, kar je verjeten razlog, da so naše ugotovitve različne od ugotovitev Felda in Heringa (2007) in Urbaniča (2014). Feld in Hering (2007) ter Urbanič (2014) so ugotavljali strukturne in funkcionalne značilnosti združb bentoških nevretenčarjev v povezavi z obremenitvami rek v srednje velikih nižinskih rekah in velikih rekah. Ugotovili so, da so strukturne značilnosti združb bolj odvisne od tipoloških značilnosti rek in zato slabše odražajo obremenitve rek kot funkcionalne. Mi smo ugotovili, da strukturne značilnosti združb ličink EPT bolje odražajo obremenitve rek od funkcionalnih. V naši raziskavi nismo obravnavali celotne združbe bentoških nevretenčarjev, zato so naše ugotovitve drugačne kot so izsledki Felda in Heringa (2007) ter Urbaniča (2014). Združbe posameznih taksonov se razlikujejo od celotne združbe bentoških nevretenčarjev v strukturnih in funkcionalnih značilnostih, zato odražajo obremenitve rek drugače od celotne združbe bentoških nevretenčarjev. Zaradi teh razlik je treba ekološko stanje vrednotiti na podlagi tistih strukturnih in funkcionalnih značilnosti združb posameznih taksonov in celotne združbe bentoških nevretenčarjev, ki dobro odražajo obremenitve rek.

Združbe bentoških nevretenčarjev dobro odražajo obremenitve v rekah s podobnimi tipološkimi značilnostmi (Feld in Hering, 2007; Urbanič, 2014). V naši raziskavi so bile kraške reke v tipoloških značilnostih bolj variabilne kot nekraške. Podatke o ličinkah EPT smo zbrali v sedmih ekoloških tipih kraških rek in v dveh ekoloških tipih nekraških rek. Najverjetneje smo zaradi večje variabilnosti tipoloških značilnosti kraških rek ugotovili, da obremenitve kraških rek odraža manj strukturnih značilnosti združb ličink EPT kot obremenitve nekraških rek. Nekatere strukturne značilnosti združb (npr. število vrst EPT) dobro odražajo obremenitve kljub razlikam v tipoloških značilnostih rek (Sandin in

Johnson, 2000). Število vrst EPT, številčnost mladoletnic in delež vrste *Baetis rhodani* so dobro odražali obremenitve kraških rek ne glede na razlike v tipoloških značilnostih. Prisotnost in številčnost vrst bentoških nevretenčarjev sta odvisni od mnogih okoljskih dejavnikov, ki delujejo hkrati na vodotoke (Urbanič in Toman, 2003; Lorenz in sod., 2004b). Lorenz in sodelavci (2004b) so ugotovili, da je vrsta *Baetis rhodani* običajno manj številčna v neobremenjenih kot v obremenjenih vodotokih. Prisotnost in številčnost vrst bentoških nevretenčarjev sta odvisni od številnih okoljskih dejavnikov in vse dejavnike (npr. onesnaževanje s strupenimi snovmi) je težko upoštevati v raziskavah. Zaradi razlik v upoštevanih dejavnikih so naše ugotovitve drugačne od izsledkov Lorenza in sodelavcev (2004b).

Nekateri raziskovalci so ugotovili, da se združbe taksonov bentoških nevretenčarjev različno odzivajo na okoljske dejavnike (Hering in sod., 2006; Hrovat in sod., 2014). Številčnost EPT se z naraščanjem obremenjenosti rek zmanjša ali poveča (Brittain in Saltveit, 1989; Quinn in sod., 1997; Verdonschot, 2000; Tavzes in sod., 2006). Enodnevnice in vrbnice so manj številčne v obremenjenih vodotokih z organskimi snovmi in hranili kot v neobremenjenih (Quinn in sod., 1997). Tavzes in sodelavci (2006) so ugotovili značilno povečanje številčnosti enodnevnic po kanaliziraju majhnega vodotoka bioregije Preddinarska hribovja in ravnine. Hrovat in sodelavci (2014) so primerjali povezave med združbami ličink enodnevnic, vrbnic in mladoletnic z istimi okoljskimi spremenljivkami v treh rekah porečja Kolpe. Ugotovili so razlike v pomenu istih spremenljivk za združbe enodnevnic, vrbnic in mladoletnic. Temperatura vode in koncentracija kisika v vodi, ki sta bili najpomembnejši za sestavo združb vrbnic, sta bili manj pomembni za sestavo združb enodnevnic in mladoletnic. Mi smo ugotovili, da se vrbnice in mladoletnice številčno odzivajo na obremenitve rek, medtem ko se enodnevnice ne. Zaradi različnih odzivov združb posameznih taksonov bentoških nevretenčarjev na okoljske dejavnike lahko s proučevanjem celotne združbe bentoških nevretenčarjev bolje ugotavljam spremembe v ekosistemih tekočih voda kot na osnovi proučevanj združb posameznih taksonov.

Najpreprostejša in najpogosteje uporabljeni mera za pestrost združbe je število vrst (Urbanič in Toman, 2003). Številni raziskovalci so ugotovili, da se zaradi obremenitev tekočih voda zmanjša število vrst EPT (Brittain in Saltveit, 1989; Harding in sod., 1998; Ward, 1998; Brittain in Sartori, 2003; Bispo in Oliveira, 2007; Feld in Hering, 2007). Naši

izsledki so skladni z ugotovitvijo navedenih raziskovalcev. Število vrst ni popolna mera pestrosti združbe, zato smo ugotavljali povezave različnih strukturnih značilnosti združb ličink EPT z obremenitvami rek. Ugotovili smo, da vpliv obremenitev na združbe ličink EPT odraža še deset strukturnih značilnosti v nekraških rekah in dve v kraških rekah poleg števila vrst EPT. Povezave med strukturnimi značilnostmi združb bentoških nevretenčarjev (npr. diverzitetnih indeksov) in obremenitvami rek so odvisne od tipa rek (Lorenz in sod., 2004b). Hering in sod. (2004a) so ugotovili, da Shannon-Wienerjev indeks dobro odraža obremenitve vseh tipov vodotokov, ki so jih obravnavali. V naši raziskavi ta indeks ni odražal razlik v stopnji obremenitev v nobenem od tipov rek. Margalefov diverzitetni indeks in indeks Evenness (enakomernost številčnosti osebkov posameznih vrst) sta bolje odražala razlike v stopnji obremenitve nekraških rek kot Shannon-Wienerjev indeks. Obremenitev kraških rek ni odražal noben diverzitetni indeks. Povezave med nekaterimi strukturnimi značilnostmi združb bentoških nevretenčarjev in obremenitvami rek se razlikujejo med tipi rek, zato je treba ekološko stanje rek vrednotiti z različnimi strukturnimi značilnostmi hkrati.

Zaradi obremenitev rek se spremenijo značilnosti vodnega toka, substrata, razpoložljivost in tip hrane za organizme, zato mnoge funkcionalne značilnosti dobro odražajo obremenitve rek (Feld in Hering, 2007; Urbanič, 2014). Urbanič (2014) je ugotovil, da so funkcionalne značilnosti manj povezane s tipološkimi značilnostmi rek od strukturnih. Ugotovil je tudi, da funkcionalne značilnosti dobro odražajo obremenitve kljub razlikam v tipoloških značilnostih rek. V naši raziskavi smo ugotovili drugače od Urbaniča (2014). Funkcionalne značilnosti združb ličink EPT so dobro odražale obremenitve nekraških rek. V primerjavi z nekraškimi, so se kraške reke bolj razlikovale v tipoloških značilnostih. Funkcionalne značilnosti niso odražale obremenitev kraških rek zaradi velikih razlik v tipoloških značilnostih kraških rek.

Deleži prehranskih skupin ličink EPT so dobro odražali razlike v obremenitvah nekraških rek glede na število ugotovljenih statistično značilnih razlik. V obremenjenih vodotokih je velik delež zbiralcev zaradi spiranja velikih količin drobnih organskih delcev (FPOM) s kmetijskih površin v vodotoke in zadrževanja FPOM v vodotokih s spremenjenimi hidromorfološkimi značilnostmi (Rabení in sod., 2005; Feld in Hering, 2007). Isti raziskovalci so ugotovili, da se delež zbiralcev v vodotokih poveča že zaradi usedanja majhnih količin FPOM med kamni, ki spremenijo življenski prostor. Delcev FPOM, ki so

v rekah prisotni med kamni nismo posebej beležili. Na mestih vzorčenja smo ugotovili deleže FPOM manjše od 5 %. Najverjetnejše je bil statistično značilno večji delež zbiralcev v obremenjenih kot v neobremenjenih nekraških rekah zaradi majhnih količin FPOM. Nasprotno od deleža zbiralcev, se delež drobilcev v obremenjenih vodotokih zmanjša (Quinn in sod., 1997; Ofenböck in sod., 2004; Tavzes in sod., 2006). V naši raziskavi smo ugotovili statistično značilno manjši delež drobilcev v obremenjenih kot v neobremenjenih nekraških rekah. Največji delež drobilcev v vodotokih predstavljajo ličinke vrbnic in mladoletnic (Wallace in sod., 1996), medtem ko se ličinke enodnevnic prehranjujejo večinoma kot strgalci in zbiralci (Brittain in Sartori, 2003). Delež vrbnic je bil v obremenjenih rekah statistično značilno manjši kot v neobremenjenih. Najverjetnejše je bil majhen delež drobilcev v obremenjenih nekraških rekah povezan z majhnim deležem vrbnic. To trditev smo potrdili z ugotovitvijo močne pozitivne soodvisnosti med deležem drobilcev in deležem vrbnic v nekraških rekah. Načini prehranjevanja se med bentoškimi nevretenčarji razlikujejo, vendar so kljub temu pogosto dobri pokazatelji obremenitev tekočih voda (npr. Rabení in sod., 2005; Brabec in sod., 2007; Feld in Hering, 2007).

Indikatorski taksoni so specifični za določen ekosistem, zato so primerni za ugotavljanje razlik v razmerah med ekosistemi (Dufrêne in Legendre, 1997). Feld in Hering (2007) sta ugotovila, da zaradi obremenitev (rabe tal in spremenjenosti hidromorfoloških značilnosti rek) v rekah izginejo občutljivi taksoni, npr. nekateri taksoni EPT. Poleg potrditve ugotovitev Felda in Heringa (2007) je Urbanič (2014) ugotovil, da so nekateri taksoni EPT (predvsem enodnevnice in mladoletnice) tolerantni na obremenitve. Nekatere taksone EPT je našel samo v obremenjenih rekah. Podobno kot Urbanič (2014) smo tudi mi ugotovili indikatorske taksone EPT v obremenjenih rekah. Prisotnost indikatorskih taksonov obremenjenih rek je rezultat spremembe v sestavi združbe bentoških nevretenčarjev, ko zaradi obremenitev izginejo občutljivi taksoni, pojavijo pa se taksoni, tolerantni na obremenitve (Urbanič, 2014). V obremenjenih kraških rekah smo ugotovili več indikatorskih taksonov kot v obremenjenih nekraških rekah. Sklepamo, da so bile spremembe v sestavi združb ličink EPT zaradi obremenitev večje v kraških kot v nekraških rekah.

## 8.2 POMEN TIPOLOŠKIH DEJAVNIKOV, RABE TAL, KAKOVOSTI VODE IN ZNAČILNOSTI MIKROHABITATA ZA ZDRUŽBE LIČINK EPT

V rekah raziskovane bioregije smo največ variabilnosti združb ličink EPT pojasnili s spremenljivkami, ki odražajo razlike v tipoloških značilnostih in obremenitvah med kraškimi in nekraškimi rekami. Z ločenim obravnavanjem združb ličink EPT kraških in nekraških rek smo zmanjšali pomen (pojasnjevalno sposobnost) okoljskih spremenljivk, ki odražajo razlike v tipoloških značilnostih in obremenitvah med kraškimi in nekraškimi rekami za združbe ličink EPT. Pomen okoljskih dejavnikov za združbe bentoških nevretenčarjev se razlikuje med različnimi tipi tekočih voda (Lorenz in sod., 2004b; Urbanič in Toman, 2007). V naši raziskavi smo ugotovili, da vplivi istih okoljskih spremenljivk na združbe ličink EPT niso enaki v kraških in nekraških rekah. Na razporejanje bentoških nevretenčarjev v kraških rekah malo vpliva velikost prispevne površine (VPP) (Urbanič, 2004; Urbanič in Toman, 2007; Pavlin 2012). Skladno z ugotovitvami navedenih raziskovalcev, smo tudi v naši raziskavi ugotovili, da VPP malo vpliva na sestavo združb ličink EPT v kraških rekah. V nekraških rekah smo od spremenljivk tipologije s spremenljivko VPP najbolje pojasnili sestavo združb ličink EPT. Običajno se VPP rek spreminja longitudinalno v skladu s konceptom rečnega kontinuma (Vannote in sod., 1980). V kraških rekah zaradi vpliva podzemne vode spreminjaanje VPP in ostalih abiotiskih dejavnikov ni skladno s tem konceptom (Urbanič, 2004; Urbanič in Toman, 2007). Včasih na krasu težko določimo smer vodnega toka zaradi podzemnih povezav ali spremicanja smeri vodnega toka ob različnih vodostajih (Gams, 2004). Zaradi kompleksnih povezav podzemnega vodnega toka je natančna ugotovitev VPP kraških rek težavna. Kljub temu predvidevamo, da s poznavanjem celotne VPP ne bi ugotovili veliko boljše pojasnjevalne sposobnosti VPP za združbe ličink EPT kot smo jo v kraških rekah. VPP je indirektna spremenljivka s katero zajamemo lokalne dejavnike, ki vplivajo na združbe (npr. hidrologija, substrat, fi-ke značilnosti) (Allan, 2004). V kraških vodotokih z VPP teh dejavnikov ne zajamemo ustrezno oz. se ne spreminjajo po toku navzdol enako kot pri nekraških vodotokih, kjer velja koncept rečnega kontinuma.

