

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA BIOLOGIJO

Vesna PETKOVSKA

**VZORČENJE VODNIH MAKROINVERTEBRATOV –
REPREZENTATIVNOST PODVZORCEV**

DIPLOMSKO DELO

Univerzitetni študij

Ljubljana, 2007

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA BIOLOGIJO

Vesna PETKOVSKA

**VZORČENJE VODNIH MAKROINVERTEBRATOV –
REPREZENTATIVNOST PODVZORCEV**

DIPLOMSKO DELO
Univerzitetni študij

**SAMPLING OF MACROINVERTEBRATES –
REPRESENTATIVITY OF SUBSAMPLING**

GRADUATION THESIS
University studies

Ljubljana, 2007

Petkovska V. Vzorčenje vodnih makroinvertebratov – reprezentativnost podvzorcev.

Dipl. delo. Ljubljana, Univ. v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Odd. za biologijo, 2007

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

Študijska komisija Oddelka za biologijo je potrdila temo in naslov diplomskega dela ter za mentorja imenovala prof. dr. Mihaela J. Tomana.

Mentor: prof. dr. Mihael J. Toman

Komisija za oceno in zagovor:

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

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

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

Datum zagovora: 4.4.2007

Naloga je rezultat lastnega raziskovalnega dela.

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

Vesna PETKOVSKA

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD Dn

DK 504.45.05:628.1:592(043.2)=863

KG podvzorčenje/velikost vzorca/metrike/bentoški nevretenčarji/koefficient variacije/
vrednotenje stanja voda/limnologija/ekologija

AV PETKOVSKA, Vesna

SA TOMAN, Mihael Jožef (mentor)

KZ SI-1000 Ljubljana, Večna pot 111

ZA Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo

LI 2007

IN VZORČENJE VODNIH MAKROINVERTEBRATOV – REPREZENTATIVNOST
PODVZORCEV

TD Diplomsko delo (univerzitetni študij)

OP XIII, 74 str., 28 pregl., 27 sl., 5 pril., 52 vir.

IJ sl

JI sl/en

AI Namen raziskave je bil ugotoviti, kakšen je vpliv velikosti podvzorca na vrednosti metrik in oceno ekološkega stanja voda na podlagi bentoških nevretenčarjev. Za analizo smo izbrali 30 vzorčnih mest v hidroekoregiji (HE) Alpe, ki pripadajo 16 tipom rek. Za oceno vpliva velikosti podvzorca smo za 1/12, 1/6, 1/4, 1/3, 5/12 in 1/2 vzorca izračunali več kot 100 metrik. Združili smo vrednosti metrik vseh vzorčnih mest v HE Alpe in po tipih rek. Obravnavali smo 4 skupine metrik (sestava /število (ca), delovanje (f), bogastvo/pestrost (rd) in občutljivost/tolerantnost (st)) in kot mero variabilnosti metrike uporabili koefficient variacije (CV). Izbrali smo tudi 28 metrik za podrobnejšo analizo. Pri obravnavi vzorčnih mest celotne HE Alpe smo opazili, da se pri vseh skupinah metrik variabilnost metrik zmanjšuje z večanjem podvzorca. Največjo variabilnost smo opazili pri metrikah skupine ca, najmanjšo pa pri metrikah skupine st. Najmanj variabilne so od metrik skupine ca - % EPT taksonov; skupine f - %gatherers/collectors, %grazers&scrapers, %RP, %hiporitral in %A+L+P; skupine rd - vsi obravnavani diverzitetni indeksi razen Margalefovega ter število taksonov; skupine st – SIG3 in ASPT. Večinoma smo ugotovili manjšo variabilnost metrik pri izbrani velikosti podvzorca znotraj posameznih tipov rek kot znotraj cele HE Alpe, vendar pa je variabilnost metrike odvisna od izbrane metrike ter tipa rek. Najmanjšo variabilnost pri tipih rek imajo večinoma metrike, ki so imele najmanjšo variabilnost pri HE Alpe. Pri naši raziskavi smo torej opazili manjšanje variabilnosti metrik z večanjem podvzorca, vendar velikosti podvzorca, pri kateri bi večini obravnavanih metrik variabilnost (npr. CV <10%) izrazito upadla, ne moremo izbrati.

KEY WORDS DOCUMENTATION

DN Dn

DC 504.45.05:628.1:592(043.2)=863

CX subsampling/sample size/metrics/benthic invertebrates/coefficient of variation/water quality assessment/limnology/ecology

AU PETKOVSKA, Vesna

AA TOMAN, Mihael Jožef (supervisor)

PP SI-1000 Ljubljana, Večna pot 111

PB University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of Biology

PY 2007

TI SAMPLING OF MACROINVERTEBRATES – REPRESENTATIVITY OF SUBSAMPLING

DT Graduation Thesis (University studies)

NO XIII, 74 p., 28 pregl., 27 fig., 5 ann., 52 ref.

LA sl

AL sl/en

AB This study explored the influence of subsample size on metric values and bioassessment results using benthic invertebrates. Samples were collected in 30 streams in hydroecoregion (HE) Alpe, belonging to 16 stream types. For evaluation of subsample size influence more than 100 metrics were calculated for sample sizes 1/12, 1/6, 1/4, 1/3, 5/12 and 1/2. All metrics were pooled per HE Alpe and per selected stream types. Four groups of metrics were examined (composition/abundance (ca), functional (f), richness/diversity (rd), sensitivity/tolerance (st)). As a measure of variability coefficient of variation (CV) was calculated. Also 28 metrics were selected for detailed analysis. Within HE Alpe variability of metrics decreased with increasing subsample size. Highest variability was observed for metrics of group ca and lowest for metrics of group st. Lowest variability for metrics of group ca was observed for % EPT taxa; of group f - %gatherers/collectors, %grazers&scrapers, %RP, %hyporhithral, %A+L+P; of group rd – all diversity indeces, excluding Margalef, and number of taxa; of group st – SIG3 and ASPT. Metrics for selected subsample size mostly showed lower variability within stream types than within HE Alpe. However, variability of metrics depends on selected metric and stream type. Metrics with lowest variability within HE Alpe mostly showed lowest variability also within stream types. Our results showed decrease in metric variability with increasing subsample size, but there is no »key break point« subsample size, under which variability for all metrics significantly increases.

KAZALO VSEBINE

	str.
Ključna dokumentacijska informacija (KDI)	III
Key Words Documentation (KWD)	IV
Kazalo vsebine	V
Kazalo preglednic	VII
Kazalo slik	IX
Kazalo prilog	XII
Okrajšave in simboli	XIII
1 UVOD	1
2 PREGLED OBJAV	3
2.1 VREDNOTENJE STANJA POVRŠINSKIH VODA	3
2.2 SMERNICE EVROPSKE UNIJE (EU) ZA VREDNOTENJE STANJA VODA	5
2.2.1 Opredelitev ekoregij in tipov rek	5
2.2.2 Elementi kakovosti vrednotenja ekološkega stanja rek (Direktiva 2000/60/ES)	7
2.2.1.1 Biološki elementi	7
2.2.1.2 Podporni elementi	7
2.3 BENTOŠKI NEVREtenČARJI (MAKROINVERTEBRATI)	8
2.3.1 Načini vzorčenja bentoških nevretenčarjev	9
2.3.2 Metodologija vzorčenja, predlagana za vrednotenje ekološkega stanja na podlagi bentoških nevretenčarjev v Sloveniji (Urbanič s sod., 2005)	11
2.3.3 Laboratorijska priprava vzorcev	14
2.4 METODE VREDNOTENJA STANJA VODA	15
2.4.1 Enometrijski indeksi	15
2.4.2 Multimetrijski indeksi	16
3 METODE DELA	21
3.1 PODATKI O BENTOŠKIH NEVREtenČARJIH	21
3.2 STATISTIČNE METODE	23
3.2.1 Statistične metode pri hidroekoregiji Alpe	24
3.2.2 Statistične metode pri tipih rek hidroekoregije Alpe	25
4 REZULTATI	27
4.1 VARIABILNOST METRIK V HIDROEKOREGIJI ALPE	27
4.1.1 Variabilnost metrik skupine ca (sestava/številčnost) v hidroekoregiji Alpe	27
4.1.1.1 Variabilnost izbranih metrik skupine ca (sestava/številčnost)	28
4.1.2 Variabilnost metrik skupine f (delovanje)	31
4.1.2.1 Variabilnost izbranih metrik skupine f (delovanje)	32
4.1.3 Variabilnost metrik skupine rd (bogastvo/pestrost)	35
4.1.3.1 Variabilnost izbranih metrik skupine rd (bogastvo/pestrost)	36
4.1.4 Variabilnost metrik skupine st (občutljivost/tolerantnost)	40
4.1.4.1 Variabilnost izbranih metrik skupine st (občutljivost/tolerantnost)	41
4.2 VARIABILNOST METRIK ZNOTRAJ TIPOV REK HIDROEKOREGIJE ALPE	44

4.2.1	Variabilnost metrik skupine ca (sestava/številčnost) znotraj tipov rek	44
4.2.1.1	Variabilnost izbranih metrik skupine ca (sestava/številčnost) znotraj tipov rek	45
4.2.2	Variabilnost metrik skupine f (delovanje) znotraj tipov rek	47
4.2.2.1	Variabilnost izbranih metrik skupine f (delovanje) znotraj tipov rek	48
4.2.3	Variabilnost metrik skupine rd (bogastvo/pestrost) znotraj tipov rek	51
4.2.3.1	Variabilnost izbranih metrik skupine rd (bogastvo/pestrost) znotraj tipov rek	52
4.2.4	Variabilnost metrik skupine st (občutljivost/tolerantnost) znotraj tipov rek	55
4.2.4.1	Variabilnost izbranih metrik skupine st (občutljivost/tolerantnost) znotraj tipov rek	56
5	RAZPRAVA	58
5.1	METODOLOŠKI PRISTOP	58
5.2	VARIABILNOST METRIK V HIDROEKOREGIJI ALPE	59
5.3	VARIABILNOST METRIK ZNOTRAJ TIPOV REK HIDROEKOREGIJE ALPE	61
5.4	VPLIV VELIKOSTI PODVZORCA NA VARIABILNOST METRIK	63
6	POVZETEK	65
7	VIRI	67
7.1	CITIRANI VIRI	67

KAZALO PREGLEDNIC

str.

Preglednica 1: Prednosti in slabosti različnih načinov vrednotenja stanja vodnega okolja (Urbanič in Toman, 2003).....	3
Preglednica 2: Skladnost tipologije v Sloveniji s sistemom B Vodne direktive (Urbanič, 2006).....	6
Preglednica 3: Opredelitev tipov rek hidroekoregije Alpe, zajetih v analizo, z bioregijo, velikostjo prispevne površine (VPP) in atributom.....	6
Preglednica 4: Deskriptorji in kratice deskriptorjev uporabljene za opis tipov rek v Sloveniji. (Urbanič, 2006).....	7
Preglednica 5: Biocenozne regije celinskih voda in opisi regij (Schmidt-Kloiber s sod., 2006).....	17
Preglednica 6: Skupine organizmov s preferenco do določene jakosti toka, njihove oznake in opisi (Schmidt-Kloiber s sod., 2006).....	18
Preglednica 7: Skupine mikrohabitatov, ki jih preferirajo organizmi, njihove oznake in opisi (Schmidt-Kloiber s sod., 2006; Urbanič in Toman, 2003).....	18
Preglednica 8: Prehranske skupine in njihovi opisi (Schmidt-Kloiber s sod., 2006).....	19
Preglednica 9: Skupine premikanja in njihovi opisi (Schmidt-Kloiber s sod., 2006).....	19
Preglednica 10: Število vzorčnih mest po tipih rek hidroekoregije Alpe, uporabljenih v analizi.	22
Preglednica 11: Število dobljenih podatkov v odvisnosti od velikosti podvzorca.....	23
Preglednica 12: Delež metrik skupine ca (sestava/ številčnost) s koeficientom variacije (CV) 0-5 %, 5-10 %, 10-15 % ali 15-20 % ter <5 %, <10 %, <15 % ali <20 %, glede na velikost podvzorca (1/12, 1/6, 1/4, 1/3, 5/12, 1/2).....	28
Preglednica 13: Povprečne vrednosti $\pm$ standardne deviacije izbranih metrik skupine ca (sestava/številčnost) pri različnih velikostih podvzorca (N=30).....	30
Preglednica 14: Delež metrik skupine f (delovanje) s koeficientom variacije (CV) 0-5 %, 5-10 %, 10-15 % ali 15-20 % ter <5 %, <10 %, <15 % ali <20 %, glede na velikost podvzorca (1/12, 1/6, 1/4, 1/3, 5/12, 1/2).....	32