Pogosto imajo iste obremenitve različen vpliv na vodotoke različnih tipov (Allan, 2004; Feld, 2004; Urbanič in Toman, 2007). Od vseh oblik rabe tal urbana raba tal pogosto najbolj vpliva na združbe bentoških nevretenčarjev zaradi neprepustnosti urbanih površin, s katerih je spiranje onesnaževal in drugih snovi v vodotoke večje kot s kmetijskih površin (Moore in Palmer, 2005). V naši raziskavi so bili deleži kmetijske rabe tal večji od urbane

rabe tal, zato smo pričakovali, da bomo s kmetijsko rabo tal pojasnili večji delež variabilnosti združb ličink EPT kot z urbano rabo tal. Čeprav so bili od vseh oblik rabe tal v naši raziskavi deleži urbane rabe tal v skupnih prispevnih površinah rek (SPP) najmanjši (1–2 %), smo z urbano rabo tal v SPP pojasnili največ variabilnosti združb ličink EPT tako v kraških kot nekraških rekah. King in Baker (2010) sta ugotovila velik vpliv majhnih deležev urbanih površin v prispevnem območju rek na sestavo združbe bentoskih nevretenčarjev. V Sloveniji prevladujejo majhna in razpršena naselja, zato ni območij, kjer bi prevladovala urbana ali kmetijska raba tal (Petek, 2004; Pavlin, 2012). Urbana in kmetijska raba tal močno vplivata na združbe bodisi zaradi sprememb lokalnih hidromorfoloških (vodni tok, substrat) ali fizikalno-kemijskih značilnosti vodotokov (Allan, 2004; Pavlin in sod., 2011; Pavlin, 2012). Z urbano in kmetijsko rabo tal se sočasno vnesejo številne snovi (npr. suspendirane snovi, hranila, težke kovine, pesticidi in druge strupene snovi) v vodotoke, ki močno vplivajo na vodne organizme (Paul in Meyer, 2001; Allan, 2004). Koncentracij nekaterih snovi, ki vplivajo na organizme ne merimo ali jih s parametri ne uspemo izmeriti, vendar zaradi velikega vpliva teh snovi na združbe lahko ugotavimo velik vpliv urbane ali kmetijske rabe tal na vodotoke. Običajno težko ugotavimo kateri vplivi rabe tal so najbolj pomembni za združbe bentoskih nevretenčarjev, saj vseh vplivov rabe tal z izbranimi okoljskimi spremenljivkami praviloma ne zajamemo v raziskavah (Pavlin, 2012). Zaradi kombiniranih vplivov rabe tal na združbe je ugotavljanje ali je vpliv določene rabe tal na združbe organizmov bolj povezan s spremembami hidromorfoloških ali fizikalno-kemijskih značilnosti vodotokov otežen.

Ugotovljeni vplivi rabe tal na razmere v vodotoku so odvisni od prostorske ravni spremenljivk rabe tal (Allan in sod., 1997; Allan, 2004), zato smo rabo tal opisali na ravni prispevnega območja (delež rabe tal v skupnih prispevnih površinah vodotoka, SPP) in na ravni podoseka vodotoka (delež rabe tal v neposrednih prispevnih površinah vodotoka, NPP). Pavlinova (2012) je v ekoregiji Dinaridi ugotovila, da raba tal v SPP bolj pomembno vpliva na bentoske nevretenčarje od rabe tal v NPP vodotokov. Tako kot Pavlinova (2012) smo združbe ličink EPT bolje pojasnili z rabo tal v SPP kot z rabo tal v NPP vodotokov. Vzrok za velik vpliv zaledja na vodotoke v ekoregiji Dinaridi je hitro pronicanje snovi (npr. hranil) v podzemlje, ki se zaradi majhne porabe v podzemlju prenesejo v površinske vodotoke (Pavlin, 2012). Dinamika spiranja snovi v kraške vodotoke je močno pogojena s padavinami in s podzemnimi povezavami vodnih tokov, s katerimi organske snovi in

hranila naenkrat v velikih koncentracijah pridejo v površinske vodotoke (Peterson in sod., 2002; Parise in Pascali, 2003; Vesper in sod., 2003; Gams, 2004). Splošen problem slovenskih kmetij je v neustrezni ali prekomerni uporabi organskih oziroma mineralnih gnojil na obdelovalnih površinah (Rejec Brancelj, 2001). Hranila, ki jih rastline zaradi prekomernega vnosa ne privzamejo, se sperejo v podtalnico in v vodotoke. Predvidevamo, da bomo vpliv kmetijstva na kraške vodotoke zmanjšali z načrtovanim gospodarjenjem s hranilnimi snovmi v zaledju. Za ugotavljanje vplivov obremenitev na reke in pripravo načrtov upravljanja rek je pomembno dobro poznavanje dogajanj v zaledju rek.

Intenziteta kmetijske rabe tal je precej odvisna od razgibanosti površja, naklona in nadmorske višine (Petek, 2004). Razmere za kmetovanje so bolj primerne v nižinskih kot v hribovitih delih Slovenije (Rejec Brancelj, 2001; Petek, 2004). V hribovitih delih Slovenije so značilne majhne kmetije in neenakomerna razporeditev kmetijskih zemljišč (Rejec Brancelj, 2003; Pavlin in sod., 2011). Za nekraške reke smo ugotovili statistično značilno večje naklone površja in nadmorske višine od kraških rek. Na podlagi teh razlik smo v SPP nekraških rek pričakovali statistično značilno večji delež ekstenzivnega kmetijstva kot v SPP kraških rek, kar smo tudi ugotovili. Vpliv ekstenzivne kmetijske rabe na združbe bentoških nevretenčarjev je pogosto manjši od vpliva intenzivne kmetijske rabe tal ne glede na tip vodotoka (Magbanua in sod., 2010; Pavlin in sod., 2011). Pričakovali smo, da bomo v kraških in nekraških rekah z intenzivnim kmetijstvom v SPP bolje pojasnili združbe ličink EPT kot z ekstenzivnim kmetijstvom v SPP, vendar v kraških rekah tega nismo ugotovili. Delež ekstenzivnega kmetijstva v SPP kraških rek je močno odvisen od naravnih značilnosti kraških rek. Med deležem ekstenzivnega kmetijstva v SPP in nadmorsko višino kraških rek smo ugotovili srednje močno pozitivno soodvisnost. V kraških rekah smo združbe ličink EPT z deležem ekstenzivnega kmetijstva v SPP slabše pojasnili kot z nadmorsko višino. Naravni dejavniki so za združbe ličink EPT kraških rek najverjetneje bolj pomembni od obremenitev. V kraških rekah je povezanost med naravnimi dejavniki in obremenitvami bolj močna kot v nekraških rekah.

V različnih ekosistemih tekočih voda se razlikuje pomen spremenljivk kakovosti vode in značilnosti mikrohabitata za združbe bentoških nevretenčarjev (Urbanič in Toman, 2007). Tudi mi smo ugotovili različen pomen istih spremenljivk kakovosti vode in značilnosti mikrohabitata za združbe ličink EPT kraških in nekraških rek. Od spremenljivk kakovosti vode smo združbe ličink EPT nekraških rek najbolje pojasnili s spremenljivko pH.

Coimbra in sod., (1996) ter Bispo in sod., (2006) so velik vpliv spremenljivke pH na združbe ličink EPT ugotovili takrat, kadar so bile vrednosti pH visoke ( $> 8,0$ ) zaradi obremenjevanja rek z organskimi snovmi in izpusti odpadnih voda. Urbanič (2004) je ugotovil velik vpliv spremenljivke pH na razporeditev mladoletnic v vodotokih dinarskega območja, kar je povezal s prisotnostjo obremenjevanja z organskimi snovmi in hranili v rekah. V nekraških rekah smo pogosto izmerili višje vrednosti pH od 8,5, kar je običajno v evtrofnih sistemih (Urbanič in Toman, 2003). Najverjetneje smo v nekraških rekah s spremenljivko pH bolje pojasnili združbe ličink EPT zaradi višjih izmerjenih vrednosti te spremenljivke kot v kraških rekah. Od spremenljivk kakovosti vode smo združbe ličink EPT kraških rek najbolje pojasnili z električno prevodnostjo in koncentracijo klorida v vodi. Mnogi raziskovalci so v vodotokih ekoregije Dinaridi ugotovili, da električna prevodnost odraža geološke značilnosti in obremenitve, kot sta obremenjevanje z organskimi snovmi in s hranili (Urbanič, 2004; Urbanič in Toman, 2007; Hrovat in sod., 2009; Hrovat in sod., 2014). V kraških rekah smo ugotovili srednje močno korelacijo med vrednostmi električne prevodnosti in koncentracijo kalcija (spremenljivka skupine tipologija). Sklepamo, da so naravne značilnosti bolj vplivale na vrednosti električne prevodnosti od obremenitev kraških rek. Kloridi so v vodotokih rezultat obremenitev vodotokov, kot so izpusti odpadnih voda, soljenje cest in uporaba fitofarmacevtskih sredstev (Sherwood, 1989; Rejec Brancelj, 2001; Fernández-Aláez in sod., 2002; Barendregt in Bio, 2003). V kraških rekah je prisotnost klorida povezana z obremenjevanjem s hranili, saj smo ugotovili srednje močno korelacijo med skupnim dušikom in kloridom. Izmerjene vrednosti električne prevodnosti in koncentracij kloridov so bile statistično značilno višje v nekraških kot kraških rekah. Čeprav so bili razponi vrednosti električne prevodnosti in koncentracij kloridov v nekraških rekah večji kot v kraških, ti spremenljivki nista bili pomembni za združbe ličink EPT nekraških rek. V nekraških rekah smo združbe ličink EPT od spremenljivk kakovosti vode najbolje pojasnili s koncentracijo raztopljenega kisika v vodi. Vrednosti izmerjenih koncentracij raztopljenega kisika v vodi so bile v povprečju visoke ( $\geq 9 \text{ mg O}_2/\text{L}$ ) v kraških in nekraških rekah, vendar so bili razponi vrednosti večji v nekraških rekah. Zaradi večjih razponov vrednosti izmerjenih koncentracij smo združbe ličink EPT v nekraških rekah bolje pojasnili s koncentracijo raztopljenega kisika v vodi kot v kraških rekah.

Razporeditev bentoških nevretenčarjev na mestu vzorčenja je odvisna od kombinacij tipov vodnih tokov in substrata, s katerimi opišemo mikrohabitat (Sandin in Johnson, 2004; Urbanič in sod., 2005). Urbanič in Toman (2007) sta v ekoregiji Dinaridi s posameznimi spremenljivkami substrata pojasnila več variabilnosti združb ličink mladoletnic kot s posameznimi spremenljivkami vodnega toka. Od spremenljivk značilnosti mikrohabitata smo združbe ličink EPT v kraških rekah najbolje pojasnili s spremenljivkama substrata (delež makrofitov in delež megalitala), v nekraških pa s spremenljivkama vodnega toka (delež lomljenih stopečih valov in delež gladkega toka). Majhen naklon terena in majhen anorganski substrat sta primerna za rast makrofitov (Kuhar in sod., 2006; 2011). V kraških rekah smo ugotovili statistično značilno nižje naklone terena ter več psamopelala in pelala kot v nekraških rekah. Zaradi teh značilnosti so razmere v kraških rekah bolj primerne za rast makrofitov kot v nekraških rekah. Tudi delež makrofitov, ki smo ga ugotovili v kraških rekah je bil statistično značilno večji od deleža makrofitov v nekraških rekah. S spremenljivko delež megalitala smo dobro pojasnili le združbe ličink EPT kraških rek, čeprav statistično značilnih razlik v deležih megalitala med kraškimi in nekraškimi rekami nismo ugotovili. Urbanič (2004) je z deležem megalitala dobro pojasnil združbe mladoletnic v ekoregiji Dinaridi. Velik delež megalitala je ugotovil le na enem mestu vzorčenja. Ugotovil je tudi, da se favna mladoletnic na tem mestu močno razlikuje od favne mladoletnic ostalih mest. Tako kot Urbanič (2004) smo tudi v naši raziskavi velik delež megalitala ( $> 40\%$ ) ugotovili le na enem mestu vzorčenja kraških rek. Zaradi razlik v substratu med mesti vzorčenja se združbe močno razlikujejo in zato lahko z deležem posameznega substrata pojasnimo pomemben delež variabilnosti združb.

Tip vodnega toka je odvisen od mnogih dejavnikov (hitrosti vodnega toka, velikosti substrata, globine vode) (Urbanič in sod., 2005). Pogosto je tip vodnega toka bolj pomemben za ličinke EPT od hitrosti vodnega toka, velikosti substrata in globine vode (Urbanič in sod., 2005; Pastuchová in sod., 2008). Tip vodnega toka se v vodotoku spreminja na ravni mikrohabitata (Giller in Malmqvist, 1998; Urbanič in sod., 2005). V odseku vodotoka so prisotni različni tipi vodnih tokov, zato nismo ugotovili statistično značilnih razlik med kraškimi in nekraškimi rekami v nobenem od tipov vodnega toka. V nekraških rekah smo z deležema lomljenih stopečih valov in gladkega toka pojasnili največ variabilnosti združb ličink EPT. Posamezni tipi vodnega toka so prisotni na različnih velikostih substrata (Pastuchová in sod., 2008). Večina bentoških nevretenčarjev preferira

velik substrat (Allan in Castillo, 2007). Glede na preferenco do substrata je bil v nekraških rekah največji delež ličink EPT, ki preferirajo velike prodnike (lital). Lomljeni stoječi valovi in gladki tok sta najpogosteje prisotna v kombinaciji z velikim substratom (npr. veliki prodniki) (Urbanič in sod., 2005; Pastuchová in sod., 2008), zato smo od spremenljivk značilnosti mikrohabitata z lomljenimi stoječimi valovi in gladkim vodnim tokom najbolje pojasnili združbe ličink EPT v nekraških rekah.

Ugotavljanje vzročnosti povezav med združbami bentoških nevretenčarjev in obremenitvami rek je težavno zaradi soodvisnosti med naravnimi dejavniki in obremenitvami rek (Allan in Johnson, 1997; Verdonschot in Nijboer, 2004). Raba tal v prispevnih območjih vodotokov je odvisna od naravnih značilnosti območja (Townsend in sod., 1997; Allan, 2004; Petek, 2004). Na podlagi ugotovitev navedenih raziskovalcev smo pričakovali močno soodvisnost med nekaterimi naravnimi značilnostmi rek in spremenljivkami rabe tal, vendar je nismo ugotovili. Raba tal pogosto določa fizikalno-kemijske razmere v rekah bolj od naravnih značilnosti prispevnega območja rek (Allan in sod., 1997; Allan, 2004; Sandin in Johnson, 2004). Intenziteta kmetijstva se manjša z višanjem nadmorske višine (Petek, 2004), zato je bila ugotovljena srednje močna pozitivna soodvisnost med nadmorsko višino in ekstenzivnim kmetijstvom v SPP kraških rek pričakovana. Zaradi močne povezanosti med naravnimi dejavniki in obremenitvami ugotovljeno srednje močno soodvisnost med nadmorsko višino in skupnim organskim ogljikom (spremenljivka iz skupine kakovost vode) v kraških rekah povezujemo s povečevanjem deleža ekstenzivnega kmetijstva v SPP z nadmorsko višino. Kadar so med spremenljivkami prisotne visoke stopnje soodvisnosti ni mogoče primerjati vplivov okoljskih dejavnikov (Pavlin in sod., 2011). V naši raziskavi smo ugotovili predvsem nizke ali srednje močne soodvisnosti ( $r_s < 0,80$ ) med spremenljivkami, ki so nam omogočile primerjavo vplivov tipoloških dejavnikov, rabe tal, kakovosti vode in značilnosti mikrohabitata na združbe ličink EPT.

Vplivi naravnih dejavnikov in obremenitev rek na bentoške nevretenčarje se bolje razlikujejo na nivoju ekoregij kot v celotni Sloveniji zaradi manjše variabilnosti v naravnih značilnostih rek in v sestavi združb bentoških nevretenčarjev (Pavlin, 2012). V naši raziskavi smo s skupinami spremenljivk raba tal, kakovost vode in značilnosti mikrohabitata upoštevali spremenljivke, ki odražajo naravne dejavnike in obremenitve na različnih prostorskih ravneh vodotokov. V kraških in nekraških rekah smo s skupinami

spremenljivk raba tal, kakovost vode in značilnosti mikrohabitata pojasnili primerljiv ali večji delež variabilnosti združb ličink EPT kot s skupino spremenljivk tipologija. Največje razlike med kraškimi in nekraškimi rekami smo ugotovili v pomenu rabe tal za združbe ličink EPT. V kraških rekah je bil vpliv rabe tal značilno manjši od vpliva tipoloških značilnosti, medtem ko sta bila v nekraških rekah primerljiva. Predvidevamo, da je majhna pojasnjena variabilnost združb ličink EPT z rabo tal v kraških rekah povezana z majhno intenziteto kmetijstva v SPP kraških rek. Naravni dejavniki so pogosto povezani z obremenitvami tekočih voda, kar otežuje razlikovanje med njimi (Allan, 2004). Spremenljivke tipologije in spremenljivke skupin spremenljivk raba tal, kakovost vode in značilnosti mikrohabitata, s katerimi smo najbolj pojasnili združbe ličink EPT, niso bile v močni soodvisnosti, zato smo ugotovili majhne presečne deleže pojasnjene variabilnosti združb ličink EPT. Dobro razlikovanje med vplivi naravnih dejavnikov in dejavnikov rabe tal, kakovosti vode oziroma značilnosti mikrohabitata je pomembno za uspešno prepoznavanje vzrokov sprememb ekosistemov tekočih voda.

Vpliv okoljskih dejavnikov na bentoške nevretenčarje se razlikuje glede na prostorsko raven raziskovanja (Allan in sod., 1997; Verdonschot in Nijboer, 2004; Mykrä in sod., 2007). Z nižanjem prostorske ravni raziskovanja pomen lokalnih okoljskih dejavnikov za združbe bentoških nevretenčarjev narašča (Sandin in Johnson, 2004; Mykra in sod., 2007). Raziskovalci so zelo pogosto ugotovljali vplive posameznih spremenljivk rabe tal, fizikalno-kemijskih spremenljivk in hidromorfoloških značilnosti vodotokov na združbe bentoških nevretenčarjev (Jezberová, 2003; Johnson in sod., 2007; Urbanič in Toman, 2007; Galbraith in sod., 2008; Haidekker in Hering, 2008; Pavlin in sod., 2011). Raziskav, kjer bi primerjali vplive rabe tal, kakovosti vode in značilnosti mikrohabitata na razporejanje bentoških nevretenčarjev, nismo zasledili. Ugotovili smo, da so med kraškimi in nekraškimi rekami največje razlike v pomenu rabe tal za združbe ličink EPT. Pomen rabe tal za združbe ličink EPT je bil bistveno manjši v kraških kot v nekraških rekah. V kraških rekah smo s kakovostjo vode in značilnostmi mikrohabitata bolje pojasnili združbe ličink EPT kot z rabo tal, v nekraških rekah pa primerljivo z rabo tal. Večji pomen značilnosti mikrohabitata in kakovosti vode od pomena rabe tal v posameznih porečjih so ugotovili tudi nekateri drugi raziskovalci (Lammert in Allan, 1999; Sandin in Johnson, 2004). Lammert in Allan (1999) sta ugotovila, da raba tal močno vpliva na lokalne razmere v raziskovanem vodotoku. V naši raziskavi smo ugotovili majhno povezanost vplivov rabe

tal in lokalnih značilnosti (kakovosti vode in značilnosti mikrohabitata) na ličinke EPT. Raba tal je vir različnih obremenitev vodotokov, ki jih s parametri, merjenimi v vodotokih, pogosto ne ugotovimo (Magbanua in sod., 2010). Upravljanje z vodotoki je mnogokrat usmerjeno samo na lokalno raven vodotoka (na zmanjšanje onesnaženja in spremnjanja morfoloških značilnosti vodotoka), kar se pogosto izkaže za neuspešno zaradi neupoštevanja značilnosti celotnega prispevnega območja, kot sestavnega dela vodotoka (Allan in Johnson, 1997; Allan in sod., 1997; Palmer in sod., 2009; Verdonschot in sod., 2012). Ugotovili smo, da ekološke kakovosti rek raziskovane bioregije ne bomo izboljšali samo z izboljšanjem kakovosti vode in značilnosti mikrohabitatorjev. Ekološko kakovost rek raziskovane bioregije bomo izboljšali z ustrezno rabo tal celotnega prispevnega območja rek in sočasnim izboljšanjem lokalnih značilnosti mikrohabitatorjev in kakovosti vode.

## 9 SKLEPI

1. V rekah bioregije Preddinarska hribovja in ravnine smo združbe ličink enodnevnic, vrbnic in mladoletnic (EPT) enako dobro pojasnili s tipološkimi značilnostmi kot s stopnjo obremenitve rek. Združbe ličink EPT smo dodatno statistično značilno pojasnili s kombinacijo vplivov tipoloških značilnosti in stopnje obremenitve rek. Združbe ličink EPT so v rekah raziskovane bioregije določene s tipološkimi značilnostmi, obremenitvami rek in s kombinacijo vplivov tipoloških značilnosti in obremenitev rek.
2. Ugotovili smo, da razlike med kraškimi in nekraškimi rekami odraža manj strukturnih kot funkcionalnih značilnosti združb ličink EPT zaradi razlik v tipoloških značilnostih in/ali obremenitvah.
3. Med obremenjenimi in neobremenjenimi rekami raziskovane bioregije smo ugotovili razlike v 64 % obravnavanih strukturnih in funkcionalnih značilnostih združb ličink EPT. Največ razlik med obremenjenimi in neobremenjenimi rekami smo ugotovili v strukturnih značilnostih združb ličink EPT (abundanca P in T, število taksonov E in T, delež taksonov P in Margalefov diverzitetni indeks). Zaradi obremenitev rek bioregije Preddinarska hribovja in ravnine se spremenijo strukturne in funkcionalne značilnosti združb ličink EPT.
4. Zaradi večje variabilnosti tipoloških značilnosti kraških rek smo ugotovili, da obremenitve kraških rek odraža manj strukturnih in funkcionalnih značilnosti (11 %) kot obremenitve nekraških rek (68 %). Združbe bentoskih nevretenčarjev dobro odražajo obremenitve v rekah s podobnimi tipološkimi značilnostmi.
5. Značilne taksone EPT (indikatorski taksoni) smo ugotovili za neobremenjene in obremenjene reke. Indikatorski taksoni EPT so prisotni v obremenjenih rekah zaradi sprememb sestave združb ličink EPT, ko izginejo na obremenitve občutljivi taksoni EPT in se pojavi na obremenitve tolerantni taksoni EPT. Ugotovili smo, da zaradi obremenitev rek izgine več taksonov EPT kot se jih pojavi.

6. Vplivi tipoloških dejavnikov, rabe tal, kakovosti vode in značilnosti mikrohabitata se razlikujejo med kraškimi in nekraškimi rekami. Vplive okoljskih dejavnikov na reke je treba ločeno obravnavati v dobro tipološko definiranih skupinah rek za vrednotenje ekološke kakovosti rek in pripravo ustreznih načrtov upravljanja voda.
7. Presečni deleži pojasnjene variabilnosti združb ličink EPT so bili manjši od disjunktnih deležev pojasnjene variabilnosti s skupino spremenljivk tipologija, raba tal, kakovost vode in značilnosti mikrohabitata. Dobro razlikovanje med vplivi navedenih dejavnikov (majhni presečni deleži) na združbe ličink EPT omogoča uspešno prepoznavanje vzrokov sprememb tekočih voda, povezanih z rabo tal, značilnostmi mikrohabitatorjev in kakovostjo vode.
8. S skupinami spremenljivk raba tal, kakovost vode in značilnosti mikrohabitata smo pojasnili primerljive disjunktne deleže variabilnosti združb ličink EPT v rekah raziskovane bioregije. Kakovost vodnega okolja rek raziskovane bioregije bomo najbolj izboljšali z ustrezno rabo tal celotnega prispevnega območja rek in sočasnim izboljšanjem lokalnih značilnosti mikrohabitatorjev in kakovosti vode.
9. Med kraškimi in nekraškimi rekami smo ugotovili razlike v vplivih rabe tal, kakovosti vode in značilnosti mikrohabitata na združbe ličink EPT. Zaradi ugotovljenih razlik v vplivih okoljskih dejavnikov na kraške in nekraške reke je treba različno upravljati s kraškimi in nekraškimi rekami.