Preglednica 15. Povprečne vrednosti $\pm$ standardne deviacije izbranih metrik skupine f (delovanje) pri različnih velikostih podvzorca (N=30).....	34
Preglednica 16. Delež metrik skupine rd (bogastvo/pestrost) s koeficientom variacije (CV) 0-5 %, 5-10 %, 10-15 % ali 15-20 % ter <5 %, <10 %, <15 % ali <20 %, glede na velikost podvzorca (1/12, 1/6, 1/4, 1/3, 5/12, 1/2).....	36
Preglednica 17. Povprečne vrednosti $\pm$ standardne deviacije izbranih metrik skupine rd (bogastvo/pestrost) pri različnih velikostih podvzorca (N=30).....	39
Preglednica 18. Delež metrik skupine st (občutljivost/tolerantnost) s koeficientom variacije (CV) 0-5 %, 5-10 %, 10-15 % ali 15-20 % ter <5 %, <10 %, <15 % ali <20 %, glede na velikost podvzorca (1/12, 1/6, 1/4, 1/3, 5/12, 1/2).....	41
Preglednica 19. Povprečne vrednosti $\pm$ standardne deviacije izbranih metrik skupine st (občutljivost/tolerantnost) pri različnih velikostih podvzorca (N=30).....	43
Preglednica 20. Korelacija tipov rek (Spearmanov Rho koeficient) glede na deleže metrik skupine ca (sestava/številčnost) pri enako velikih podvzorcih (1/12, 1/6, 1/4, 1/3, 5/12, 1/2) in velikostnih razredih koeficienta variacije (CV).....	45
Preglednica 21. Korelacija tipov rek (Spearmanov Rho koeficient) glede na deleže metrik skupine f (delovanje) pri enako velikih podvzorcih (1/12, 1/6, 1/4, 1/3, 5/12, 1/2) in velikostnih razredih koeficienta variacije (CV).....	48
Preglednica 22. Korelacija tipov rek (Spearmanov Rho koeficient) glede na deleže metrik skupine rd (bogastvo/pestrost) pri enako velikih podvzorcih (1/12, 1/6, 1/4, 1/3, 5/12, 1/2) in velikostnih razredih koeficienta variacije (CV).....	52
Preglednica 23. Korelacija tipov rek (Spearmanov Rho koeficient) glede na deleže metrik skupine st (občutljivost/tolerantnost) pri enako velikih podvzorcih (1/12, 1/6, 1/4, 1/3, 5/12, 1/2) in velikostnih razredih koeficienta variacije (CV).....	56
Preglednica 24. Deleži metrik skupine ca (sestava/številčnost) pri različnih velikostih podvzorca za obravnavane razrede in tipe rek.....	priloga A
Preglednica 25. Deleži metrik skupine f (delovanje) pri različnih velikostih podvzorca za obravnavane razrede in tipe rek.....	priloga A
Preglednica 26. Deleži metrik skupine rd (bogastvo/pestrost) pri različnih velikostih podvzorca za obravnavane razrede in tipe rek.....	priloga A
Preglednica 27. Deleži metrik skupine st (občutljivost/tolerantnost) pri različnih velikostih podvzorca za obravnavane razrede in tipe rek.....	priloga A
Preglednica 28. Metrike posameznih skupin, zajete v analizo pri izbranih tipih rek.....	priloga B

KAZALO SLIK

str.

Slika 1. Hidroekoregije v Sloveniji z označenimi analiziranimi vzorčnimi mesti (Urbanič, 2006)	21
Slika 2. Delež metrik skupine ca (sestava/številčnost) s koeficientom variacije (CV) 0-5 %, 5-10 %, 10-15 % ali 15-20 %, glede na velikost podvzorca (1/12, 1/6, 1/4, 1/3, 5/12, 1/2).....	27
Slika 3. Spreminjanje standardiziranih vrednosti metrike % EPT taksonov v odvisnosti od velikosti podvzorca (N=30).....	29
Slika 4. Pregled najmanjših velikosti podvzorca, potrebnega za doseganje koeficienta variacije (CV) <5%, <10% ali <20% pri izbranih metrikah skupine ca (sestava/številčnost) (N=30).....	29
Slika 5. Delež metrik skupine f (delovanje) s koeficientom variacije (CV) 0-5 %, 5-10 %, 10-15 % ali 15-20 %, glede na velikost podvzorca (1/12, 1/6, 1/4, 1/3, 5/12, 1/2).....	31
Slika 6. Spreminjanje standardiziranih vrednosti metrike % A+L+P (akal+lital+psamal) v odvisnosti od velikosti podvzorca (N=30).....	32
Slika 7. Pregled najmanjših velikosti podvzorca, potrebnega za doseganje koeficienta variacije (CV) <5%, <10% ali <20% pri izbranih metrikah skupine f (delovanje) (N=30).....	33
Slika 8. Pregled najmanjših velikosti podvzorca, potrebnega za doseganje koeficienta variacije (CV) <5%, <10% ali <20% pri izbranih metrikah skupine f (delovanje) – prehranske skupine (N=30).....	33
Slika 9. Delež metrik skupine rd (bogastvo/pestrost) s koeficientom variacije (CV) 0-5 %, 5-10 %, 10-15 % ali 15-20 %, glede na velikost podvzorca (1/12, 1/6, 1/4, 1/3, 5/12, 1/2).....	35
Slika 10. Spreminjanje standardiziranih vrednosti metrike Shannon-Wienerjev diverzitetni indeks (DI) v odvisnosti od velikosti podvzorca (N=30).....	36
Slika 11. Spreminjanje standardiziranih vrednosti metrike Margalefov diverzitetni indeks (DI) v odvisnosti od velikosti podvzorca (N=30).....	37
Slika 12. Pregled najmanjših velikosti podvzorca, potrebnega za doseganje koeficienta variacije (CV) <5%, <10% ali <20% pri izbranih metrikah skupine rd (bogastvo/pestrost) – diverzitetni indeksi (N=30).....	37
Slika 13. Spreminjanje standardiziranih vrednosti metrike število taksonov v odvisnosti od velikosti podvzorca (N=30).....	38

Slika 14. Pregled najmanjših velikosti podvzorca, potrebnega za doseganje koeficienta variacije (CV) <5%, <10% ali <20% pri izbranih metrikah skupine rd (bogastvo/pestrost) – število izbranih taksonov (N=30).....	38
Slika 15. Delež metrik skupine st (občutljivost/tolerantnost) s koeficientom variacije (CV) 0-5 %, 5-10 %, 10-15 % ali 15-20 %, glede na velikost podvzorca (1/12, 1/6, 1/4, 1/3, 5/12, 1/2).....	40
Slika 16. Spreminjanje standardiziranih vrednosti metrike SIG3 v odvisnosti od velikosti podvzorca (N=30).....	41
Slika 17. Pregled najmanjših velikosti podvzorca, potrebnega za doseganje koeficienta variacije (CV) <5%, <10% ali <20% pri izbranih metrikah skupine st (občutljivost/tolerantnost) (N=30).....	42
Slika 18. Primerjava deležev metrik skupine ca (sestava/številčnost) pri enako velikih podvzorcih (1/12, 1/6, 1/4, 1/3, 5/12, 1/2) in velikostnih razredih koeficienta variacije (CV) med tipi rek hidroekoregije Alpe.....	44
Slika 19. Pregled najmanjših velikosti podvzorca, potrebnega za doseganje koeficienta variacije (CV) <5%, <10% ali <20% za izbrane tipe rek za metrike: a - % EPT taksonov, b - % taksonov Trichoptera, c - % EP taksonov, d - % taksonov Plecoptera, e - % taksonov Oligochaeta.	46
Slika 20. Primerjava deležev metrik skupine f (delovanje) pri enako velikih podvzorcih (1/12, 1/6, 1/4, 1/3, 5/12, 1/2) in velikostnih razredih koeficienta variacije (CV) med tipi rek hidroekoregije Alpe.....	47
Slika 21. Pregled najmanjših velikosti podvzorca, potrebnega za doseganje koeficienta variacije (CV) <5%, <10% ali <20% za izbrane tipe rek za metrike: a - % A+L+P (akal+lital+pelal), b - % RP (reofil), c - % hiporital, d - % hipokrenal, e - % pelal.....	49
Slika 22. Pregled najmanjših velikosti podvzorca, potrebnega za doseganje koeficienta variacije (CV) <5%, <10% ali <20% za izbrane tipe rek za metrike: a - %gatherers/collectors* (*-scored taxa = 100%), b - %grazers&scrapers, c - %gatherers/collectors, d - %XSAP (ksilofagi, strgači, aktivni in pasivni filtratorji).....	50
Slika 23. Primerjava deležev metrik skupine rd (bogastvo/pestrost) pri enako velikih podvzorcih (1/12, 1/6, 1/4, 1/3, 5/12, 1/2) in velikostnih razredih koeficienta variacije (CV) med tipi rek hidroekoregije Alpe.....	51
Slika 24. Pregled najmanjših velikosti podvzorca, potrebnega za doseganje koeficienta variacije (CV) <5%, <10% ali <20% za izbrane tipe rek za metrike: a – število taksonov, b – število EP taksonov, c – število EPT taksonov, d – število taksonov Coleoptera, e – število taksonov Oligochaeta.....	53

Slika 25. Pregled najmanjših velikosti podvzorca, potrebnega za doseganje koeficienta variacije (CV) <5%, <10% ali <20% za izbrane tipe rek za metrike: a – Simpsonov diverzitetni indeks, b – Shannon-Wienerjev diverzitetni indeks, c – Margalefov diverzitetni indeks, d - Evenness.....54

Slika 26. Primerjava deležev metrik skupine st (občutljivost/tolerantnost) pri enako velikih podvzorcih (1/12, 1/6, 1/4, 1/3, 5/12, 1/2) in velikostnih razredih koeficienta variacije (CV) med tipi rek hidroekoregije Alpe.....55

Slika 27. Pregled najmanjših velikosti podvzorca, potrebnega za doseganje koeficienta variacije (CV) <5%, <10% ali <20% za izbrane tipe rek za metrike: a – SIG3, b – ASPT, c – GFI (German fauna index) 2.1, d – GFI 2.2, e – GFI 5.....57

KAZALO PRILOG

Priloga A. Deleži metrik posameznih skupin pri različnih velikostih podvzorca za obravnavane razrede in tipe rek

Priloga B. Metrike posameznih skupin, zajete v analizo pri izbranih tipih rek

Priloga C. Najpomembnejše enačbe metrik, izračunanih s programom ASTERICS 3.01 (ASTERICS, 2006)

Priloga D. Kode in opisi tipov vodotokov v Nemčiji, katerih German fauna index smo obravnavali (Lorenz s sod., 2004; ASTERICS, 2006)

OKRAJŠAVE IN SIMBOLI

EU – Evropska Unija

VD – Vodna direktiva (Direktiva 2000/60/ES)

AQEM – projekt Evropske unije, katerega namen je bil izdelati postopek za ocenitev stanja evropskih vodotokov na podlagi bentoških nevretenčarjev, ki bo ustrezal zahtevam Vodne direktive

ASTERICS – produkt projekta AQEM, program za izračun metrik in oceno stanja vodnega okolja na podlagi bentoških nevretenčarjev

RBP – Protokol za hitro biotsko vrednotenje voda (Rapid bioassessment protocol)

CV – koeficient variacije

VHS Alpe – vrednotenje hidromorfološke spremenjenosti rek hidroekoregije Alpe

DI – diverzitetni indeks

FPOM – manjši odmrli organski delci

CPOM – večji odmrli organski delci

ca – skupina metrik sestava/številčnost (composition/abundance)

f – skupina metrik delovanje (functional metrics)

rd – skupina metrik bogastvo/pestrost (richness/diversity)

st – skupina metrik občutljivost/tolerantnost (sensitivity/tolerance)

EPT – enodnevnice, vrbnice, mladoletnice (Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera)

EP – enodnevnice, vrbnice (Ephemeroptera, Plecoptera)

RP - reofili

XSAP - ksilofagi + drobilci + aktivni filtratorji + pasivni filtratorji

A+L+P – akal + lital + psamal

SIG3 – slovenska različica saprobnega indeksa

ASPT – average score per taxa

GFI – german fauna index

1. Uvod

Z večanjem rabe vode se je pojavila potreba o ovrednotenju in spremljanju stanja vodnega okolja, za kar so se začele razvijati tudi primerne metode. Dne 23. oktobra 2000 je bila objavljena Direktiva 2000/60/ES evropskega parlamenta in sveta, ki določa okvir za delovanje Evropske unije na področju vodne politike. Eden od glavnih ciljev Vodne direktive (Direktiva 2000/60/ES) je doseganje dobrega ekološkega stanja za vsa površinska vodna telesa do konca leta 2015.

Po zahtevah Vodne direktive vrednotimo ekološko stanje rek z biološkimi elementi in podpornimi hidromorfološkimi ter kemijskimi in fizikalno-kemijskimi elementi.

Slovenija mora kot država članica Evropske unije razviti svoj sistem vrednotenja in klasifikacije ekološkega stanja površinskih voda na podlagi vseh elementov kakovosti, tudi bioloških elementov. Eden bioloških elementov pa so tudi bentoški nevretenčarji.

Bentoški nevretenčarji odražajo celotne ekološke razmere posameznega vzorčnega mesta, vključno s fizikalnimi lastnostmi, in so zato odraz najrazličnejših stresov: organskega in anorganskega onesnaženja, toksičnosti, kislosti, morfoloških sprememb vodnih habitatov in zmanjšanja količine vode (Urbanič in Toman, 2003). Kot taki so eden ključnih elementov za vrednotenje ekološkega stanja površinskih voda.

Vzorčenje naj bi po zahtevah Vodne direktive zagotovilo primerne podatke o sestavi in številčnosti bentoških nevretenčarjev na izbranem vzorčnem mestu. Tudi izbira in poenotenje vzorčenja sta bila namena projekta AQEM (Aqem consortium, 2002), katerega rezultat je predlog multihabitatnega vzorčenja. Z nekaj modifikacijami uporabljamo multihabitatno vzorčenje tudi v Sloveniji.

Vendar pa z multihabitatnim vzorčenjem zajamemo zelo veliko materiala in s tem tudi organizmov, katerega obdelava je za aplikativne namene predolgotrajna. (Lorenz s sod., 2004b). Rezultat projekta AQEM je tudi način laboratorijske obdelave, ki predlaga

podvzorčenje, in sicer pregled 1/6 vzorca ali vsaj 700 osebkov. V Sloveniji je osnovni princip laboratorijske obdelave podoben (Urbanič s sod., 2005), vendar je bil zaradi pomanjkanja ovrednotenja vpliva velikosti podvzorca na ekološko stanje podan predlog, da se pregleda 1/2 vzorca.

Iz zbranih podatkov o vrstni in številčni sestavi združbe lahko ocenimo ekološko stanje vodnega okolja na izbranem vzorčnem mestu. Zaradi lažjega komuniciranja med raziskovalci in uporabniki so ekološki izsledki povzeti v indeksih (metrikah), ki naj bi bili bolj objektivni prikaz stanj. Indeksi so lahko enometrijski in multimetrijski in odražajo različne lastnosti združb. Multimetrijski združujejo več metrik, so občutljivi na širši spekter obremenitev in dajejo bolj celovito sliko stanja vzorčnega mesta.

Za multimetrijski indeks je potrebno združiti tiste metrike, na podlagi katerih lahko razlikujemo med spremenjenim in nespremenjenim stanjem. Po zahtevah Vodne direktive naj bi indeks odražal različne značilnosti združbe - taksonomsko sestavo, številčnost, pestrost in delovanje združbe. Zato moramo izbrati iz vsake skupine vsaj eno metriko, ki jih bomo združili v multimetrijski indeks.

V naši raziskavi želimo testirati, kakšen je vpliv velikosti pregledanega podvzorca na izračunane vrednosti metrik in oceno ekološkega stanja voda. Zanima nas tudi, ali ima velikost podvzorca različen vpliv na različne skupine metrik ter pri različnih tipih rek.

Predvidevamo, da se z manjšanjem podvzorca povečuje variabilnost metrik in s tem možnost napake pri oceni ekološkega stanja voda. Raziskave drugih evropskih držav (Lorenz s sod., 2004b; Vlek s sod., 2006) kažejo, da je vpliv velikosti podvzorca odvisen od obravnavane metrike ter obravnavanega tipa reke, zato predpostavljamo, da se bo tak trend pokazal tudi pri nas.

2. Pregled objav

2.1 Vrednotenje stanja površinskih voda

S spremljanjem razmer v vodnih okoljih se ljudje ukvarjajo že desetletja. Z večanjem rabe vode v zadnjem stoletju pa se je pojavila tudi potreba po spremljanju in ovrednotenju sprememb vodnega okolja. Vrednotenje stanja vodnega okolja je celovit pristop in zajema tako vrednotenje kakovosti voda kot tudi strukture habitata in količin vode. Namen vrednotenja vodnega okolja je definirati njegovo stanje in tako zagotoviti osnovo za ugotavljanje trendov v spreminjanju njegove kakovosti, razpoznati obstoječe ali pojavljajoče se težave ter na njihovi podlagi ustrezno ukrepati s preventivnimi ali remediacijskimi ukrepi. (Barbour s sod., 1999; Urbanič in Toman, 2003)

Prav tako so se s povečano rabo vode začele pospešeno razvijati metode, primerne za vrednotenje in spremljanje stanja vodnega okolja. Danes stanje vodnega okolja spremljamo z uporabo različnih parametrov: hidromorfoloških, fizikalno-kemijskih in bioloških. Posamezni pristopi imajo svoje prednosti in slabosti (preglednica 1).

Preglednica 1: Prednosti in slabosti različnih načinov vrednotenja stanja vodnega okolja (Urbanič in Toman, 2003)

Biološke analize	Fizikalne in kemijske analize
Prednosti	
- Dober odziv organizmov na dolgotrajno nizko obremenjevanje	- Možnost natančnega časovnega zaznavanja sprememb v vodah
- Osnova za ugotavljanje fizikalne degradacije vodnega okolja	- Možnost natančnega določanja polutantov in njihovih tokov
- Kopičenje (bioakumulacija, biomagnifikacija) v organizmih	- Uporabnost za vsa vodna telesa vključno s podtalnico
	- Možna standardizacija
Slabosti	
- Neprimerne za podtalnico	- Številne omejitve za mnoge rutinske analize (nizka detekcijska meja)
- Neuporabne za raziskave smeri toka polutantov	- Možna kontaminacija vzorcev z nekaterimi polutanti
- Omejena standardizacija	- Omejena uporaba za kontinuirane preglede
	- Dragi postopki

Najboljšo predstavo o stanju vodnega telesa dobimo z istočasno izvedenimi fizikalnimi, kemijskimi in biološkimi analizami. Pri tem fizikalne in kemijske analize prikažejo trenutno stanje vode, medtem ko z biološkimi metodami ugotavljamo posledično stanje, ki je rezultat vpliva vseh abiotских in biotских dejavnikov na prisotne življenske združbe (Urbanič in Toman, 2003).

Spremembe fizikalnih in kemijskih značilnosti v vodnih telesih privedejo do različnih biotских sprememb – odzivov organizmov. Najopaznejše so smrt organizmov ali njihove migracije v druge habitate, kar lahko privede do sprememb v vrstni sestavi, strukturi združbe ali v biomasi. Različni organizmi se različno odzivajo na okoljske spremembe. Prisotnost in odsotnost organizmov uporabljamo kot merilo za vrednotenje kakovosti voda in spremenjenosti okolja (Urbanič in Toman, 2003).

V različnih državah uporabljajo za vrednotenje stanja vodnega okolja različne skupine vodnih organizmov (WFD CIS, 2003). Prav tako se izbor organizmov razlikuje glede na tip vodnega okolja. Uporabljajo fitoplankton, bentoške alge, makrofite, bentoške nevretenčarje in ribe.

Do leta 2007 smo v Sloveniji za vrednotenje kakovosti voda uporabljali perifiton (združba obrasti, ki jo predstavljajo alge, cianobakterije, glive, praživali in nekatere skupine mnogoceličarjev – gliste, kotačniki in trehuhodlačniki) in bentoške nevretenčarje (MOPE, 2006). Sedaj imamo pripravljen nov program monitoringa za vrednotenje celotnega stanja vodnega okolja in ne le kakovosti voda (ARSO, 2007). Nov program spremljanja stanja vodnega okolja vključuje vse elemente, predlagane v Vodni direktivi (Direktiva 2000/60/ES).

2.2 Smernice Evropske unije (EU) za vrednotenje stanja voda

V zaključkih Ministrskega seminarja o vodni politiki Skupnosti leta 1988 v Frankfurtu je bila poudarjena potreba po zakonodaji Skupnosti, ki bi obravnavala ekološko kakovost površinskih voda. Leta 1991 je bila v Haagu priznana potreba po ukrepanju, da se prepreči dolgoročno poslabšanje kakovosti in zmanjšanje količine sladke vode, hkrati pa se do leta 2000 izvede program ukrepov za trajnostno upravljanje in varstvo sladkovodnih virov.

Dne 23. oktobra 2000 je bila objavljena Direktiva 2000/60/ES evropskega parlamenta in sveta, ki določa okvir za delovanje Evropske unije na področju vodne politike.

Eden od glavnih ciljev Vodne direktive (Direktiva 2000/60/ES) je doseganje dobrega ekološkega stanja za vsa površinska vodna telesa do konca leta 2015. Vsaka članica Evropske unije mora najprej določiti tipe površinskih voda in raziskati odseke voda za določitev referenčnega, to je izhodiščnega oz. zelo dobrega ekološkega stanja. Nadalje mora ovrednotiti svoja vodna telesa glede na odstopanja od referenčnih razmer in jih uvrstiti v enega od petih kakovostnih razredov, varovati in ohranjati tista z dobrim ekološkim stanjem ter sprejeti ukrepe za izboljšanje stanja vodnih teles, ki trenutno ne dosegajo dobrega ekološkega stanja.

2.2.1 Opredelitev ekoregij in tipov rek

Kot članica Evropske unije mora Slovenija opredeliti tudi ekoregije in tipe rek. Urbanič (2006) je postavil sistem tipov po sistemu B Vodne direktive (preglednica 2). Vsak tip rek ima določeno kodo, s katero se označuje, opredeljen pa je s hidroekoregijo, bioregijo, velikostjo prispevne površine in posebnimi atributi (preglednica 2-3). V Sloveniji je Urbanič (2006) opredelil 4 hidroekoregije, v hidroekoregiji Alpe pa 25 tipov.

Preglednica 2: Skladnost tipologije v Sloveniji s sistemom B Vodne direktive (Urbanič, 2006)

Sistem B – obvezni dejavniki, priloga II VD	Tipologija, Slovenija
zemljepisna širina	hidroekoregije
zemljepisna dolžina	
nadmorska višina	bioregije + tipi
geološka podlaga	bioregije
velikost	tipi

Preglednica 3. Opredelitev tipov rek hidroekoregije Alpe, zajetih v analizo, z bioregijo, velikostjo prispevne površine (VPP) in atributom. KB – karbonatna podlaga, SI – silikatna podlaga, PA-hrib – predalpsko hribovje; D – Donavsko povodje, J – Jadransko povodje; Za pojasnila VPP in atributov glej preglednico 4.

Tip reke - koda	bioregija	VPP	atribut
SI_VR2__	VR	VR	
SI_4_KB-AL-D_1_	KB-AL-D	1	
SI_4_KB-AL-D_1_>700	KB-AL-D	1	>700
SI_4_KB-AL-D_1_Pres	KB-AL-D	1	Pres
SI_4_KB-AL-D_2_	KB-AL-D	2	
SI_4_KB-AL-D_2_IiJ	KB-AL-D	2	IiJ
SI_4_KB-AL-D_2_KI	KB-AL-D	2	KI
SI_4_KB-AL-J_2_	KB-AL-J	2	
SI_4_PA-hrib-D_0_	PA-hrib-D	0	
SI_4_PA-hrib-D_1_	PA-hrib-D	1	
SI_4_PA-hrib-D_1_KI	PA-hrib-D	1	KI
SI_4_PA-hrib-D_2_	PA-hrib-D	2	
SI_4_PA-hrib-J_0_	PA-hrib-J	0	
SI_4_PA-hrib-J_1_	PA-hrib-J	1	
SI_4_SI-AL_1_	SI-AL	1	
SI_4_SI-AL_1_>700	SI-AL	1	>700

Preglednica 4. Deskriptorji in kratice deskriptorjev uporabljene za opis tipov rek v Sloveniji. (Urbanič, 2006).

deskriptor oz. značilnost	kategorija deskriptorja oz. značilnosti	kratica
velikost prispevne površine	<10 km ²	0
	10-100 km ²	1
	100-1000 km ²	2
	1000-2500 km ²	3
	>2500 km ²	VR
vpliv kraškega izvira	kraški izvir (Dinaridi + Alpe)	KI
vpliv limnokrenega izvira	limnokreni izvir	LI
vpliv iztoka iz jezera	iztok iz jezera	IiJ
presihanje	presihanje (Alpe + Dinaridi)	Pres
nadmorska višina	nad 700 m	>700

2.2.2 Elementi kakovosti vrednotenja ekološkega stanja rek (Direktiva 2000/60/ES)

Po zahtevah Vodne direktive vrednotimo ekološko stanje rek z biološkimi elementi in podpornimi hidromorfološkimi ter kemijskimi in fizikalno-kemijskimi elementi.

2.2.1.1 Biološki elementi

- Vodno rastlinstvo (sestava in številčnost),
- Bentoški nevretenčarji (sestava in številčnost),
- Ribe (sestava, številčnost in starostna struktura)

2.2.1.2 Podporni elementi

1) hidromorfološki elementi

- hidrološki režim - količina in dinamika vodnega toka, povezava s telesi podzemne vode;
- kontinuiteta toka;

- morfološke razmere - spreminjanje globine in širine reke, struktura in substrat rečne struge, struktura obrežnega pasu)
- 2) kemijski in fizikalno-kemijski elementi
 - splošni fizikalno-kemijski elementi (toplotne razmere, kisikove razmere, slanost, zakisanost, stanje hranil)
 - posebna onesnaževala (sintetična in nesintetična)

Vsaka država članica Evropske unije mora torej razviti svoj sistem vrednotenja in klasifikacije ekološkega stanja površinskih voda na podlagi vseh elementov kakovosti.

2.3 Bentoški nevretenčarji (makroinvertebrati)

Slovenija mora kot država članica Evropske unije razviti svoj sistem vrednotenja in klasifikacije ekološkega stanja površinskih voda z uporabo bioloških elementov. Eden od bioloških elementov so tudi bentoški nevretenčarji.

Bentoški nevretenčarji so vodni nevretenčarji, ki pri vzorčenju ostanejo v mreži z odprtini 0,5 x 0,5 mm. Običajno so to organizmi, večji od 1 mm, vidni s prostim očesom. Taksonomsko so zelo raznolika skupina (vrtinčarji, polži, školjke, maloščetinci, pijavke, raki, žuželke).