## 10 POVZETEK (SUMMARY)

### 10.1 POVZETEK

Ekosistemi tekočih voda se razlikujejo v združbah bentoških nevretenčarjev, ki jih določajo naravne značilnosti in obremenitve tekočih voda. Ličinke enodnevnic, vrbnic in mladoletnic (EPT) so ključni gradniki združb bentoških nevretenčarjev in dobri pokazatelji sprememb v ekosistemih tekočih voda. Odzivajo se na različne oblike obremenitev, kot so spremjanje hidromorfoloških značilnosti tekočih voda, obremenjevanje tekočih voda z organskimi snovmi in hrани. Cilji naše raziskave so bili a) ugotoviti razlike v strukturnih in funkcionalnih značilnostih združb ličink EPT med kraškimi in nekraškimi rekami, b) ugotoviti in primerjati število indikatorskih taksonov obremenjenih in neobremenjenih rek, c) ugotoviti stopnjo soodvisnosti med spremenljivkami tipologije, rabe tal, značilnosti mikrohabitata in kakovosti vode, d) ugotoviti vpliv tipoloških dejavnikov in vplive dejavnikov posameznih skupin spremenljivk: raba tal, kakovost vode in značilnosti mikrohabitata na združbe ličink EPT, e) ugotoviti vpliv dejavnikov posameznih skupin spremenljivk raba tal, kakovost vode, značilnosti mikrohabitata in vplive hkratnega delovanja dejavnikov dveh ali treh navedenih skupin spremenljivk na združbe ličink EPT, f) ugotoviti ali se vplivi okoljskih dejavnikov razlikujejo med kraškimi in nekraškimi rekami.

Vzorčenja bentoških nevretenčarjev smo opravili na 63 mestih vzorčenja rek bioregije Preddinarska hribovja in ravnine v obdobju od leta 2005 do 2010. Bentoške nevretenčarje smo vzorčili po standardizirani metodi mikrohabitativnih tipov. Na 63 mestih vzorčenja smo za analize zbrali 76 bioloških vzorcev ličink EPT. Na vsakem mestu vzorčenja smo zbrali podatke o 52 okoljskih spremenljivkah, ki smo jih razvrstili v 4 skupine spremenljivk: tipologija, raba tal, kakovost vode in značilnosti mikrohabitata.

Podobnost v taksonomski sestavi in številnosti ličink EPT smo ugotavljali z metodo nemetričnega multidimenzionalnega skaliranja (NMS) in neparametrično permutacijsko multivariatno analizo variance (PERMANOVA) glede na a) tipološke značilnosti rek, b) stopnjo obremenitev rek, c) tipološke značilnosti in stopnjo obremenitev rek. Taksonomska sestava in številnost ličink EPT smo enako dobro pojasnili s tipološkimi značilnostmi kot s stopnjo obremenitve. S kombinacijo tipologije in stopnje obremenitve rek smo združbe ličink EPT dodatno statistično značilno pojasnili, kar pomeni da združbe ličink EPT v

rekah bioregije določajo tipološke značilnosti, obremenitve rek in kombinacija naravnih značilnosti in obremenitev rek. V nekraških rekah smo združbe ličink EPT bolje pojasnili s stopnjo obremenitve rek kot v kraških rekah. Ugotovili smo, da se vpliv obremenitev na združbe ličink EPT razlikuje med kraškimi in nekraškimi rekami. Zaradi različnih povezav med obremenitvami in združbami ličink EPT v kraških in nekraških rekah je treba te povezave obravnavati ločeno v kraških ter nekraških rekah. Podatke o številčnosti taksonov ličink EPT smo uporabili za izračun bioloških metrik, s katerimi smo opisali strukturne in funkcionalne značilnosti združb ličink EPT. Metrike smo razvrstili v skupine metrik: sestava, številčnost, bogastvo, pestrost, preferenca do tipa vodnega toka, preferenca do tipa substrata in način prehranjevanja. V vsaki skupini metrik smo zbrali 4 metrike, skupaj 28 metrik. Med metrikami smo izračunali Spearmanove korelacijske koeficiente rangov ( $r_s$ ). Primerjavo struktturnih in funkcionalnih značilnosti združb ličink EPT smo naredili med: kraškimi in nekraškimi rekami, obremenjenimi in neobremenjenimi rekami, obremenjenimi kraškimi in neobremenjenimi kraškimi rekami, obremenjenimi nekraškimi in neobremenjenimi nekraškimi rekami. Ugotovili smo, da se združbe ličink EPT med kraškimi in nekraškimi rekami statistično značilno ( $p < 0,05$ ) razlikujejo v 29 % testiranih struktturnih in funkcionalnih značilnostih. Statistično značilne razlike med obremenjenimi in neobremenjenimi rekami smo ugotovili pri več kot 60 % struktturnih in funkcionalnih značilnosti združb ličink EPT. Najverjetnejše smo zaradi večje variabilnosti tipoloških značilnosti kraških rek ugotovili, da manj struktturnih in funkcionalnih značilnosti združb ličink EPT odraža razlike v obremenitvah kraških rek (11 %) kot nekraških rek (68 %). Združbe bentoških nevretenčarjev odražajo obremenitve v dobro tipološko definiranih skupinah rek, ki v skupini malo variirajo v naravnih značilnostih.

Z analizo indikatorskih taksonov IndVal smo ugotovili 14 taksonov ličink EPT značilnih za kraške reke in 11 za nekraške reke (indikatorski taksoni). Ugotovili smo tudi, da je v obremenjenih rekah manj indikatorskih taksonov EPT kot v neobremenjenih rekah. Prisotnost indikatorskih taksonov obremenjenih rek je rezultat spremembe v sestavi združbe bentoških nevretenčarjev, ko zaradi obremenitev izginejo taksoni občutljivi na obremenitve, pojavijo pa se taksoni tolerantni na obremenitve. V obremenjenih kraških rekah smo ugotovili več indikatorskih taksonov ličink EPT kot v obremenjenih nekraških rekah. Sklepamo, da so bile spremembe v sestavi združb ličink EPT zaradi obremenitev večje v kraških kot v nekraških rekah.

Za raziskave povezav med spremenljivkami tipologije, rabe tal, značilnosti mikrohabitata in kakovosti vode ter združbami ličink EPT smo podatke uredili v tri sete podatkov: reke bioregije (76 vzorcev ličink EPT), kraške reke (31 vzorcev ličink EPT), nekraške reke (45 vzorcev ličink EPT). Med okoljskimi spremenljivkami smo izračunali Spearmanove korelacijske koeficiente rangov ( $r_s$ ) za vsak set podatkov posebej. Ugotovili smo štiri statistično značilne ( $p < 0,05$ ) močne korelacije ( $r_s \geq 0,80$ ) predvsem med pari okoljskih spremenljivk iz iste skupine spremenljivk. Med pari okoljskih spremenljivk iz različnih skupin spremenljivk je bila prisotna ena močna negativna korelacija, in sicer v kraških rekah. Večina korelacij med okoljskimi spremenljivkami je bila šibkih ali srednje močnih ( $r_s < 0,80$ ), zato smo lahko primerjali vplive tipoloških dejavnikov, rabe tal, kakovosti vode in značilnosti mikrohabitata na združbe ličink EPT.

Povezave med združbami ličink EPT in okoljskimi spremenljivkami smo ugotavljali s kanonično korespondenčno analizo (CCA). V rekah raziskovane bioregije smo od spremenljivk tipologije, rabe tal, kakovosti vode in značilnosti mikrohabitata največ variabilnosti združb ličink EPT smo pojasnili s spremenljivkami meandriranje, delež urbanih površin v skupnih prispevnih površinah rek, pH vode in deležem makrofitov. S spremenljivkami iz posameznih skupin spremenljivk tipologija, raba tal, kakovost vode in značilnosti mikrohabitata smo pojasnili različne deleže variabilnosti združb ličink EPT v kraških in nekraških rekah. V kraških rekah smo združbe ličink EPT najbolj pojasnili s spremenljivkami vpliv kraškega izvira, deležem urbanih površin v skupnih prispevnih površinah rek, električno prevodnostjo vode, koncentracijo klorida, deležem makrofitov in deležem megalitala. V nekraških rekah smo združbe ličink EPT najbolje pojasnili s spremenljivkami velikost prispevne površine rek, delež urbanih površin v skupnih prispevnih površinah rek, koncentracijo raztopljenega kisika v vodi, deležem lomljenih stoječih valov in gladkega vodnega toka. Ugotovili smo, da se vplivi spremenljivk tipologije, rabe tal, kakovosti vode in značilnosti mikrohabitata na združbe ličink EPT razlikujejo med kraškimi in nekraškimi rekami. Za vrednotenje ekološke kakovosti rek in pripravo ustreznih načrtov upravljanja voda je treba ločeno obravnavati vplive okoljskih dejavnikov na reke v dobro tipološko definiranih skupinah rek.

S parcialno kanonično korespondenčno analizo (pCCA) smo deleže pojasnjene variabilnosti združb ličink EPT porazdelili med skupine okoljskih spremenljivk. Disjunktne deleže pojasnjene variabilnosti združb ličink EPT smo statistično značilno ( $p <$

0,05) pojasnili s posamezno skupino spremenljivk, presečne deleže pa z dvema ali tremi skupinami spremenljivk. Za analize pomena skupine spremenljivk tipologija in vsake posamezne skupine spremenljivk raba tal, kakovost vode in značilnosti mikrohabitata za združbe ličink EPT v rekah bioregije in posameznih tipih (kraške in nekraške reke) rek bioregije smo deleže pojasnjene variabilnosti porazdelili med dve skupini spremenljivk: a) tipologija in raba tal, b) tipologija in značilnosti mikrohabitata in c) tipologija in kakovost vode. S skupino spremenljivk tipologija smo v rekah bioregije pojasnili od 44 % do 57 %, v kraških in nekraških rekah pa od 29 % do 64 % variabilnosti združb ličink EPT. S skupinami spremenljivk raba tal, kakovost vode ozziroma značilnosti mikrohabitata smo v rekah bioregije pojasnili od 34 % do 45 %, v kraških in nekraških pa od 26 % do 49 % variabilnosti združb ličink EPT. S po dvema skupinama spremenljivk smo pojasnili od 10 do 19 % variabilnosti združb ličink EPT. Dobro razlikovanje med vplivi dejavnikov tipologije, rabe tal, kakovosti vode in značilnosti mikrohabitator na združbe ličink EPT omogoča uspešno prepoznavanje vzrokov sprememb tekočih voda, povezanih z rabo tal, kakovostjo vode ali značilnostmi mikrohabitata tekočih voda.

Za primerjavo pomena posameznih skupin spremenljivk raba tal, kakovost vode in značilnost mikrohabitata za združbe ličink EPT v rekah bioregije ter posebej v kraških in nekraških rekah smo deleže pojasnjene variabilnosti združb ličink EPT porazdelili med dve ali tri skupine navedenih spremenljivk. V rekah bioregije smo s skupinami spremenljivk raba tal, kakovost vode in značilnosti mikrohabitata pojasnili primerljive disjunktne deleže variabilnosti združb ličink EPT. Kakovost vodnega okolja rek bioregije bomo najbolj izboljšali s sočasnim izboljšanjem rabe tal celotnega prispevnega območja rek in lokalnih značilnosti mikrohabitator in kakovosti vode. Ugotovili smo, da se vplivi rabe tal, kakovosti vode in značilnosti mikrohabitata na združbe ličink EPT razlikujejo med kraškimi in nekraškimi rekami. Zaradi ugotovljenih razlik v vplivih okoljskih dejavnikov je treba kraške in nekraške reke različno upravljati.