Bentoški nevretenčarji odražajo celotne ekološke razmere posameznega vzorčnega mesta, vključno s fizikalnimi lastnostmi, in so zato odraz najrazličnejših stresov: organskega in anorganskega onesnaženja, toksičnosti, kislosti, morfoloških sprememb vodnih habitatov in zmanjšanja količine vode. (Urbanič in Toman, 2003)

Kljub temu da države članice Evropske unije še nimajo čisto primerljivih metodologij za določanje ekološkega stanja na podlagi bentoških nevretenčarjev, so le-ti eden ključnih elementov za vrednotenje - pred drugimi biološkimi elementi oziroma skupinami vodnih organizmov imajo naslednje prednosti: (Barbour s sod., 1999; Urbanič in Toman, 2003)

- združba vsebuje veliko število vrst, ki so različnih trofičnih nivojev in različno občutljivi na onesnaževala;
- prisotni so v vseh tipih voda;
- so relativno pogosti;
- dobro odražajo lokalne razmere, saj se večina vrst seli le na kratkih razdaljah ali pa so stalno pritrjeni na podlago;
- vzorčenje je relativno enostavno ter dokaj cenovno ugodno;
- enostavno je določanje višjih taksonov;
- imajo relativno dolgo življenjsko dobo.

Poleg tega ima večina držav že razvit svoj sistem klasifikacije na podlagi bentoških nevretenčarjev, ki ga uporabljajo za vrednotenje kakovosti voda (WFD CIS, 2003). Za potrebe izpolnjevanja zahtev Vodne direktive (VD) bodo sistem klasifikacije države lahko še dopolnile in prilagodile.

2.3.1 Načini vzorčenja bentoških nevretenčarjev

Vzorčenje predstavlja prvi in najpomembnejši korak pri ekološkem vrednotenju stanja vodnega okolja. Vzorci morajo biti reprezentativni, saj morajo odražati dejanske razmere v vodotoku. Temu primerno mora biti izbran način vzorčenja (Urbanič in Toman, 2003).

a) Kvalitativno vzorčenje (Urbanič in Toman, 2003)

Pri kvalitativnem vzorčenju poskušamo zajeti vse oziroma čimvečje število mikrohabitatov, prisotnih na posameznem vzorčnem mestu.

b) Semikvantitativno vzorčenje

Pri tem načinu vzorčenja poskušamo zajeti čimvečje, vendar časovno ali s številom podvorcev omejeno število mikrohabitatov.

c) Kvantitativno vzorčenje

Pri kvantitativnem vzorčenju vzorčimo na točno izmerjeni površini, kar omogoča neposredne statistične primerjave med posameznimi podvzorci.

Dobimo natančna številčna razmerja med vrstami.

Pri kvalitativnem vzorčenju dobimo skoraj popoln vrstni sestav (odvisno od velikosti vzorčevane površine), a ne številčnosti posameznih vrst (le osnovna pogostostna razmerja). Pri kvantitativnem vzorčenju dobimo natančna številčna razmerja med vrstami, vendar pa obstaja pri semikvantitativnem vzorčenju večja verjetnost za zajetje celega spektra vrst. Z dobro razvitim kvantitativnim vzorčenjem, ki zajame vse mikrohabitate na točno določeni površini, bi dobili skoraj popoln vrstni sestav in natančna številčna razmerja med vrstami.

Vodna direktiva (Direktiva 2000/60/ES) zahteva vzorčenje, na podlagi katerega bomo za izbrano vzorčno mesto dobili primerne podatke o sestavi in številčnosti bentoških nevretenčarjev. V večini držav članic Evropske unije (tudi v Sloveniji) se trenutno pri ekološkem vrednotenju stanja vodnega okolja na osnovi bentoških nevretenčarjev uporablja kvalitativno ali semikvantitativno vzorčenje, ki pa ne izpolnjuje vseh zahtev VD (predvsem ne daje podatkov o številčnosti bentoških nevretenčarjev).

Za uresničitev Vodne direktive je potrebno poenotiti metodologijo vzorčenja.

- V severni Ameriki je bilo poenotenje metodologije vzorčenja predlagano leta 1989 – okvir je zagotovil Protokol za hitro biotsko vrednotenje voda (Rapid bioassessment protocol – RBP; Barbour s sod., 1999).
- V Evropi je podobno metodologijo predlagal projekt AQEM (Aqem consortium, 2002).

Protokola RBP in AQEM predlagata multihabitatno vzorčenje (opisano v nadaljevanju), vendar pa se opredelitev habitata razlikuje.

- RBP razlikuje le pet osnovnih habitatov: pesek, prodnike, potopljene makrofite, žive dele kopenskih rastlin in ksilal.

- AQEM pa razlikuje več kategorij mineralnih (anorganskih) substratov in več kategorij biotskih mikrohabitata, ki skupno tvorijo mikrohabitate.

V Sloveniji uporabljamo podobno metodologijo vzorčenja, vendar pa je v opredelitvi mikrohabitata nova kategorija – tip toka, ki poleg anorganskega in organskega substrata določa mikrohabitatski tip. Določene kategorije anorganskih in določene kategorije organskih substratov, ki jih uporabljamo v Sloveniji, se razlikujejo od kategorij, zajetih v AQEM ali RBP metodologiji (podrobni opisi mikrohabitata v Barbour s sod., 1999; Aqem consortium, 2002 in Urbanič s sod., 2005).

2.3.2 Metodologija vzorčenja, predlagana za vrednotenje ekološkega stanja na podlagi bentoških nevretenčarjev v Sloveniji (Urbanič s sod., 2005)

a) Čas vzorčenja

Vzorčenje ne sme biti opravljeno:

- v času visokih vod ali prej kot 4 tedne po visokih vodah
- v času izsušenosti ali prej kot 4 tedne po izsušitvi
- v času vseh drugih motenj izzvanih zaradi naravnih procesov (npr. v času motnosti vode, ki ne omogoča pravilnega vzorčenja)

b) Dolžina vzorčnega mesta (VM) oz. odseka vodotoka

Dolžina vzorčnega mesta oz. odseka vodotoka je določena z dolžino referenčnega mesta (Urbanič in Smolar-Žvanut, 2005). Bentoške nevretenčarje začnemo vzorčiti v oddaljenosti 9/10 po toku navzdol od začetka vzorčnega mesta. Vzorčimo pododsek, ki je dolg 5 % dolžine vzorčnega mesta in znaša

- 25 m, če je velikost prispevne površine vodotoka do VM 10-100 km²
- 50 m, če je velikost prispevne površine vodotoka do VM 100-1000 km²
- 100 m, če je velikost prispevne površine vodotoka do VM 1000-2500 km² in ni uvrščen v kategorijo »velike reke«
- 250 m, za vse »velike reke«

c) Oprema za vzorčenje

1) Mreža

Vzorčenje se opravi z ročno mrežo ali s Surberjevim vzorčevalnikom

- Ročna mreža: dimenzije okvirja - širina 25 cm, višina vsaj 25 cm; okvir mora biti pritrjen na dolgo (leseno) držalo; velikost odprtin v mreži je 0,5 mm; dolžina mreže je vsaj 50 cm.
- Surberjev vzorčevalnik: za vzorčenje kamnitega substrata v plitvih hitrotekočih vodotokih; velikost vzorčevalnega okvirja oz. vzorčevane površine 0,25 m x 0,25 m; velikost odprtin v mreži je 0,5 mm; dolžina mreže je vsaj 50 cm.

2) Dodatna oprema:

Atlas Slovenije ali zemljevid v merilu 1:25.000 ali 1:50.000, posoda za vzorec, banjica, pinceta, papir za etikete, svinčnik, alkoholni marker, formaldehid ali 96% etanol, škornji, gumijaste rokavice, izvijač, ščetka.

d) Metoda vzorčenja

Vzorec sestavlja 20 vzorčnih enot, nabranih v vseh mikrohabitatnih tipih na posameznem pododseku vzorčnega mesta. Vzorčne enote morajo biti razporejene v razmerju deležev pokrovnosti mikrohabitatnih tipov. Mikrohabitatni tip predstavlja kombinacijo substrata (anorganskega in organskega) in tipa toka. Mikrohabitatnih tipov z manj kot 5 % pokrovnosti ne vzorčimo.

Vzorčna enota je vzorec nabran s premešanjem substrata pred mrežo. Velikost vzorčevane površine je 25 cm x 25 cm. Substrat moramo premakniti do ustrezne globine, ki zagotavlja ulov vseh vrst, prisotnih v odvisnosti od premera substrata, kompaktnosti in oblike; substrat premaknemo do globine 5-10 cm (droben substrat: psamal, drobni organski delci-FPOM), 10-15 cm (srednje velik substrat: akal, mikrolital, večji organski delci-CPOM) ali 15-20 cm (velik substrat: makrolital, živi deli kopenskih rastlin). Vsota 20 vzorčnih enot predstavlja vzorčevano površino 1,25 m².

e) Terenski postopek vzorčenja

Določitev deležev pokrovnosti mikrohabitatnih tipov

- Pred vzorčenjem določimo deleže pokrovnosti mikrohabitatnih tipov dela vzorčnega mesta (pododseka), na katerem bomo vzorčili. Za oceno deležev mikrohabitatnih tipov vzorčevani pododsek razdelimo v 25 m pasove (op. kadar vzorčimo na vodotokih s prispevno površino manjšo od 100 km² ustreza en 25 m pas celotnemu pododseku). Določitev mikrohabitatnih tipov opravimo z brega vodotoka brez vstopa v vodotok. Po vzorčenju oceno deležev pokrovnosti mikrohabitatnih tipov po potrebi spremenimo in dopolnimo.
- Vsak mikrohabitatni tip določimo na 5 % natančno. Mikrohabitatne tipe z manj kot 5 % označimo le z znakom plus.
- Deleže pokrovnosti mikrohabitatnih tipov dobimo s kombinacijo ocen deležev pokrovnosti substrata in deležev tipa toka. Za vsakih 5 % mikrohabitatnega tipa izberemo eno vzorčno enoto.
- Vzorčne enote enakomerno razporedimo po mikrohabitatnem tipu.

f) Splošna priporočila za vzorčenje

- Vzorcevni pododsek mora biti reprezentativen za odsek vodotoka.
- Najprej vzorčimo vzorčno enoto, ki je najbolj oddaljena od izvira vodotoka in nadaljujemo proti toku.
- Pri vzorčenju vzorčnih enot vzorčimo po metodi mešanja substrata z roko. Večje delce speremo in z njih odstranimo pritrjene organizme. Kadar je voda pregloboka vzorčimo po metodi vzorčenja z brcanjem (angl. kick-sampling); ročno mrežo postavimo pravokotno na substrat z odprtino proti toku in jo čvrsto pritisnemo ob dno vodotoka. Ena nogo postavimo tik pred vhodno odprtino in nato z njo močno razbrčamo substrat 0,25 m nazaj proti toku. Počakamo nekaj časa, da vodni tok odnese dvignjene usedline in živali v mrežo. Ko se voda zbistri, postopek na istem mestu še enkrat ponovimo, ne da bi med tem mrežo premikali. Kjer je hitrost toka majhna, po razbrcanju substrata zajamemo organizme s potegom mreže proti toku. Nato mrežo namestimo na isto mesto in postopek še enkrat ponovimo.
- Po vzorčenju treh ali štirih vzorčnih enot speremo zbrani material v mreži s potegom mreže po vodi proti smeri vodnega toka.

2.3.3 Laboratorijska priprava vzorcev

Za aplikativne namene je zaželeno zmanjšanje truda za enak učinek. Pri podvzorčenju v laboratoriju (ali na terenu) zmanjšamo čas, ki ga potrebujemo za obdelavo vzorca. Podvzorce izberemo naključno, kar nam omogoča, da iz velikega vzorca nepristransko izberemo manjše število podvzorčnih enot, ki predstavljajo celoten vzorec (Urbanič s sod., 2005).

Veliko znanstvenikov ne odobrava podvzorčenja (Barbour s sod., 1999), pa tudi v večini članic Evropske unije nacionalne metode ne vsebujejo podvzorčenja, ampak zahtevajo obdelavo celotnega vzorca (Sandin s sod., 2004).

Ob uporabi učinkovitega multihabitatnega vzorčenja, ki je zajeto v metodologijo RBP in AQEM, dobimo zelo veliko število organizmov. Obdelava takih vzorcev je za aplikativne namene (monitoring) predolgotrajna, zato podvzorčimo (Lorenz s sod., 2004b).

Laboratorijska obdelava vzorcev je za vse do sedaj obravnavane protokole zelo podobna, razlikuje se le v najmanjšem številu osebkov ali velikosti vzorca, potrebnega za doseganje ustreznih ocen ekološkega stanja voda:

- AQEM protokol predlaga pregled 1/6 (5 enot) vzorca. Če pri tem skupno ne zajamemo več kot 700 osebkov, pregledujemo nadalje po eno enoto, dokler ne presežemo 700 osebkov (v tem primeru pregledamo do konca tudi zadnjo načeto enoto; The AQEM sampling..., 2006).
- Pri RBP je potrebno pregledati vsaj 4/30 (4 enote) vzorca. Protokol sicer temelji na podvzorcih, ki naj bi imeli najmanj 200 osebkov, vendar pa se ga lahko uporabi za katerokoli velikost podvzorca (100, 200, 300, 500 osebkov; Barbour s sod., 1999).
- V Sloveniji je osnovni princip laboratorijske obdelave podoben (Urbanič s sod., 2005), vendar je bil zaradi pomanjkanja ovrednotenja vpliva velikosti podvzorca na ekološko stanje podan predlog, da se pregleda 1/2 (18 enot) vzorca. To je veliko več kot predlagata zgornja protokola.

2.4 Metode vrednotenja stanja voda

Iz zbranih podatkov o vrstni in številčni sestavi združbe lahko ocenimo ekološko stanje vodnega okolja na izbranem vzorčnem mestu. Zaradi lažjega komuniciranja med raziskovalci in uporabniki so ekološki izsledki povzeti v indeksih, ki naj bi bili bolj objektivni prikaz stanj. Z indeksi pa izgubimo del informacij, tako da lahko v ekstremnih primerih pride do napačne interpretacije. Dober indeks zagotavlja čim večje število informacij, ni občutljiv na metodo vzorčenja niti na slabše taksonomsko znanje, je enostaven za izračun, ekološko pomemben, objektivni in cenovno ugoden (Urbanič in Toman, 2003).

2.4.1 Enometrijski indeksi

Indeks v tem primeru predstavlja kar metrika.

Metriko predstavlja merljivi del ali proces biološkega sistema (združbe), ki se spreminja vzdolž gradienta človekovega vpliva (Karr in Chu, 1999). Metrike naj bi odražale specifične in predvidljive odzive združbe organizmov na človekove vplive.

V najenostavnejši obliki eno metriko predstavlja en kvantitativni parameter združbe (npr. gostota osebkov ali taksonomska pestrost). Lahko pa je metrika enačba ali izračun. Najbolj pogosto uporabljeni enometrijski indeksi so diverzitetni, biotski in podobnostni indeksi (Sandin s sod., 2001):

- Diverzitetni indeks je izraz, ki temelji na pestrosti taksonov in številčnosti posameznih taksonov. Najbolj pogosto uporabljena sta Shannon-Wienerjev (Shannon in Weaver, 1949) in Simpsonov diverzitetni indeks (Simpson, 1949).
- Pri biotskih indeksih so organizmom dodeljene vrednosti glede na njihovo občutljivost na onesnaževanje. Vrednosti različnih organizmov so nato združene v

eno vrednost – indeks. Večina današnjih biotskih indeksov je bila razvita iz Biotskega indeksa Trent.

- Podobnostni indeks izraža podobnost v sestavi združb med dvema mestoma. Najpogosteje uporabljeni so Jaccardov, Bray-Curtisov in Sørensenov indeks podobnosti.

2.4.2 Multimetrijski indeksi

Multimetrijski indeks združuje več posameznih enačb, katerih rezultate v končni fazi združimo v eno vrednost. Za multimetrijsko oceno vzorčnih mest uporabimo več lastnosti združb. Indeks je občutljiv na širok spekter obremenitev in daje bolj celovito sliko stanja vzorčnega mesta ter bolj stabilen rezultat kot enometrijski.

Za multimetrijski indeks je potrebno združiti tiste metrike, na podlagi katerih lahko razlikujemo med spremenjenim in nespremenjenim stanjem. Najboljše so metrike, ki se jasno odzivajo na specifične onesnaževalce in ostale spremembe. Metrike naj bi odražale zgradbo, delovanje, taksonomsko sestavo, in vitalnost izbrane združbe. Na podlagi tega, kaj s posamezno metriko merimo, jih razvrščamo v več skupin (Aqem consortium, 2002; Barbour s sod., 1999): ¹

1. Sestava/številčnost (composition/abundance – ca)

Sem uvrščamo vse metrike, ki dajejo podatke o absolutni in relativni številčnosti taksonov. Relativna številčnost daje informacijo o zgradbi združbe in relativnem prispevku populacij k celotni favni. Je bolj informativna od same številčnosti v populacijah brez poznavanja medvrstnih interakcij. V zdravi združbi je struktura relativno stalna, kljub spreminjanju številčnosti posameznih populacij. Primeri metrik so:

¹ vse obravnavane metrike so v prilogi B, večina njihovih enačb pa v prilogi C

- Delež oz. odstotek osebkov določene taksonomske skupine (% Oligochaeta (maloščetincev), % Crustacea (rakov), % Ephemeroptera (enodnevnice), % Odonata (kačjih pastirjev), % Plecoptera (vrbnice), % Trichoptera (mladoletnic), % Coleoptera (hroščev), % Diptera (dvokrilcev), % EPT taksonov)
- Število osebkov določene taksonomske skupine (maloščetincev, rakov, enodnevnice, kačjih pastirjev, vrbnice, mladoletnic, hroščev, dvokrilcev)

2. Delovanje (functional metrics – f)

Vsak takson ima v združbi svojo vlogo – svoj trofični nivo, preferenco do določenega tipa hrane, toka, habitata ali biocenozne regije. Funkcionalne metrike oziroma metrike delovanja združbe odražajo ekološko vlogo taksona.

Metrike v tej skupini so delež združbe (%), ki preferira določeno regijo vodotoka, jakost toka ali določen mikrohabitat, oziroma ki pripada določeni prehranski skupini ali skupini gibanja (preglednice 5-9).

Preglednica 5. Biocenozne regije celinskih voda in opisi regij (Schmidt-Kloiber s sod., 2006)

Regija	Opis regije
krenal	izvir
hipokrenal	studenčna regija
epiritral	zgornja postrvja regija
metarital	spodnja postrvja regija
hiporital	lipanova regija
epipotamal	mrenina regija
metapotamal	ploščičeva regija
hipopotamal	brakične vode
litoral	obrežja jezer in rek
profundal	(neobraslo) dno stratificiranih jezer

Preglednica 6. Skupine organizmov s preferenco do določene jakosti toka, njihove oznake in opisi (Schmidt-Kloiber s sod., 2006)

Skupina	Oznaka	Opis skupine
limnobiont	LB	se pojavljajo samo v stoječih vodah
limnofil	LP	preferirajo stoječe vode, se izogibajo toku, redko so prisotni v počasi tekočih vodah
limno- do reofil	LR	preferirajo stoječe vode, a so prisotni redno tudi v počasi tekočih vodah
reo- do limnofil	RL	ponavadi so prisotni v potokih, preferirajo počasi tekoče vode in lentična območja, prisotni tudi v stoječih vodah
reofil	RP	v potokih, preferirajo območja s srednjim do močnim tokom
reobiont	RB	v potokih, vezani na območja z močnim tokom
indiferenten	IN	nimajo preference do jakosti toka

Preglednica 7. Skupine mikrohabitatov, ki jih preferirajo organizmi, njihove oznake in opisi (Schmidt-Kloiber s sod., 2006; Urbanič in Toman, 2003)

Mikrohabitat	Oznaka	Opis
pelal	Pel	blato, premer delcev <0.063 mm
argilal	Arg	mulj, glina, premer delcev <0.063 mm
psamal	Psa	pesek, premer delcev 0.063-2 mm
akal	Aka	majhni in srednji prodniki, premer delcev 0.2-2 cm
lital	Lit	veliki grobi prodniki, premer delcev >2 cm
fital	Phy	alge, potopljeni in emergentni makrofiti, živi deli kopenskih rastlin
odmrli organski delci	Pom	ksilal, večji (CPOM) in manjši (FPOM) odmrli organski delci
drugi mikrohabitati	Oth	npr. gostitelj za zajedalca

Preglednica 8. Prehranske skupine in njihovi opisi (Schmidt-Kloiber s sod., 2006)

Prehranska skupina	Slovenski prevod	Vrsta hrane
grazers and scrapers	strgalci	tkivo endo- in epilitičnih alg, biofilmi, delno odmrli organski delci POM
miners	minerji	listje vodnih rastlin, alge, celice vodnih rastlin
xylophagous taxa	ksilofagi	ksilal (debla, veje, odmrle korenine)
shredders	drobilci	odpadlo listje, rastlinsko tkivo, večji odmrli organski delci (CPOM)
gatherers/collectors	zbiralci	usedli manjši odmrli organski delci (FPOM)
active filter feeders	aktivni filtratorji	organsko snov iz vode aktivno filtrirajo: suspendiran FPOM, CPOM, mikroplen
passive filter feeders	pasivni filtratorji	hrano prinese vodni tok: suspendiran FPOM, CPOM, plen
predators	plenilci	plen
parasites	zajedalci	gostitelj
other feeding types	drugi prehranjevalni tipi	ne moremo jih klasificirati v to shemo ali pa so omnivori

Preglednica 9. Skupine premikanja in njihovi opisi (Schmidt-Kloiber s sod., 2006)

Skupina	Slovenski prevod	Opis
swimming/skating	plavalci/drsalci	organizmi, ki v jezerih lebdiijo in jih v rekah pasivno nosi tok
swimming/diving	plavalci/potapljači	organizmi, ki aktivno plavajo ali se potapljajo
burrowing/boring	kopači/vrtalci	organizmi, ki kopljejo v mehko podlago ali vrtajo v trdno podlago
sprawling/walking	plazeči se in hodeči organizmi	organizmi, ki se aktivno plazijo ali hodijo z nogami, psevdopodi ali se premikajo s pomočjo mukuza
(semi)sessil	(semi)sesilni organizmi	organizmi, ki so pritrjeni na trdno podlago, rastline ali druge živali
others	drugi	npr. letenje, skakanje (večinoma izven vode)

3. Bogastvo/pestrost (richness/diversity – rd)

Odražata diverziteto združbe. Načeloma višja diverzitetna pomeni tudi bolj zdravo združbo. Na podlagi teh metrik ne moremo sklepati na vodilne taksonomske skupine, lahko pa ugotovimo manjkajoče taksone za sicer naravno raznoliko združbo.

Sem uvrščamo vse metrike, ki dajejo podatke o številu vrst, rodov, družin, pa tudi celotno število taksonov in vse diverzitetne indekse (npr. Simpsonov, Shannon-Wienerjev).

4. Občutljivost /tolerantnost (sensitivity/tolerance – st)

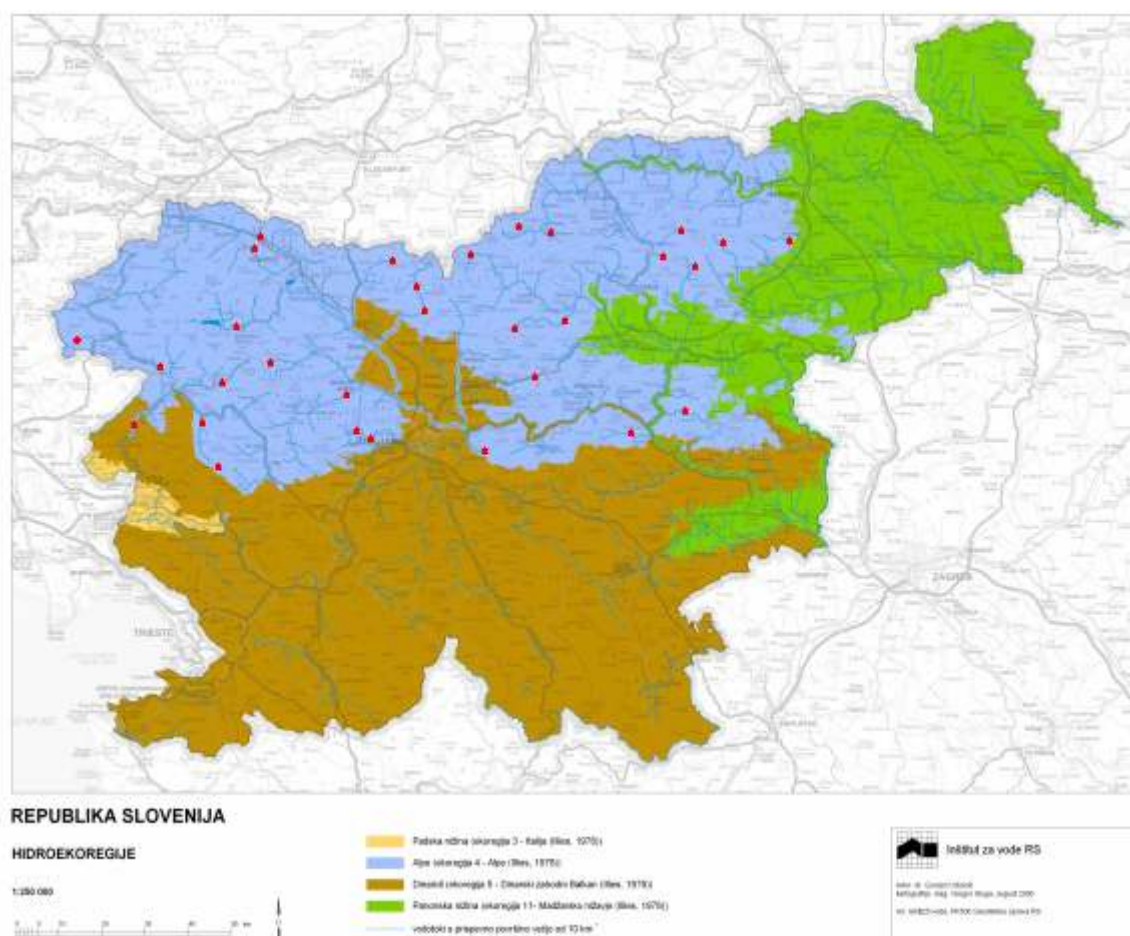
Te metrike naj bi odražale relativno občutljivost vodnega okolja na motnje. Sem uvrščamo vse metrike, ki upoštevajo taksone, ki so občutljivi ali tolerantni na obremenitev. Nekateri uporabljajo informacijo o prisotnosti/odsotnosti taksonov, drugi pa informacijo o številčnosti taksonov.