## 10.2 SUMMARY

Freshwater ecosystems differ in benthic invertebrates communities being controlled by many natural and anthropogenic factors. Mayflies, stoneflies and caddisflies (EPT) larvae are most important benthic invertebrates occurring at many freshwater habitats and thus are good bioindicators of rivers ecological status. EPT larvae respond to several anthropogenic factors, such as hydromorphological alteration, organic and nutrient pollution. The aims of our investigation were: a) to identify and to compare the structure and function of EPT larvae assemblages in karst and non-karst rivers, b) to identify and to compare the number of indicator taxa in degraded and non-degraded rivers, c) to identify the relationships among typology, land use, water quality and microhabitat variables, d) to determine the effect of typology, land use, microhabitat characteristics and water quality on EPT larvae assemblages, e) to determine the pure and combined effect of land use, water quality and microhabitat characteristics on EPT larvae assemblages, and d) to compare the effect of environmental factors on EPT larvae assemblages among karst and non-karst rivers.

Benthic invertebrates were sampled at 63 sampling sites of rivers of Subdinaric hills and plains bioregion between 2005 and 2010. The benthos sampling was performed according standardised multihabitat sampling approach. At 63 sampling sites we collected 76 EPT larvae samples. We collected data on 52 environmental variables for each sampling site. Environmental variables were assigned to one of the four variables group: typology, land use, microhabitat characteristics and water quality.

The comparison of EPT larvae assemblages composition and abundance was done using non-metric multidimensional scaling (NMS) and permutational multivariate analysis of variance (PERMANOVA) according to a) typology, b) degradation level, and c) typology and degradation level of rivers of Subdinaric hills and plains bioregion. EPT larvae assemblages composition and abundance were equally explained by typology and degradation level. Additionally, the combined effect of typology and degradation level of rivers on EPT larvae assemblages was significant. Thus, EPT larvae assemblages in rivers of Subdinaric hills and plains bioregion are determined by typological characteristics, anthropogenic factors and the combination of typological characteristics and anthropogenic factors. We observed differences in the effect of anthropogenic factors on EPT larvae in

karst and non-karst rivers. Due to observed differences, the relation among anthropogenic factors and EPT larvae should be explored specifically in karst and non-karst rivers.

EPT larvae abundance data were used to calculate biological metrics. Biological metrics were used to identify structural and functional characteristics of EPT larvae assemblages. Metrics were divided into seven metrics group: composition, abundance, richness, diversity, current preference, substrate preference and feeding type. Altogether, 28 metrics were collected, four in each metrics group. Among metrics Spearman correlation coefficients ( $r_s$ ) were calculated. The comparison of EPT larvae assemblages structure and function was done among karst and non-karst rivers, degraded and non-degraded, degraded karst and non-degraded karst, degraded non-karst and non-degraded non-karst rivers. EPT larvae assemblages were statistically significantly ( $p < 0,05$ ) different among karst and non-karst rivers in 29 % of structural and functional characteristics. Among degraded and non-degraded rivers the statistically significant differences in more than 60 % of structural and functional characteristics of EPT larvae assemblages were found. The differences in degradation level were indicated by 11 % and 68 % of EPT larvae assemblages structural and functional characteristics in karst and non-karst rivers respectively. We assume, the great variability in karst rivers typology resulted in small percentage of structural and functional characteristics indicating degradation of karst rivers. Furthermore, we observed the differences in the response of EPT larvae assemblage structure (EPT abundance, P abundance, E taxa, P taxa, T taxa, % P, % E, % *Baetis rhodani*, Margalef diversity and Eveness) and function (% rheobiont taxa, % taxa without current preference, % taxa with preference to akal, % taxa with preference to lithal, % taxa with preference to akal, lithal and psammal, % active filtrators, % shredders, % gatheres) to anthropogenic factors among karst and non-karst rivers.

The Indicator Value Analysis (IndVal) revealed 14 EPT taxa characteristic of karst and 11 EPT taxa characteristic of non-karst rivers (indicator EPT taxa). Also, lower number of indicator EPT taxa was characteristic for degraded rivers than for non-degraded rivers. The indicator EPT taxa of degraded rivers are present due to loss of sensitive EPT taxa and community shift from sensitive to tolerant EPT taxa. In degraded karst rivers we explored more indicator EPT taxa than in degraded non-karst rivers. Apparently, the degradation caused more changes in EPT assemblage composition in karst than in non-karst rivers.

To study the relationships among natural (typology) factors, land use, microhabitat characteristics, water quality and EPT larvae assemblages the data were arranged into three data sets: rivers of bioregion (76 samples), karst rivers (31 samples), non-karst rivers (45 samples). Among environmental variables Spearman correlation coefficients ( $r_s$ ) were calculated. Four statistically significant ( $p < 0,05$ ) strong correlations ( $r_s \geq 0,80$ ) were discovered among variables. Strong correlations were present mostly within variable groups. One strong negative correlation was present in karst rivers of Subdinaric hills and plains bioregion. Most correlations among variables were moderate or weak ( $r_s < 0,80$ ). Mostly moderate or weak correlation among the environmental data in our data sets meets the prerequisite to compare their common and unique contributions to the explained EPT larvae assemblage variability.

Canonical correspondence analysis (CCA, ter Braak and Prentice, 1988) was used to determine most important environmental variables for EPT assemblages. The best predictors of EPT larvae assemblages in rivers of investigated bioregion were meandering, the share of urban areas in catchment, pH and the share of macrophyte cover. Different environmental variables were best predictors in karst and non-karst rivers. In karst rivers best predictors were karst source influence, the share of urban areas in catchment, conductivity, chloride, the share of macrophyte cover and the share of megalithal. In non-karst rivers the best predictors were catchment size, the share of urban areas in catchment, oxygen concentration, the share of broken standing waves and the share of smooth flow. Our results revealed that the effects of typology, land use, water quality and microhabitat characteristics on EPT larvae assemblages differ among karst and non-karst rivers. For the ecological quality assessment and the development of appropriate water management plans, the effects of environmental factors on rivers should be treated separately in well-defined typology based units (groups of rivers).

The explained variation of EPT larvae assemblages was partitioned among environmental variables groups using partial canonical correspondence analysis (pCCA, Borcard et al., 1992). Common shares of explained variation were statistically significantly ( $p < 0,05$ ) explained by two or three variable groups, whereas unique shares were explained by one of the tested variable group. In the analysis of the typology factors and other tested variable group (land use, microhabitat characteristics, and water quality) affecting EPT larvae assemblages, explained variation was partitioned between two variable groups: a) typology

and land use, b) typology and microhabitat characteristics and c) typology and water quality. Typology specific effects accounted for 29 % to 64 % of EPT larvae assemblages variability. Land use, water quality or microhabitat characteristics specific effects accounted for 26 % to 49 % of EPT larvae assemblage variability. Common effects of the EPT assemblages explained variability were from 10 % to 19 %. Making distinction between the effects of typology, land use, water quality and microhabitat factors is an important prerequisite to successfully identify land use, water quality and microhabitat-related changes of water ecosystem.

In the analysis of the land use, microhabitat characteristics and water quality affecting EPT assemblage composition, the explained variation was partitioned among two or three variable groups in rivers of Subdinaric hills and plains and in karst and non-karst rivers of Subdinaric hills and plains bioregion separately. In rivers of investigated bioregion the comparable shares of EPT larvae assemblage variability were explained by land use, water quality and microhabitat characteristics. Consequently, both catchment and local scale (microhabitat and water quality) characteristics should be considered for most successfull ecological quality improvement of rivers of Subdinaric hills and plains bioregion. The importances of tested variable groups for EPT assemblages differ among karst and non-karst rivers. Due to the observed differences in the effects of environmental factors, the management of karst and non-karst rivers should be different.

## 11 VIRI

- Abdo A. S., Rawi C. S. M., Ahmad A. H., Madrus M. R. 2013. Biodiversity of stream insects in the Malaysian Peninsula: spatial patterns and environmental constraints. *Ecological Entomology*, 38(3): 238–249
- Abel P. D. 1996. Water Pollution Biology. 2nd ed. London, Taylor & Francis: 286 str.
- Allan J. D. 2004. Landscapes and riverscapes: The influence of land use on stream ecosystems. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 35: 257–284
- Allan J. D., Castillo M. M. 2007. Stream ecology. Structure and function of running waters. 2nd ed., Springer: 436 str.
- Allan J. D., Johnson L. B. 1997. Catchment-scale analysis of aquatic ecosystems. *Freshwater Biology*, 37: 107–111
- Allan J.D., Erickson D.L., Fay J. 1997. The influence of catchment land use on stream integrity across multiple spatial scales. *Freshwater Biology*, 37: 149–161
- Anderson M. J. 2001. A new method for non-parametric multivariate analysis of variance . *Austral Ecology*, 26: 32–46
- AQEM 2002. Manual for the application of the AQEM method. A comprehensive method to assess European streams using benthic macroinvertebrates, developed for the purpose of the Water Framework Directive. Version 1.0.
- ARSO. 2007a. Monitoring kakovosti površinskih vodotokov v Sloveniji v letu 2005. Ljubljana. Ministrstvo za okoljske in prostor, Agencija Republike Slovenije za okolje: 75 str.
- Bakker J. D. 2008. Increasing the utility of Indicator Species Analysis. *Journal of Applied Ecology*, 45: 1829–1835
- Barendregt A., Bio A. M. F. 2003. Relevant variables to predict macrophyte communities in running waters. *Ecological Modelling*, 160: 205–217
- Bauernfeind E., Humpesch U. H. 2001. Die Eintagsfliegen Zentraleuropas (Insecta: Ephemeroptera): Bestimmung und Ökologie. Verlag des Naturhistorischen Museums Wien, AV – Druck, Wien: 239 str.
- Bauernfeind E., Moog O. 2000. Mayflies (Insecta: Ephemeroptera) and the assessment of the ecological integrity: a methodological approach. *Hydrobiologia*, 71–83: 422–423
- Beisel J-N., Usseglio-Polatera P., Thomas S., Moreteau J-C. 1998. Stream community structure in relation to spatial variation: the influence of mesohabitat characteristics. *Hydrobiologia*, 389: 73–88

Bis B., Zdanowicz A., Zalewski M. 2000. Effects of catchment properties on hydrochemistry, habitat complexity and invertebrate community structure in a lowland river. *Hydrobiologia* 422/423: 369–387

Bispo P. C., Oliveira L. G., 2007. Diversity and structure of Ephemeroptera, Plecoptera and Trichoptera (Insecta) assemblages from riffles in mountain streams of Central Brazil. *Revista Brasileira de Zoologia*, 24: 283–293

Bispo P. C., Oliveira L. G., Bini L. M., Sousa K. G. 2006. Ephemeroptera, Plecoptera and Trichoptera assemblages from riffles in mountain streams of Central Brazil: environmental factors influencing the distribution and abundance of immatures. *Brazilian journal of Biology*, 66: 611–622

Bonada N., Zamora-Muñoz C., Rieradevall M., Prat N. 2004. Ecological profiles of caddisfly larvae in Mediterranean streams: implications for bioassessment methods. *Environmental pollution*, 132: 509–521

Borcard D., Legendre P., Drapeau P. 1992. Partialling out the spatial component of ecological variation. *Ecology*, 73: 1045–1055

Boyero L. 2003. Multiscale patterns of spatial variation in stream macroinvertebrate communities. *Ecological Research*, 18: 365–379

Brabec K., Zahrádková S., Němejcová D., Pářil P., Kokeš J., Jarkovský J. 2004. Assessment of organic pollution effect considering differences between lotic and lentic stream habitats. *Hydrobiologia*, 516: 331–346

Bray J. R., Curtis J. T. 1957. An ordination of upland forest communities of southern Wisconsin. *Ecological Monographs*, 27: 325–349

Brittain J. E., Saltveit S. J. 1989. A review of the effect of river regulation on mayflies (Ephemeroptera). *Regulated Rivers: Research & Management*, 3: 191–204

Brittain J. E., Sartori M. 2003. Ephemeroptera. V: Resh V. H. & R. T. Cardé (ur), *Encyclopedia of insects*. Academic Press, Amsterdam: 373–380

Buss D. F., Baptista D. F., Silveira M. P., Nessimian J. L., Dorvillé L. F. M. 2002. Influence of water chemistry and environmental degradation on macroinvertebrate assemblages in a river basin in south-east Brazil. *Hydrobiologia*, 481: 125–136

Carpenter S. R., Caraco N. F., Corell D. L., Howarth R. W., Sharpley A. N., Smith W. H. 1998. Nonpoint pollution of surface waters with phosphorous and nitrogen. *Ecological Applications*, 8(3): 559–568

Chase J. M., Liebold M. A. 2003. Ecological niches: linking classical and contemporary approaches. Chicago, University of Chicago Press: 212 str.

Clarke K. R., Warwick R. M. 2001. Change in marine communities: An approach to statistical analysis and interpretation. 2nd ed. UK, Plymouth Marine Laboratory: 176 str.