Sem uvrščamo vse različice saprobnega indeksa npr. SIG3, German saprobic index, biotske indekse, npr. BMWP, ASPT, German Fauna Index.

3. Metode dela

3.1 Podatki o bentoških nevretenčarjih

Podatke o bentoških nevretenčarjih smo pridobili z vzorčenji, ki so bila opravljena od julija do septembra 2004 v okviru projekta (Urbanič s sod., 2005). Uporabljeno je bilo multihabitatno vzorčenje, ki ga uporabljamo za vrednotenje ekološkega stanja rek v Sloveniji (Urbanič s sod., 2005) in je opisano v poglavju 2.3.2. Za našo analizo smo izbrali 30 vzorčnih mest (30 vzorcev – po en vzorec na vzorčno mesto) v hidroekoregiji Alpe, kjer so ohranjene naravne razmere (slika 1). Izbrana vzorčna mesta pripadajo 16 tipom rek (preglednica 10) in so referenčna mesta po kriterijih Urbanič in Smolar-Žvanut (2005) ali mesta, kjer je vpliv delovanja človeka majhen. Tako smo izločili del variabilnosti v podatkih, ki bi lahko bila prisotna zaradi onesnaženja ali spremenjenosti habitata, pa tudi zaradi geografskih razlik, ki bi lahko vplivale na naše rezultate.



Slika 1. Hidroekoregije v Sloveniji z označenimi analiziranimi vzorčnimi mesti (Urbanič, 2006).

Za vsako vzorčno mesto smo dobili podatke o številu in taksonomski sestavi organizmov za dvakrat po 1/12 vzorca, dvakrat po 1/6 vzorca in preostalo polovico vzorca. Nivo determinacije organizmov je v skladu z vrednotenjem ekološkega stanja rek v Sloveniji; do vrste oziroma rodu in v nekaterih primerih do poddružine (Urbanič s sod., 2005).

Preglednica 10. Število vzorčnih mest po tipih rek hidroekoregije Alpe uporabljenih v analizi. Za pojasnila kod glej preglednico 2-4 v poglavju 2.2.1.

Tip reke- koda	Šifra tipa*	Število vzorčnih mest
SI__VR2__		1
SI_4_KB-AL-D_1_		1
SI_4_KB-AL-D_1_>700	KBD1_700	4
SI_4_KB-AL-D_1_Pres		1
SI_4_KB-AL-D_2_		1
SI_4_KB-AL-D_2_IiJ		1
SI_4_KB-AL-D_2_KI		1
SI_4_KB-AL-J_2_		1
SI_4_PA-hrib-D_0_		1
SI_4_PA-hrib-D_1_	PAhrD1	6
SI_4_PA-hrib-D_1_KI		2
SI_4_PA-hrib-D_2_		1
SI_4_PA-hrib-J_0_		1
SI_4_PA-hrib-J_1_	PAhrJ1	3
SI_4_SI-AL_1_	SI1	3
SI_4_SI-AL_1_>700		2

*šifra tipa je določena samo za tipe z več kot 3 vzorčnimi mesti.

Iz dobljenih podatkov (število in taksonomska sestava) za velikost podvzorcev 1/12 in 1/6 smo za vsako vzorčno mesto s seštevanjem (npr. $1/12 + 1/6 = 1/4$) dobili še podatke za ostale velikosti podvzorcev (preglednica 11). Za vsako velikost podvzorca smo tako zaradi večih možnosti vsot dobili več podatkov (preglednica 11).

Preglednica 11. Število dobljenih podatkov v odvisnosti od velikosti podvzorca.

Velikost podvzorca	Število podatkov
1/12	2
1/6	3
1/4	4
1/3	3
5/12	2
1/2	1

3.2 Statistične metode

Za vse dobljene velikosti podvzorcev smo izračunali metrike s programom ASTERICS 3.01 (ASTERICS, 2006), ki je bil pripravljen v Evropskem projektu AQEM (Aqem consortium 2002) in dopolnjen v projektu STAR in je prosto dostopen na medmrežju. Poleg teh smo izračunali še Saprobni indeks – slovensko verzijo (SIG3, Urbanič s sod., 2006). Izmed vseh izračunanih metrik smo izločili metrike, ki za posamezne tipe rek ali celo hidroekoregijo Alpe niso imele izračunanih vrednosti in metrike, ki po naši strokovni presoji za hidroekoregijo Alpe niso bile relevantne. Seznam obravnavanih metrik je v prilogi B.

Da bi lahko primerjali vrednosti metrik glede na velikost podvzorca za celo hidroekoregijo ali med izbranimi tipi rek, smo za vsako velikost podvzorca izračunali relativno vrednost metrike glede na vrednost metrike pri celem vzorcu vsakega vzorčnega mesta (enačba 1).

$$m_i p^* = \frac{m_i p}{m_i c} \quad \dots(1)$$

kjer je

$m_i p^*$ – standardizirana vrednost i-metrike pri izbrani velikosti podvzorca

$m_i p$ – vrednost i-metrike pri izbrani velikosti podvzorca

$m_i c$ – vrednost i-metrike pri celem vzorcu

Število vseh dobljenih vrednosti metrik za posamezno velikost podvzorca izbranega tipa reke ali cele hidroekoregije Alpe smo izračunali po enačbi 2.

$$N = n_p * n_{VM} \quad \dots(2)$$

kjer je

N – število vseh dobljenih vrednosti i-velikosti podvzorca

n_p – število podatkov za i-velikost podvzorca (preglednica 7)

n_{VM} – število vzorčnih mest za izbrani tip reke (preglednica 8)

Kot mero variabilnosti metrike smo uporabili koeficient variacije (CV; Johnson in Harp, 2005), ki smo ga izračunali za vsako metriko za določeno velikost podvzorca za celotno hidroekoregijo Alpe kot tudi za izbrane tipe (enačba 3).

$$CV = \frac{SD}{\bar{x}} \quad \dots(3)$$

kjer je

SD - standardna deviacija

$\bar{x}$ - povprečna vrednost

Obravnavane metrike smo na podlagi tega, kaj s posamezno metriko merimo, razvrstili v 4 skupine (sestava/številčnost (ca), delovanje (f), bogastvo/pestrost (rd) in občutljivost/tolerantnost (st) – podrobneje so predstavljene v poglavju 2.4.2).

3.2.1 Statistične metode pri hidroekoregiji Alpe

Za celo hidroekoregijo Alpe smo metrike vsake skupine za vse velikosti podvzorcev razvrstili v razrede glede na velikost CV, in sicer CV 0-5%, 5-10%, 10-15%, 15-20%, ter v kumulativne razrede za CV <5%, <10%, <15% ali <20%. Pri kumulativnih razredih so vse metrike nižjega razreda CV zajete tudi v vseh višjih razredih. Izračunali smo relativne

vrednosti števila metrik vsake skupine v posameznih razredih glede na vse obravnavane metrike te skupine.

Nato smo izbrali skupno 28 metrik iz vseh skupin. Metrike so bile izbrane na podlagi uporabljnosti v multimetrijskih indeksih vrednotenja ekološkega stanja drugih držav:

- ca skupina: % Oligochaeta (maloščetincev)*, % Plecoptera (vrbnice)*, % Trichoptera (mladoletnic)*, % EP taksonov, % EPT taksonov*
- f skupina: % RP, % hipokrenal, % hiporital, % pelal, % strgalcev, % zbiralcev*, % zbiralcev (scored taxa = 100%)*, % XSAP*, % A+L+P*
- rd skupina: Simpson DI, Shannon-Wiener DI, Margalef DI, Evenness*, število taksonov, število taksonov Oligochaeta*, število taksonov Coleoptera*, število EP taksonov*, število EPT taksonov
- st skupina: SIG3, ASPT, German fauna index 2.1, 2.2 in 5*

Z zvezdico (*) so označene metrike, ki so bile izbrane za vrednotenje hidromorfološke spremenjenosti rek hidroekoregije Alpe v Sloveniji (Urbanič in Tavzes, 2006).

Vrednosti vsake metrike smo izrisali glede na velikost podvzorca. Za vsako metriko smo preverili, pri kateri velikosti podvzorca pade vrednost CV <5%, <10% ali <20% in te minimalne velikosti izrisali na grafih.

3.2.2 Statistične metode pri tipih rek hidroekoregije Alpe

Za izbrane tipe rek smo prav tako kot za celo hidroekoregijo Alpe metrike vsake skupine razvrstili v razrede (podrobneje glej poglavje 3.2.1). Dodatno smo za primerjavo med izbranimi tipi glede na deleže metrik izračunali še Spearmanove korelacijske Rho (ρ) koeficiente (enačba 4) ter regresijske (R^2) koeficiente (enačba 5) in izrisali te vrednosti na grafih za vse pare tipov.

$$\rho = 1 - \frac{6 \sum d_i^2}{n(n^2 - 1)} \quad \dots(4)$$

kjer je

d – razlika rangov ustrežajočih vrednosti za x in y

n – število vseh parov (x,y)

$$R^2 = \left(\frac{n \sum (xy) - \sum x \sum y}{\sqrt{[n \sum (x^2) - (\sum x)^2][n \sum (y^2) - (\sum y)^2]}} \right)^2 \quad \dots(5)$$

kjer je

n – število vseh parov (x,y)

Za tipe rek smo izbrali enake metrike (28 metrik) kot za hidroekoregijo Alpe (poglavje 3.2.1) in za vsako prav tako preverili, pri kateri velikosti podvzorca pade vrednost CV <5%, <10% ali <20% in te minimalne velikosti izrisali na grafih.

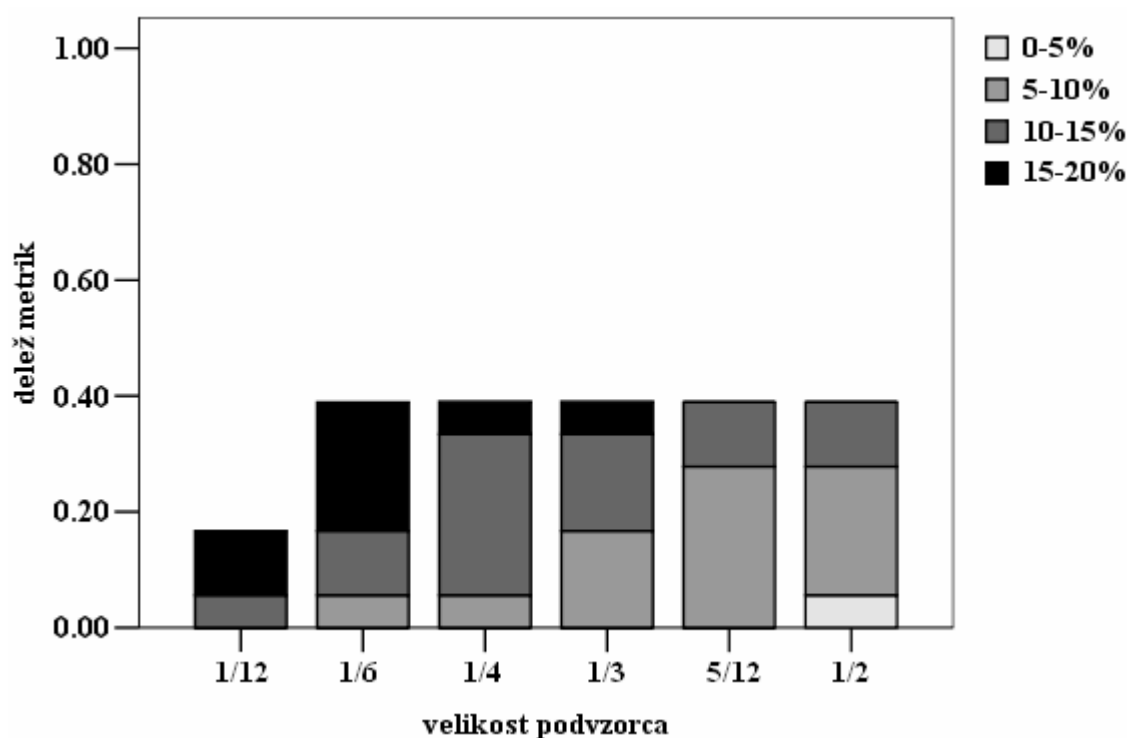
4. Rezultati

4.1 Variabilnost metrik v hidroekoregiji Alpe

4.1.1 Variabilnost metrik skupine ca (sestava/številčnost) v hidroekoregiji Alpe

S povečevanjem podvzorca se spreminja delež metrik skupine ca s koeficientom variacije (CV) znotraj vsakega razreda (slika 2, preglednica 12). Prav tako znotraj vsakega kumulativnega razreda (<5%, <10%, <15%, <20%) delež metrik narašča ali ostaja enak. V razredu CV <5% je šele 1/2 vzorca dovolj, da se ta delež dvigne nad 0, v razredu CV <20% pa znaša delež metrik že pri 1/12 vzorca 0,167.

Z večanjem podvzorca se zmanjšuje delež metrik z višjim CV (15-20%) in povečuje delež metrik z nižjim CV (10-15%, 5-10%). Pri 1/6 vzorca je delež metrik s CV 15-20% 0,222, pri 1/4 in 1/3 vzorca le še 0,056, pri večjih podvzorcih pa znaša ta delež 0.



Slika 2. Delež metrik skupine ca (sestava/številčnost) s koeficientom variacije (CV) 0-5 %, 5-10 %, 10-15 % ali 15-20 %, glede na velikost podvzorca (1/12, 1/6, 1/4, 1/3, 5/12, 1/2)

V razredu CV 5-10% je delež metrik pri majhnih vzorcih zelo nizek (pri 1/12 je 0, pri 1/6 in 1/4 0,056), pri 1/3 naraste na 0,167 in pri 5/12 na 0,278, kjer je največji. Metrikam se torej z večanjem podvzorca CV zmanjšuje.

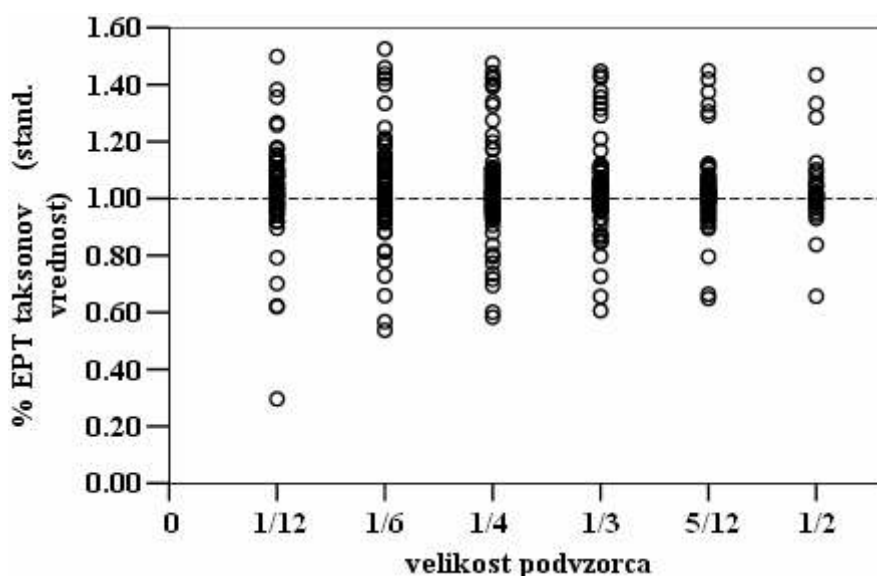
Preglednica 12. Delež metrik skupine ca (sestava/ številčnost) s koeficientom variacije (CV) 0-5 %, 5-10 %, 10-15 % ali 15-20 % ter <5 %, <10 %, <15 % ali <20 %, glede na velikost podvzorca (1/12, 1/6, 1/4, 1/3, 5/12, 1/2)

razred CV	0-5%	5-10%	10-15%	15-20%	<5%	<10%	<15%	<20%
velikost podvzorca								
1/12	0.000	0.000	0.056	0.111	0.000	0.000	0.056	0.167
1/6	0.000	0.056	0.111	0.222	0.000	0.056	0.167	0.389
1/4	0.000	0.056	0.278	0.056	0.000	0.056	0.333	0.389
1/3	0.000	0.167	0.167	0.056	0.000	0.167	0.333	0.389
5/12	0.000	0.278	0.111	0.000	0.000	0.278	0.389	0.389
1/2	0.056	0.222	0.111	0.000	0.056	0.278	0.389	0.389

Najvišja vrednost deleža metrik s CV v obravnavanih kumulativnih razredih je 0,389. Delež metrik v razredu CV <20% doseže to vrednost že pri 1/6 vzorca, v razredu CV <15% pa pri 5/12 vzorca.

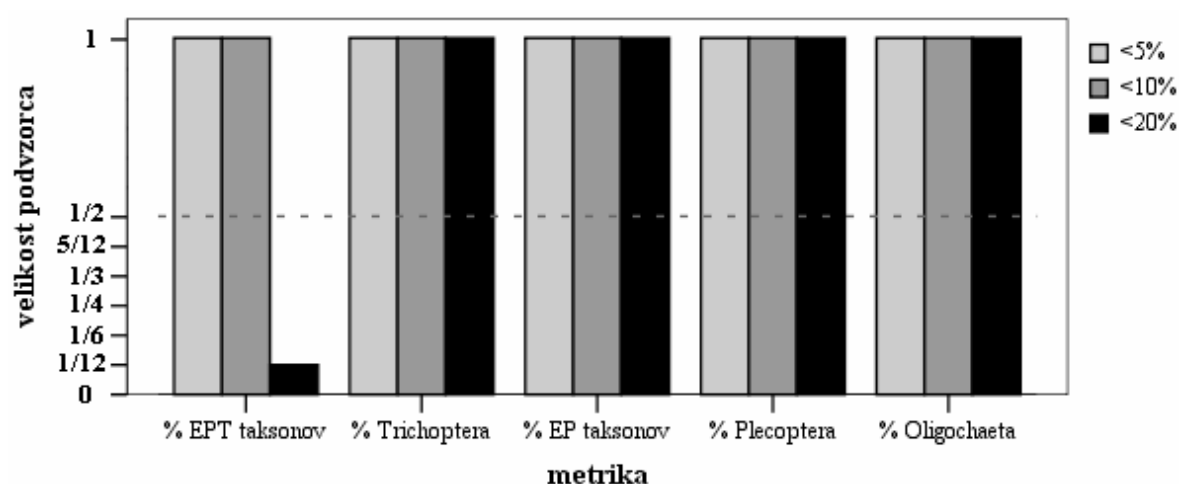
4.1.1.1 Variabilnost izbranih metrik skupine ca (sestava/številčnost)

Vse metrike te skupine se podobno odzivajo na povečevanje podvzorca. Povprečna vrednost ostaja približno enaka, standardna deviacija pa se z večanjem podvzorca zmanjšuje (preglednica 13). Kot primer predstavljamo spreminjanje standardiziranih vrednosti metrike % EPT taksonov (slika 3), ki je tudi najmanj variabilna od obravnavanih metrik (preglednica 13).



Slika 3. Spreminjanje standardiziranih vrednosti metrike % EPT taksonov v odvisnosti od velikosti podvzorca (N=30)

Za ocenitev variabilnosti metrik smo uporabili koeficient variacije (CV). Od petih obravnavanih metrik je metrika % EPT taksonov edina, pri kateri pade CV pod 20%, in sicer že pri 1/12 vzorca (slika 4). Pri vseh ostalih izbranih metrikah tudi z 1/2 vzorca ne dosežemo takega CV.



Slika 4. Pregled najmanjših velikosti podvzorca, potrebnega za doseganje koeficienta variacije (CV) <5%, <10% ali <20% pri izbranih metrikah skupine ca (sestava/številčnost) (N=30)

Petkovska V. Vzorčenje vodnih makroinvertebratov – reprezentativnost podvzorcev.

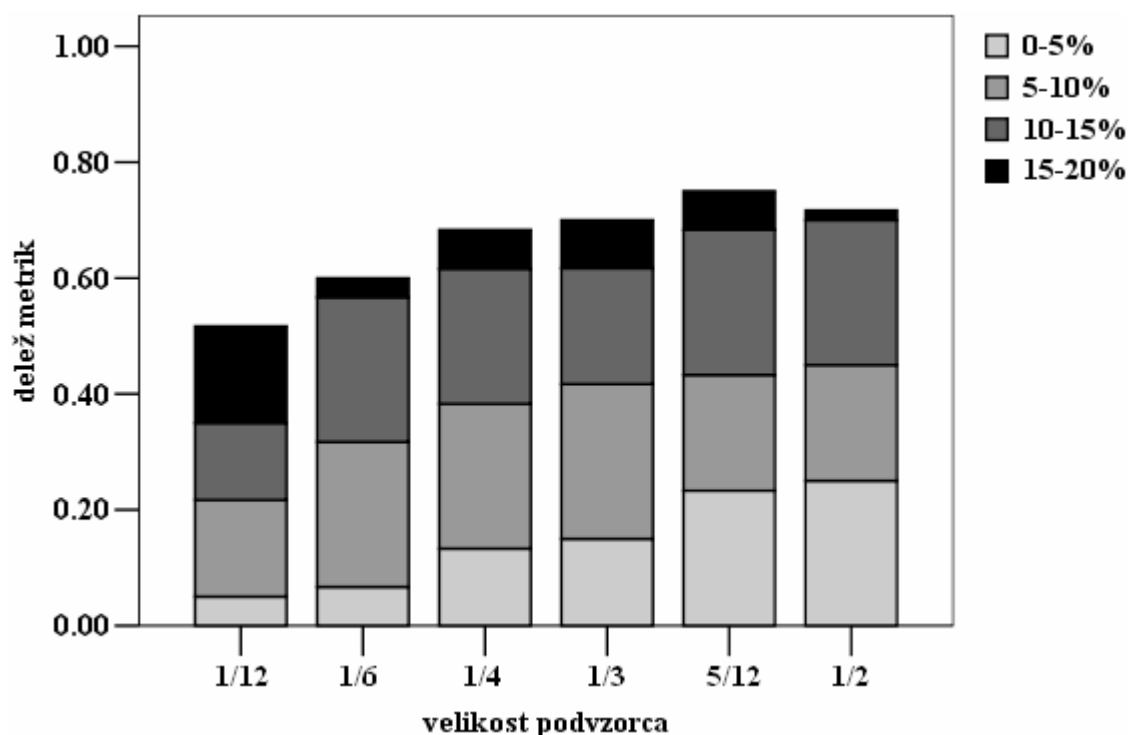
Dipl. delo. Ljubljana, Univ. v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Odd. za biologijo, 2007

Preglednica 13. Povprečne vrednosti $\pm$ standardne deviacije izbranih metrik skupine ca (sestava/številčnost) pri različnih velikostih podvzorca (N=30)

velikost podvzorca	1/12	1/6	1/4	1/3	5/12	1/2
metrika						
% EPT taksonov	1.029 $\pm$ 0.177	1.031 $\pm$ 0.159	1.032 $\pm$ 0.148	1.032 $\pm$ 0.142	1.032 $\pm$ 0.141	1.032 $\pm$ 0.139
% Trichoptera	0.998 $\pm$ 0.656	0.984 $\pm$ 0.427	0.986 $\pm$ 0.376	0.988 $\pm$ 0.305	0.982 $\pm$ 0.258	0.988 $\pm$ 0.251
% EP taksonov	1.085 $\pm$ 0.301	1.092 $\pm$ 0.306	1.094 $\pm$ 0.295	1.094 $\pm$ 0.286	1.095 $\pm$ 0.285	1.094 $\pm$ 0.284
% Plecoptera	1.035 $\pm$ 0.526	1.030 $\pm$ 0.390	1.035 $\pm$ 0.357	1.033 $\pm$ 0.333	1.035 $\pm$ 0.317	1.034 $\pm$ 0.321
% Oligochaeta	1.068 $\pm$ 0.690	0.972 $\pm$ 0.488	0.974 $\pm$ 0.453	0.973 $\pm$ 0.388	0.958 $\pm$ 0.372	0.974 $\pm$ 0.357

4.1.2 Variabilnost metrik skupine f (delovanje)

Pri metrikah te skupine se povečuje delež metrik s koeficientom variacije (CV) znotraj vsakega kumulativnega razreda (<5%, <10%, <15%, <20%) pri večanju podvzorca (slika 5, preglednica 14). Edino pri 1/2 vzorca delež metrik s CV <20% malo pade.



Slika 5. Delež metrik skupine f (delovanje) s koeficientom variacije (CV) 0-5 %, 5-10 %, 10-15 % ali 15-20 %, glede na velikost podvzorca (1/12, 1/6, 1/4, 1/3, 5/12, 1/2)

Že pri 1/12 vzorca je 0,050 metrik s CV <5%. Ta delež se do 1/2 vzorca poveča na 0,250. Prav tako se povečuje delež metrik v ostalih razredih. Najvišja vrednost deleža metrik v razredu CV <20% je pri 5/12 vzorca, in sicer 0,750.

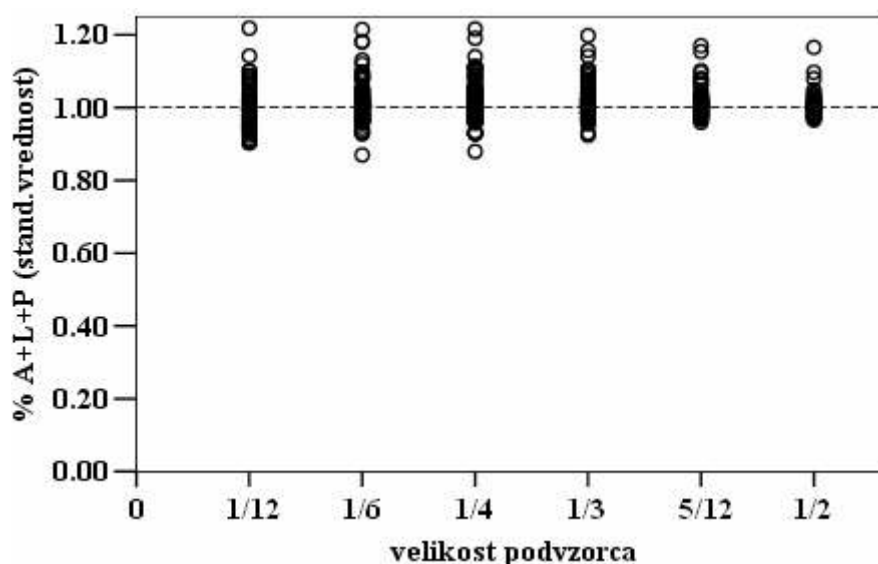
Delež metrik s CV 15-20% je majhen (0,017-0,083, razen pri 1/12 večji – 0,167). Deleža metrik s CV 5-10% ali 10-15% ostajata približno enaka, ne glede na velikost podvzorca, delež metrik s CV 0-5% pa se z večanjem podvzorca konstantno povečuje.