CLC. 2007. CORINE Land Cover. Ministrstvo za okolje in prostor, Agencija Republike Slovenije za okolje.

Coimbra C. N., Graça M. A. S., Cortes R. M. 1996. The effects of a basic effluent on macroinvertebrate community structure in a temporary Mediterranean river. Environmental Pollution, 94 (3): 301–307

Collier K. J., Quinn J. M. 2003. Land-use influences macroinvertebrate community response following a pulse disturbance. Freshwater Biology, 48: 1462–1481

Colwell R.K. 2013. EstimateS: Statistical estimation of species richness and shared species from samples. Version 8.2. <http://purl.oclc.org/estimates>

de Moor F. C., Ivanov M. D. 2008. Global diversity of caddisflies (Trichoptera: Insecta) in freshwater. Hydrobiologia, 595: 393–407

Demars B.O.L., Kemp J. L., Friberg N., Usseglio-Polatera P., M. Harper D. M. 2012. Linking biotopes to invertebrates in rivers: Biological traits, taxonomic composition and diversity. Ecological Indicators, 23: 301–311

Di Giovanni M. V., Goretti E., Ceccagnoli D., La Porta G., Chiappafreddo U. 2003. Ephemeroptera and Plecoptera in the Chiascio River (Central Italy) since a dam's building. V: Research Update on Ephemeroptera & Plecoptera, E. Gaino (ur.), University of Perugia, Perugia, Italy: 293–298

Dobrin M., Giberson D. J. 2003. Life history and production of mayflies, stoneflies, and caddisflies (Ephemeroptera, Plecoptera, and Trichoptera) in a spring-fed stream in Prince Edward Island, Canada: evidence for population asynchrony in spring habitats? Canadian Journal of zoology, 81: 1083–1095

Dohet A., Ferréol M., Cauchie H., Hoffmann L. 2008. Caddisfly assemblages characterizing different ecological areas in Luxembourg: from geographical distributions to bioindication. Ferrantia, 55: 33–56

Dolisy D., Dohet A. 2003. The use of Ephemeroptera to assess aquatic biodiversity in the rhithral part of the Luxembourgish rivers. V: Research Update on Ephemeroptera & Plecoptera, Biogeography, Biodiversity & Ecology, University of Perugia, Perugia, Italy: 299–303

Dudgeon D. 2010. Prospects for sustaining freshwater biodiversity in the 21<sup>st</sup> century: linking ecosystem structure and function. Current Opinion in Environmental Sustainability, 2: 422–430

- Dufrêne M., Legendre P. 1997. Species assemblages and indicator species: the need for a flexible asymmetrical approach. *Ecological Monographs*, 67: 345–366
- Eiseler B. 2005. Bildbestimmungsschlüssel für die Eintagsfliegenlarven der deutschen Mittelgebirge und des Tieflandes Identification key to the mayfly larvae of the German highlands and lowlands. *Lauterbornia*, 53: 1–112
- Fauth J., Bernardo J., Camara M., Resetarits W. J., Van Buskirk J., McCollum S. A. 1996. Simplifying the jargon of community ecology: a conceptual approach. *American Naturalist*, 147: 282–285
- Feld C. K., Hering D. 2007. Community structure or function: effects of environmental stress on benthic macroinvertebrates at different spatial scales. *Freshwater Biology*, 52: 1380–1399
- Feld C.K. 2004. Identification and measure of hydromorphological degradation in Central European lowland streams. *Hydrobiologia*, 516: 69–90
- Fernández-Aláez C., de Soto J., Fernández-Aláez M., García-Criado F., 2002. Spatial structure of the caddisfly (Insecta, Trichoptera) communities in a river basin in NW Spain affected by coal mining. *Hydrobiologia*, 487(1): 193–205
- Fochetti R., de Figueroa J. M. T. 2008. Global diversity of stoneflies (Plecoptera; Insecta) in freshwater. *Hydrobiologia*, 595: 365–377
- Friberg N., Skriver J., Larsen S. E., Pedersen M. L., Buffagni A. G. 2010. Stream macroinvertebrate occurrence along gradients in organic pollution and eutrophication. *Freshwater Biology*, 55: 1405–1419
- Fricová K., Růžičková J., Hřebík Š. 2007. Benthic macroinvertebrates as indicators of ecological integrity of lotic ecosystems in the Šumava National Park, Czech Republic. *Silva Gabreta*, 13(1): 39–55
- Frissell C. A., Liss W. J., Warren C. E., Hurley M. D. 1986. A hierarchical framework for stream habitat classification: Viewing streams in a watershed context. *Environmental Management*, 10: 199–214
- Galbraith H. S., Vaughn C. C., Meier C. K. 2008. Environmental variables interact across spatial scales to structure trichopteran assemblages in Ouachita Mountain rivers. *Hydrobiologia*, 596: 401–411
- Gams I. 2004. Kras v Sloveniji v prostoru in času. 2. pregledana izdaja. Ljubljana, ZRC SAZU, Založba ZRC: 515 str.
- Gerhardt A. 2002. Bioindicator species and their use in biomonitoring. *Environmental Monitoring EOLSS*, 1: 1–10

Giller P. S., Malmqvist B. 1998. The biology of streams and rivers. Biology of habitats. New York, Oxford University Press: 296 str.

Gotelli N. J., Colwell R. K. 2001. Quantifying biodiversity: procedures and pitfalls in the measurement and comparison of species richness. *Ecology Letters*, 4: 379–391

Habdić I., Radanović I., Primc-Habdić B., Špoljar M. 2002. Vegetation Cover and Substrate Type as Factors Influencing the Spatial Distribution of Trichopterans along a Karstic River. *International Review of Hydrobiology*, 87: 423–437

Haidekker A., Hering D. 2008. Relationship between benthic insects (Ephemeroptera, Plecoptera, Coleoptera, Trichoptera) and temperature in small and medium-sized streams in Germany: A multivariate study. *Aquatic Ecology*, 42: 463–481

Hammer Ø., Harper D.A.T., Ryan P.D. 2001. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontology Electronica* 4: 1–9

Harding J. S., Benfield E. F., Bolstad P. V., Helfman G. S., Jones E. B. D. 1998. Stream biodiversity: The ghost of land use past. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 95: 14843–14847

Hawkins C.P., Norris R.H., Gerritsen J., Hughes R.M., Jackson S.K., Johnson R.K., Stevenson R.J. 2000. Evaluation of the use of landscape classifications for the prediction of freshwater biota: synthesis and recommendations. *Journal of North American Benthological Society* 19: 541–556

Heino J. 2005. Functional biodiversity of macroinvertebrate assemblages along major ecological gradients of boreal headwater streams. *Freshwater Biology*, 50: 1578–1587

Heino J., Muotka T., Paavola R. 2003. Determinants of macroinvertebrate diversity in headwater streams: regional and local influences. *Journal of Animal Ecology*, 72: 425–434

Heino J., Mykrä H. 2006. Assessing physical surrogates for biodiversity: Do tributary and stream type classifications reflect macroinvertebrate assemblage diversity in running waters? *Biological Conservation*, 129: 418–426

Heino J., Mykrä H. 2008. Control of stream insect assemblages: roles of spatial configuration and local environmental factors. *Ecological Entomology*, 33: 614–622

Helešić J. 2001. Nonparametric evaluation of environmental parameters determining the occurrence of stonefly larvae (Plecoptera) in streams. *Aquatic Sciences*, 63: 490–501

Hering D., Feld C.K., Moog O., Ofenböck T. 2006. Cook book for the developement of Multimteric Index for biological condition of aquatic ecosystems: experiences from the European AQEM and STAR pojects and related initiatives. *Hydrobiologia*, 566: 311–324

Hering D., Meier C., Rawer-Jost C., Feld C. K., Biss R., Zenker A., Sundermann A., Lohse S., Böhmer J. 2004. Assessing streams in Germany with benthic invertebrates: selection of candidate metrics. *Limnologica*, 34: 398–415

Hieber M., Robinson C. T., Uehlinger U., Ward J. V. 2005. A comparison of benthic macroinvertebrate assemblages among different types of alpine streams. *Freshwater Biology*, 50: 2087–2100

Hill M. O., Gauch H. G. 1980. Detrended Correspondence Analysis: An Improved Ordination Technique. *Vegetatio*, 42: 47–58

Hodkinson I. D., Jackson J. K. 2005. Terrestrial and Aquatic Invertebrates as Bioindicators for Environmental Monitoring, with Particular Reference to Mountain Ecosystems. *Environmental Management*, 35(5): 649–666

Hrovat M., Urbanič G., Sivec I. 2009. Community structure and distribution of Ephemeroptera and Plecoptera larvae in lowland karst rivers in Slovenia. *Aquatic Insects/Supplement*, 31: 343–357

Hrovat M., Urbanič G., Sivec I. 2014. Aquatic insects along environmental gradients in a karst river system: A comparative analysis of EPT larvae assemblage components. *International Review of Hydrobiology*, 99: 1-14

Hrvatin M., Perko D. 2003. Razgibanost površja in raba tal v Sloveniji. *Acta Geographica Slovenica*, 43: 33–86

Hubbell S. P. 2001. The unified neutral theory of biodiversity and biogeography (MPB-32). Princeton, Princeton University Press: 375 str.

Hutchinson G.E. 1957. Concluding remarks—Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology. 22: 415–427. Reprinted in 1991: Classics in Theoretical Biology. *Bulletin of Mathematical Biology*, 53: 193–213

IBM - IBM SPSS Statistics for Windows: version 20.0. 2011. Armonk, NY: IBM Corp.

Illies J. 1978. Linmnofauna Europaea. 2. izdaja. Stuttgart, New York, Gustav Fischer Verlag: 532 str.

Jackson D. A., Peres-Neto P. R., Olden J. D. 2001. What controls who is where in freshwater fish communities — the roles of biotic, abiotic, and spatial factors. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 58: 157–170

Jezberová M. 2003. Distribution and density of Ephemeroptera and Plecoptera of the Radíkovský brook (Czech Republic) in relation to selected environmental variables. V: Research Update on Ephemeroptera & Plecoptera, Biogeography, Biodiversity & Ecology. University of Perugia, Perugia, Italy: 327–331

Johnson R. K. 1998. Spatiotemporal variability of temperate lake macroinvertebrate communities: Detection of impact. *Ecological Applications*, 8: 61–70

Johnson R. K., Furse M. T., Hering D., Sandin L. 2007. Ecological relationships between stream communities and spatial scale: implications for designing catchment-level monitoring programmes. *Freshwater Biology*, 52: 939–958

Jongman R.H.G., ter Braak C.J.F., Van Tongeren O.F.R. 2005. Data analysis in community and landscape ecology. New York, Cambridge University Press: 212 str.

Kindt R., Coe R. 2005. Tree diversity analysis. A manual and software for common statistical methods for ecological and biodiversity studies. Kenya, Nairobi, World Agroforestry Centre: 196 str.

King R. S., Baker M. E. 2010. Considerations for analyzing ecological community thresholds in response to anthropogenic environmental gradients. *Journal of the North American Benthological Society*, 29: 998–1008

Krno I. 2003. Stoneflies (Plecoptera) of the Gidra River Basin (Male' Karpaty Mts., Slovakia). *Acta Zoologica Universitatis Comenianae*, 45: 53–67

Krno I. 2007. Impact of human activities on stonefly (Insecta, Plecoptera) ecological metrics in the Hron River (Slovakia). *Biologia, Bratislava*, 62/4: 446–457

Kromrey J. D, Hines C.V. 1995. Use of empirical estimates of shrinkage in multiple regression: a caution. *Educational and Psychological Measurement*, 55: 901–925

Kuhar U., Germ M., Gaberščik A., Urbanič G. 2011. Development of a River Macrophyte Index (RMI) for assessing river ecological status. *Limnologica – Ecology and Management of Inland Waters*, 41(3): 235–243

Kuhar U., Gregorc T., Renčelj M., Šraj-Kržič N., Gaberščik A. 2006. Distribution of macrophytes and condition of the physical environment of streams flowing through agricultural landscape in north-eastern Slovenia. *Limnologica*, 37: 146–154

Lammert M., Allan J. D. 1999. Assessing Biotic Integrity of Streams: Effects of Scale in Measuring the Influence of Land Use/Cover and Habitat Structure on Fish and Macroinvertebrates. *Environmental Management*, 23(2): 257–270

Landa V., Soldán T. 1995. Mayflies as bioindicators of water quality and environmental change on a regional and global scale. V: Current directions in research on Ephemeroptera. Toronto, Canadian Scholar's Press Inc.: 21–29

Lawton J. H. 1999. Are There General Laws in Ecology? *Oikos*, 84: 177–192

Legendre P., Legendre L. 1998. Numerical Ecology. 2nd ed. Developments in environmental modelling 20. Amsterdam, Elsevier: 853 str.

- Lepš J., Šmilauer P. 2003. Multivariate Analysis of Ecological Data. Cambridge University Press: 269 str.
- Li L., Zheng B, Liu L. 2010. Biomonitoring and Bioindicators Used for River Ecosystems: Definitions, Approaches and Trends. *Procedia Environmental Sciences*, 2: 1510–1524
- Lorenz A., Feld C. K., Hering D. 2004a. Typology of streams in Germany based on benthic invertebrates: Ecoregions, zonation, geology and substrate. *Limnologica*, 34:379–389
- Lorenz A., Feld C. K., Hering D., Rolauffs P. 2004b. A new method for assessing the impact of hydromorphological degradation on the macroinvertebrate fauna of five German stream types. *Hydrobiologia* 516: 107–127
- Lowe W. H., Likens G. E., Power M. E. 2006. Linking Scales in Stream Ecology. *BioScience*, 56: 591–597
- Lytle D. A., Poff N. L. 2004. Adaptation to natural flow regimes. *Trends in Ecology and Evolution*, 19(2): 94–100
- Mackay R. J., Wiggins G. B. 1979. Ecological diversity in Trichoptera. *Annual Review of Entomology*, 24:185–208
- Magbanua F. S., Townsend C. R., Blackwell G. L., Phillips N., Matthaei C. D. 2010. Responses of stream macroinvertebrates and ecosystem function to conventional, integrated and organic farming. *Journal of Applied Ecology*, 47: 1014–1025
- Malmqvist B. 2002. Aquatic invertebrates in riverine landscapes. *Freshwater Biology*, 47: 679–694
- Maloney K. O., Fominella J. W. 2006. Evaluation of single- and multi-metric benthic macroinvertebrate indicators of catchment disturbance over time at the Fort Benning Military Installation, Georgia, USA. *Ecological Indicators*, 6: 469–484
- Mann H B., Whitney D. R. 1947. On a Test of Whether one of Two Random Variables is Stochastically Larger than the Other. *Annals of Mathematical Statistics*, 18: 50–60
- Moore A. A., Palmer M. A. 2005. Invertebrate Biodiversity in Agricultural and Urban Headwater Streams: Implications for Conservation and Management. *Ecological Applications*, 15 (4): 1169-1177
- Mori N., Brancelj A. 2006. Macroinvertebrate communities of karst springs of two river catchments in the Southern Limestone Alps (the Julian Alps, NW Slovenia). *Aquatic Ecology*, 40: 69–83

Mykrä H., Heino J., Muotka T. 2007. Scale-related patterns in the spatial and environmental components of stream macroinvertebrate assemblage variation. *Global Ecology and Biogeography*, 16: 149–159

Müller-Liebenau I. 1969. Revision der europäischen Arten der Gattung *Baetis* Leach, 1815 (Insecta, Ephemeroptera). *Gewässer und Abwässer*, 48/49: 1–214

Nijboer R. C., Verdonschot P. F. M. 2004. Variable selection for modelling effects of eutrophication on stream and river ecosystems. *Ecological Modelling*, 177: 17–39

Ofenböck T., Moog O., Gerritsen J., Barbour M. 2004. A stressor specific multimetric approach for monitoring running waters in Austria using benthic macro-invertebrates. *Hydrobiologia*, 516: 251–268

Økland R. H., Eilersten O. 1994. Canonical Correspondence Analysis with Variation Partitioning: Some Comments and an Application. *Journal of Vegetation Science*, 5: 117–126

Ormerod S. J., Dobson M., Hildrew A. G., Townsend C. R. 2010. Multiple stressors in freshwater ecosystems. *Freshwater Biology*, 55: 1–4

Palmer M. A., Menninger H. L., Bernhardt E. 2009. River restoration, habitat heterogeneity and biodiversity: a failure of theory or practice? *Freshwater Biology*, 55: 1–18

Parise M., Pascali V. 2003. Surface and subsurface environmental degradation in the karst of Apulia (southern Italy). *Environmental Geology*, 44: 247–256

Pastuchová Z. 2006. Macroinvertebrate assemblages in conditions of low-discharge streams of the Cerová vrchovina highland in Slovakia. *Limnologica*, 36: 241–250

Pastuchová Z., Lehotský M., Grešková A. 2008. Influence of morphohydraulic habitat structure on invertebrate communities (Ephemeroptera, Plecoptera and Trichoptera). *Biologia*, 63: 720–729

Paul M. J., Meyer J. L. 2001. Streams in the urban landscape. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 32: 333–65

Pauls S. U., Graf W., Haase P., Lumsch H. T., Waringer J. 2008. Grazers, shredders and filtering carnivores—The evolution of feeding ecology in Drusinae (Trichoptera: Limnephilidae): Insights from a molecular phylogeny. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 46: 776–791

Pavlin M. 2012. Povezava med spremenljivkami evtrofikacije in združbo nevretenčarjev v celinskih vodah Slovenije: doktorska disertacija. (Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo): Ljubljana, samozal.: 156 str.

Pavlin M., Birk S., Hering D., Urbanič G. 2011. The role of land use, nutrients, and other stressors in shaping benthic invertebrate assemblages in Slovenian rivers. *Hydrobiologia*, 678: 137–153

Peres-Neto P., Legendre P., Dray S., Borcard D. 2006. Variation partitioning of species data matrices: estimation and comparison of fractions. *Ecology*, 87: 2614–2625

Perko D., Orožen-Adamič M. 1998. Slovenija – pokrajine in ljudje. Ljubljana, Mladinska knjiga: 735 str.

Petek F. 2004. Land use in Slovenia. V: Slovenia: a geographical overview. Urbanc M. (ur.). Ljubljana. ZRC SAZU: 105–108

Peterson E. W., Davis R. K., Brahana J. V., Orndorff H. A. 2002. Movement of nitrate through regolith covered karst terrane, northwest Arkansas. *Journal of Hydrology*, 256: 35–47

Petkovska V., Urbanič G. 2010. Effect of fixed-fraction subsampling on macroinvertebrate bioassessment of rivers. *Environmental monitoring and assessment*, 169: 179–201

Petrin Z., Brittain J. E., Saltveit S. J. 2013. Mayfly and stonefly species traits and species composition reflect hydrological regulation: a meta-analysis. *Freshwater Science*, 32(2): 425–437

Petts G. E. 2000. A perspective on the abiotic processes sustaining the ecological integrity of running waters. *Hydrobiologia*, 422/423: 15–27

Plut D. 1988. Belokranjske vode. Poljudno-znanstvena knjižna zbirka, Novo mesto, Dolenjski muzej: 199 str.

Pond G. J. 2010. Patterns of Ephemeroptera taxa loss in Appalachian headwater streams (Kentucky, USA). *Hydrobiologia*, 641: 185–201

Power M. E., Stout R. J., Cushing C. E., Harper P. P., Hauer F. R., Matthewa W. J., Moyle P. B.P., Statzner B., Wais De Badgen I. R. 1988. Biotic and Abiotic Controls in River and Stream Communities. *Journal of the North American Benthological Society*, 7: 456–479

Quinn J. M., Cooper A. B., Davies-Colley R. J., Rutherford J. C., Williamson R. B. 1997. Land use effect on habitat, water quality, periphyton, and benthic invertebrates in Waikato, New Zealand, hill-country streams. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, 31(5): 579–597

R Development Core Team - R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing. 2012. Vienna, Austria; <http://www.r-project.org/> (11.9.2013)

Rabení C. F., Doisy K. E., Zweig L. D. 2005. Stream invertebrate community functional responses to deposited sediment. *Aquatic Sciences*, 67: 395–402

Raušer J. 1980. Řád Pošvatky – Plecoptera. V: Rozkošny R. (ur.). Klič vodních larev hmyzu. Československá akademie věd, Praha: 6-132

Rejec Brancelj I. 2001. Kmetijsko obremenjevanje okolja v Sloveniji. Pokrajinski vidiki obremenjevanja iz razpršenih virov. Inštitut za geografijo, Ljubljana, 104 str.

Rejec Brancelj I. 2003. Kmetijstvo v Sloveniji z vidika obremenjevanja okolja. *Geografski vestnik*, 75-2: 53–64

Robinson C. T., Uehlinger U., Hieber M. 2001. Spatio-temporal variation in macroinvertebrate assemblages in glacial streams in the Swiss Alps. *Freshwater Biology*, 46: 1663–1672

RStudio RStudio: Integrated development environment for R (Version 0.96.122). 2012. . Boston, MA: (programska oprema); <http://www.rstudio.com/> (11.9.2013)

Sandin L. 2003. Benthic Macroinvertebrates in Swedish Streams: Community Structure, Taxon Richness, and Environmental Relations. *Ecography*, 26: 269–282

Sandin L., Hering D. 2004. Comparing macroinvertebrate indices to detect organic pollution across Europe: a contribution to the EC Water Framework Directive intercalibration. *Hydrobiologia*, 516: 55–68

Sandin L., Johnson R. K. 2000. Ecoregions and benthic macroinvertebrate assemblages of Swedish streams. *Journal of the North American Benthological Society*, 19: 462–474

Sandin L., Johnson R. K. 2004. Local, landscape and regional factors structuring benthic macroinvertebrate assemblages in Swedish streams. *Landscape Ecology*, 19: 501–514

Schmidt-Kloiber A., Graf W., Lorenz A., Moog O. 2006. The AQEM/STAR taxalist – a pan-European macro-invertebrate ecological database and taxa inventory. *Hydrobiologia*, 566: 325–342

Shah J. A., Pandit A. K. 2013. Application of diversity indices to crustacean community of Wular Lake, Kashmir Himalaya. *International Journal of Biodiversity and Conservation*, 5(6): 311–316

Sheldon A. L., Warren M. L. 2009. Filters and templates: stonefly (Plecoptera) richness in Ouachita Mountains streams, U.S.A. *Freshwater Biology*, 54: 943–956

Sherwood W. C. 1989. Chloride loading in the South Fork of the Shenandoah River, Virginia, U.S.A. *Environmental Geology and Water Sciences*, 14(2): 99–106

Simon K. S., Benfield E. F. 2001. Leaf and Wood Breakdown in Cave Streams. *Journal of the North American Benthological Society*, 20: 550–563

Sivec I. 2003. Vrbnice-Plecoptera. V: Sket B. (ur.), Živalstvo Slovenije, 1. natis, Ljubljana. Tehniška založba Slovenije: 290–294

Sivec I., Popijač A. 2013. Vrbnice Bele krajine. V: Narava Bele krajine, Štwngelj M., Ivanovič M. (ur.), Belokranjski muzej, Metlika: 137–140

Skumavec D., Šabić D. 2005. Pokrovnost tal v Sloveniji 1993 – 2001. Ljubljana, Statistični urad Republike Slovenije: 66 str.

Smith H., Wood P. J. 2002. Flow permanence and macroinvertebrate community variability in limestone spring systems. *Hydrobiologia*, 487: 45–58

Soldán T., Zahrádková S., Helešic J., Dušek L., Landa V. 1998. Distributional and quantitative patterns of Ephemeroptera and Plecoptera in the Czech Republic: a possibility of detection of long-term environmental changes of aquatic biotopes. *Folia Facultatis Scientiarum Naturalium Universitatis Masarykianae Brunensis, Biologia*, 98: 1–305

Song M.-Y., Leprieur F., Thomas A., Lek-Ang S., Chon T.-S., Lek S. 2009. Impact of agricultural land use on aquatic insect assemblages in the Garonne river catchment (SW France). *Aquatic Ecology*, 43: 999–1009

Southwood T. R. E: 1988. Tactics, Strategies and Templets. *Oikos*, 52: 3–18

Stoddard J. L., Herlihy A. T., Peck D. V., Hughes R. M.; Whittier T. R., Tarquinio E. 2008. A process for creating multimetric indices for large-scale aquatic surveys. *Journal of the North American Benthological Society*, 27(4): 878–891

Studemann D., Landolt P., Sartori M., Hefti D., Tomka I. 1992. Ephemeroptera. *Insecta Helvetica, Fauna 9*. Imprimerie Mauron & Tinguelg & Lachat SA, Fribourg: 174 str.

Svitok M. 2006. Structure and spatial variability of mayfly (Ephemeroptera) communities in the upper Hron River basin. *Biologia*, 61: 547–554

Tavzes B., Urbanič G. 2009. New indices for assessment of hydromorphological alteration of rivers and their evaluation with benthic invertebrate communities; Alpine case study. *Review of Hydrobiology*, 2: 133–161

Tavzes B., Urbanič G., Toman M.J. 2006. Biological and hydromorphological integrity of the small urban stream. *Physics and Chemistry of the Earth*, 31: 1062–1074

ter Braak C. J. F., Prentice I. C. 1988. A theory of gradient analysis. *Advances In Ecological Research*, 18: 271–317

ter Braak C.J.F. 1987. Ordination. V: Data analysis in community and landscape ecology. Jongman R. H. G., ter Braak C. J. F. van Tongeren O. F. R. (eds.). Wageningen, Pudoc: 91–173

ter Braak C.J.F. 1994. Canonical community ordination. Part 1: Basic theory and linear methods. *Ecoscience*, 1: 127–140

ter Braak C.J.F., Šmilauer P. 2002. CANOCO reference manual and CanoDraw for Windows user's guide: software for canonical community ordination (version 4.5), Ithaca, New York, Microcomputer Power: 500 str.

Thais Suriano M., Fonseca-Gessner A., Roque F.O., Froehlich C.G. 2011. Choice of macroinvertebrate metrics to evaluate stream conditions in Atlantic Forest, Brazil. *Environmental Monitoring Assessment*, 175: 87–101

Thompson R., Townsend C. 2006. A truce with neutral theory: local deterministic factors, species traits and dispersal limitation together determine patterns of diversity in stream invertebrates. *Journal of Animal Ecology*, 75: 476–484

Toman M. J., Kranjc U. 2003. Ekološko stanje površinskih voda – primer akumulacijsko jezero Vrhovo. *Mišičev vodarski dan* 2003: 149–154

Tome D. 2006. Ekologija. Organizmi v prostoru in času. Tehniška založba Slovenije: 344 str.

Tong S. T. Y., Chen W. 2002. Modeling the relationship between land use and surface water quality. *Journal of Environmental Management*, 66: 377–393

Törnblom J., Angelstam P., Degerman E. 2011. Catchment land cover as a proxy for macroinvertebrate assemblage structure in Carpathian Mountain streams. *Hydrobiologia*, 673: 153–168

Townsend C. R., Doledec S., Scarsbrook M. R. 1997. Species traits in relation to temporal and spatial heterogeneity in streams: a test of habitat templet theory. *Freshwater Biology*, 37: 367–387

Townsend C. R., Riley R. H. 1999. Assessment of river health: accounting for perturbation pathways in physical and ecological space. *Freshwater Biology*, 41: 393–405

Ugland K. I., Gray J. S., Ellingsen K. E. 2003. The Species-Accumulation Curve and Estimation of Species Richness. *Journal of Animal Ecology*, 7: 888–897

UL EU 2000. Direktiva Evropskega parlamenta in sveta 2000/60/ES z dne 23. oktobra 2000 o določitvi okvira za ukrepe Skupnosti na področju vodne politike. Uradni list evropskih skupnosti, L327(1): 275–346

UL RS 2002. Pravilnik o monitoringu kemijskega stanja površinskih voda. Uradni list Republike Slovenije 42: 4162–4166

UL RS 2009. Pravilnik o monitoringu stanja površinskih voda. Uradni list Republike Slovenije 10: 832–840

Urbanič G. 2004. Ekologija in razširjenost mladoletnic (Insecta:Trichoptera) v nekaterih vodotokih v Sloveniji: doktorska disertacija. (Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo):Ljubljana, samozal.: 188 str.

Urbanič G. 2008a. Redelineation of European inland water ecoregions in Slovenia. Review of Hydrobiology, 1: 17–25

Urbanič G. 2008b. Subekoregije in bioregije celinskih voda Slovenije. Natura Sloveniae, 10: 5–19

Urbanič G. 2008c. Varstvo ekosistemov. V: Ekosistemi – povezanost živih sistemov. Zbornik prispevkov posveta, Ljubljana: str. 128–142

Urbanič G. 2011. Ecological status assessment of rivers in Slovenia – an overview. Natura Sloveniae, 13: 5–16

Urbanič G. 2014. Hydromorphological degradation impact on benthic invertebrates in large rivers in Slovenia. Hydrobiologia, 1–17

Urbanič G., Ambrožič Š., Tavzes B., Sever M., Pavlin M., Weldt S. 2006. Izvajanje monitoringa za ekološko stanje vodotokov v letu 2006, biološki del - bentoški nevretenčarji. Končno poročilo. Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta: 226 str.

Urbanič G., Germ M., Hrovat M., Debeljak B., Gaberščik A., Kuhar U. 2011. Ekološko stanje površinskih voda v letu 2010, za biološka elementa kakovosti - bentoški nevretenčarji in makrofiti. Končno poročilo. Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta: 219 str.

Urbanič G., Germ M., Hrovat M., Sever M., Kuhar U., Gaberščik A., Debeljak B., Mašek A., 2010. Ekološko stanje površinskih voda v letu 2009, za biološka elementa kakovosti - bentoški nevretenčarji in makrofiti. Končno poročilo. Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta: 346 str.

Urbanič G., Germ M., Sever M., Hrovat M., Kuhar U., Gaberščik A., Mirt T., Bedjanič M. 2009. Ekološko stanje površinskih voda v letu 2008, za biološka elementa kakovosti - bentoški nevretenčarji in makrofiti. Končno poročilo. Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta: 195 str.

Urbanič G., Pavlin M., Sever M., Ambrožič Š., Mirt T., Hrovat M., Podgornik S. 2007. Vzorčenje in obdelava 30 vzorcev bentoških nevretenčarjev za pripravo metodologije za določanje ekološkega stanja rek v Sloveniji. Končno poročilo. Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, 188 str.

Urbanič G., Sever M., Pavlin M., Hrovat M., Petkovska V. 2008. Izvajanje monitoringa za ekološko stanje vodotokov v letu 2007, biološki del - bentoški nevretenčarji. Končno poročilo. Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta: 133 str.

Urbanič G., Tavzes B., Toman M. J. T., Ambrožič Š., Hodnik V., Zdešar K., Sever M. 2005. Priprava metodologij vzorčenja ter laboratorijske obdelave vzorcev bentoških nevretenčarjev (zoobentosa) nabranih v vodotokih in obdelava 70 vzorcev bentoških nevretenčarjev. Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta: 38 str.

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

Urbanič G., Toman M. J. 2007. Influence of environmental variables on stream caddis larvae in three Slovenian ecoregions: Alps, Dinaric Western Balkans and Pannonian lowland. International Review of Hydrobiology, 92: 582–602

Urbanič G., Toman M. J., Krušnik C. 2005. Microhabitat type selection of caddisfly larvae (Insecta: Trichoptera) in a shallow lowland strea. Hydrobiologia, 541: 1–12

Vannote R. L., Minshall G. W., Cummins K. W., Sedell J. R., Cushing C. E. 1980. The river continuum concept. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 37: 130–137

Verdonschot P. F. M., Spears B. M., Feld C. K., Brucet S., Keizer-Vlek H., Borja A., Elliott M., Kernan M., Johnson R. K. 2012. A comparative review of recovery processes in rivers, lakes, estuarine and coastal waters. Hydrobiologia, 704(1), 453–474

Verdonschot P.F.M. 2000. Integrated ecological assessmentmethods as a basis for sustainable catchment management. Hydrobiologia, 422/423: 389–412.

Verdonschot P.F.M. 2006. Evaluation of the use of Water Framework Directive typology descriptors, reference sites and spatial scale in macroinvertebrate stream typology. Hydrobiologia, 566: 39–58

Verdonschot P.F.M., Nijboer R.C. 2004. Testing the European stream typology of the Water Framework Directive for macroinvertebrates. Hydrobiologia, 516: 35–54

Vesper D. J., Loop C. M., White W. B. 2003. Contaminant transport in karst aquifers. Speleogenesis and Evolution of Karst Aquifers, 1: 1–11

VGI 2002. Kategorizacija pomembnejših slovenskih vodotokov po naravovarstvenem pomenu. Poročilo Vodnogospodarskega inštituta, C–274, Ljubljana

Von Der Ohe P. C., Liess M. 2004. Relative sensitivity distribution of aquatic invertebrate to organic and metal compounds. Environmental Toxicology and Chemistry, 23(1): 150–156

Wallace J. B., Grubaugh J. W., Whiles M. R. 1996. Biotic Indices and Stream Ecosystem Processes: Results from an Experimental Study. Ecological Applications, 6(1): 140–151

Wallace J. B., Merritt R. W. 1980. Filter-feeding ecology of aquatic insects. Annual Review of Entomology, 25:103–132

- Ward J. V. 1989. The Four-Dimensional Nature of Lotic Ecosystems. *Journal of the North American Benthological Society*, 8: 2–8
- Ward J. V. 1998. Riverine landscapes: biodiversity patterns, disturbance regimes, and aquatic conservation. *Biological Conservation*, 83: 269–278
- Ward J. V., Stanford J. A. 1995. The serial discontinuity concept: Extending the model to floodplain rivers. *Regulated rivers: Research & Management*, 10: 159–168
- Waringer J., Graf W. 1997. *Atlas der österreichischen Köcherfliegenlarven unter Einschluß der angrenzenden Gebiete*. Wien, Facultas-Universitätsverlag: 286 str.
- Waringer J., Graf W. 2000. Ergänzungen und Berichtigungen zum “Atlas der österreichischen Köcherfliegenlarven unter Einschluß der angrenzenden Gebiete”. Beilage zum 1. unveränderten Nachdruck. Wien, Facultas Universitätsverlag: 19 str.
- Wiberg-Larsen P., Brodersen K. P., Birkholm S., Grønsh P. N., Skriver J. 2000. Species richness and assemblage structure of Trichoptera in Danish streams. *Freshwater Biology*, 43: 633–647
- Wiggins G. B., Mackay R. J. 1978. Some relationship between systematics and trophic ecology in nearctic aquatic insects, with special reference to Trichoptera. *Ecology*, 59(6): 1211–1220
- Zwick P. 2004. Key to the West Palearctic genera of stoneflies (Plecoptera) in the larval stage. *Limnologica*, 34: 315–348

## 12 ZAHVALA

*...Nobena pot ni bila predolga,  
niti nevarnost prevelika,  
nobeden trud pretežaven;  
upanje,  
da se bom kaj nenavadnega naučil in izvedel, mi je osladilo vse kislo...  
Janez Vajkard Valvasor*

Doktorska disertacija je rezultat večletnih raziskav s področja ekologije celinskih voda. Vsi, ki so bili vanje vključeni ali na kakšen koli način pripomogli k izvedbi teh raziskav, so prispevali k nastanku te doktorske disertacije. HVALA!!

Iskreno se zahvaljujem mentorju doc. dr. Gorazdu Urbaniču za priložnost »delati v teh vodah«, strokovno vodstvo in večletno spremjanje mojega dela. Hvala za koristne pripombe in nasvete, ki so me vedno spodbudili in pripomogli k temu, da sem se lažje in odločneje spopadla z »valovi«.

Prof. Mihaelu J. Tomanu in prof. Tonetu Novaku se zahvaljujem za vse nasvete, namige in pripombe, ki so bistveno pripomogli h končni podobi doktorske disertacije. Hvala vama tudi za življenske napotke!

Zahvaljujem se vsem sodelavcem na Katedri za ekologijo in varstvo okolja za prijetno delovno vzdušje. Hvala, ker ste me opominjali na to, kaj je resnično pomembno v življenju.

Za pridobljene podatke, ki smo jih uporabili v doktorski disertaciji, se posebej zahvaljujem vsem zaposlenim na Biotehniški fakulteti, Inštitutu za vode Republike Slovenije in Agenciji Republike Slovenije za okolje. Samo »Združeni za vode« lahko naredimo »Do kdaj?, Do včeraj!« za »Dobro stanje«, zato hvala tudi vsem »projektnikom«!. Vesna in Maja, vajina pomoč pri pripravi podatkov in njihovi obdelavi, spodbude, nasveti so mi še kako olajšali delo!!

Neskončna hvala vsem bližnjim, ki ste me razumeli in mi stali ob strani ni važno kdaj in kje! Maja J., tebi posebna zahvala za vsa skupna potepanja po svetu, ki mi bodo za vedno ostala v lepem spominu. Hvala Vesni K. za najin zdrav telepatski odnos, Špeli za podporo v ključnih trenutkih, Katji za vedno uporabne recepte in nasvete, Vesni P. za hribe, ki bi jih moglo biti več, Maji S. za vse debate ob šiši, Roku za dobro voljo, Rebeki za stiiisk, Mii za iskrenost, Maji P. in Mojci K. za kurja snidenja....Hvala Stankotu in Tanji Furlan oziroma najboljši družini v mestu! Hvala vsem, ker v teh trenutkih niste pozabili name in me kdaj pa kdaj celo uspeli zvabiti ven ☺.

Zahvala tudi vsem domačim, ki so mi omogočili študij in me pri tem moralno podpirali in spodbujali. Hvala za razumevanje, pomoč in potrpljenje in za ves čas, ki ga nisem mogla preživeti z vami. To delo posvečam vam.

Velik hvala Ivanu za potrpljenje in zamujene trenutke skupnega življenja.