Preglednica 14. Delež metrik skupine f (delovanje) s koeficientom variacije (CV) 0-5 %, 5-10 %, 10-15 % ali 15-20 % ter <5 %, <10 %, <15 % ali <20 %, glede na velikost podvzorca (1/12, 1/6, 1/4, 1/3, 5/12, 1/2)

razred CV velikost podvzorca	0-5%	5-10%	10-15%	15-20%	<5%	<10%	<15%	<20%
1/12	0.050	0.167	0.133	0.167	0.050	0.217	0.350	0.517
1/6	0.067	0.250	0.250	0.033	0.067	0.317	0.567	0.600
1/4	0.133	0.250	0.233	0.067	0.133	0.383	0.617	0.683
1/3	0.150	0.267	0.200	0.083	0.150	0.417	0.617	0.700
5/12	0.233	0.200	0.250	0.067	0.233	0.433	0.683	0.750
1/2	0.250	0.200	0.250	0.017	0.250	0.450	0.700	0.717

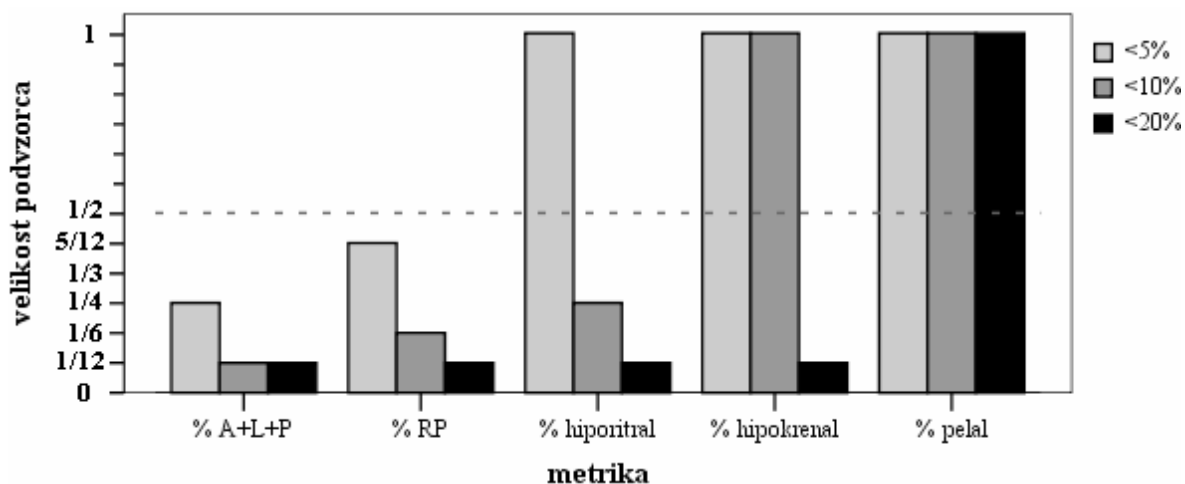
4.1.2.1 Variabilnost izbranih metrik skupine f (delovanje)

Metrike te skupine imajo na povečevanje podvzorca zelo podoben odziv. Povprečna vrednost ostaja približno enaka, standardna deviacija pa se manjša (preglednica 15). Kot primer predstavljamo metriko % A+L+P (akal + lital + psamal – slika 6), ki je ena izmed tistih z manjšo variabilnostjo (slika 7).



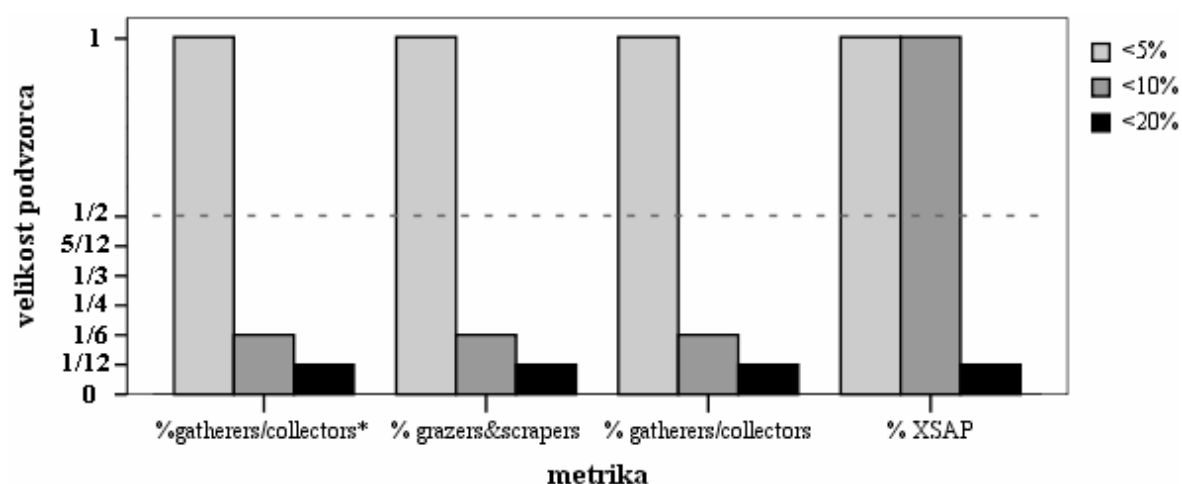
Slika 6. Spreminjanje standardiziranih vrednosti metrike % A+L+P (akal+lital+psamal) v odvisnosti od velikosti podvzorca (N=30)

Kot mero variabilnosti smo vzeli koeficient variacije (CV). Pri obravnavanih metrikah CV večinoma pade pod 10% že pri 1/4 vzorca (sliki 6 in 7). Vseeno pa z 1/2 vzorca pri večini metrik še ne dosežemo CV <5% (izjemi sta % A+L+P in % RP). Največjo variabilnost kaže metrika % pelal, kjer niti 1/2 vzorca ni dovolj, da dosežemo CV <20% (slika 7).



Slika 7. Pregled najmanjših velikosti podvzorca, potrebnega za doseganje koeficienta variacije (CV) <5%, <10% ali <20% pri izbranih metrikah skupine f (delovanje) (N=30)

Pri metrikah, ki odražajo delež prehranskih skupin, je najbolj variabilna % XSAP, kjer z 1/2 vzorca ne dosežemo CV <10% (slika 8).



Slika 8. Pregled najmanjših velikosti podvzorca, potrebnega za doseganje koeficienta variacije (CV) <5%, <10% ali <20% pri izbranih metrikah skupine f (delovanje) – prehranske skupine (N=30)

Petkovska V. Vzorčenje vodnih makroinvertebratov – reprezentativnost podvzorcev.

Dipl. delo. Ljubljana, Univ. v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Odd. za biologijo, 2007

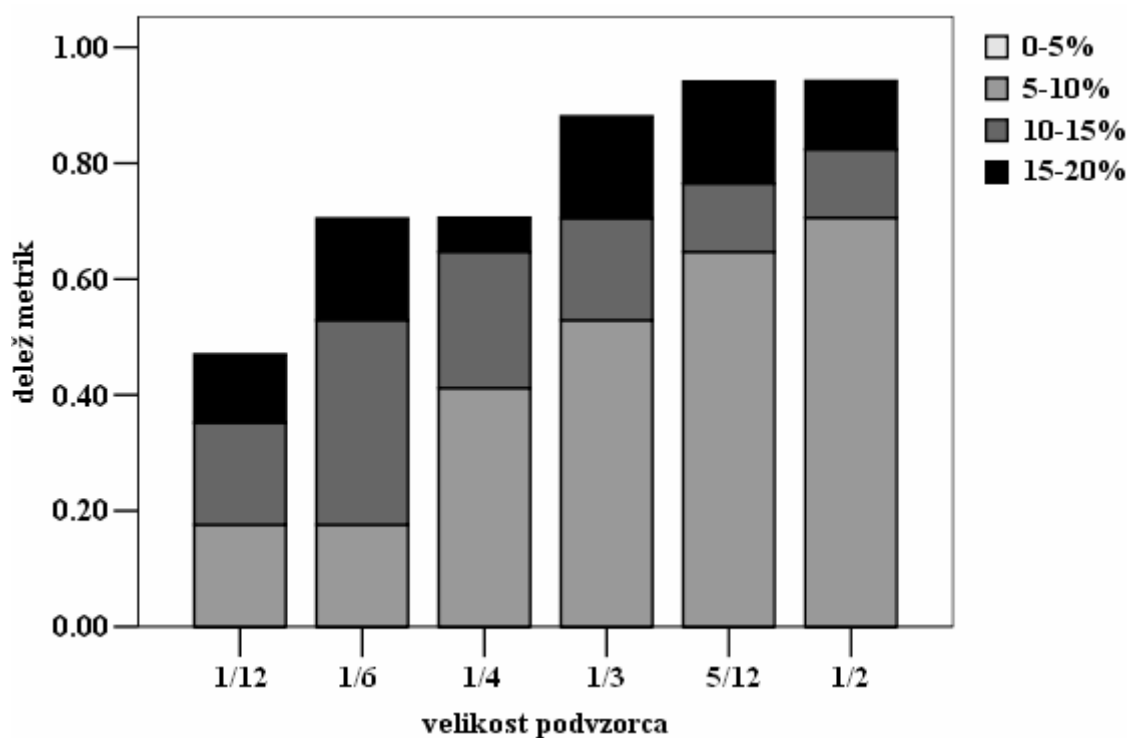
Preglednica 15. Povprečne vrednosti $\pm$ standardne deviacije izbranih metrik skupine f (delovanje) pri različnih velikostih podvzorca (N=30)

velikost podvzorca	1/12	1/6	1/4	1/3	5/12	1/2
metrika						
% A+L+P	0.998 $\pm$ 0.060	1.013 $\pm$ 0.055	1.013 $\pm$ 0.050	1.014 $\pm$ 0.045	1.017 $\pm$ 0.041	1.014 $\pm$ 0.041
% RP	1.001 $\pm$ 0.126	1.003 $\pm$ 0.083	1.001 $\pm$ 0.059	1.002 $\pm$ 0.055	1.002 $\pm$ 0.049	1.002 $\pm$ 0.045
% Gatherers/Collectors *	1.027 $\pm$ 0.160	1.022 $\pm$ 0.094	1.022 $\pm$ 0.088	1.022 $\pm$ 0.076	1.021 $\pm$ 0.075	1.022 $\pm$ 0.070
% Grazers&scrapers	1.020 $\pm$ 0.128	1.017 $\pm$ 0.094	1.017 $\pm$ 0.081	1.017 $\pm$ 0.078	1.017 $\pm$ 0.074	1.017 $\pm$ 0.074
% Gatherers/Collectors	1.030 $\pm$ 0.166	1.026 $\pm$ 0.096	1.027 $\pm$ 0.091	1.027 $\pm$ 0.079	1.026 $\pm$ 0.079	1.027 $\pm$ 0.074
% hiporital	1.047 $\pm$ 0.146	1.048 $\pm$ 0.117	1.048 $\pm$ 0.102	1.048 $\pm$ 0.092	1.048 $\pm$ 0.085	1.048 $\pm$ 0.084
% hipokrenal	1.029 $\pm$ 0.153	1.041 $\pm$ 0.138	1.043 $\pm$ 0.122	1.044 $\pm$ 0.115	1.047 $\pm$ 0.112	1.044 $\pm$ 0.108
% XSAP	0.949 $\pm$ 0.173	0.985 $\pm$ 0.129	0.984 $\pm$ 0.119	0.985 $\pm$ 0.114	0.992 $\pm$ 0.111	0.985 $\pm$ 0.110
% Pelal	1.499 $\pm$ 3.782	1.104 $\pm$ 1.111	1.076 $\pm$ 0.662	1.075 $\pm$ 0.530	1.032 $\pm$ 0.347	1.068 $\pm$ 0.331

4.1.3 Variabilnost metrik skupine rd (bogastvo/pestrost)

Delež metrik skupine rd s koeficientom variacije (CV) znotraj vsakega razreda se z večanjem podvzorca spreminja (slika 9), znotraj vsakega kumulativnega razreda (<5%, <10%, <15%, <20%) pa se povečuje (preglednica 16). Delež metrik s CV 10-15% se giblje med 0,118 in 0,353, delež metrik s CV 15-20% pa med 0,059 in 0,176.

Pri nobeni velikosti podvzorca ni delež metrik s CV <5% večji od 0, kar pomeni, da nobeni od metrik CV ne pade pod 5%. Vendar pa se z večanjem podvzorca metrikam manjša CV, saj se delež metrik s CV <10% stalno povečuje in pri 1/2 vzorca doseže 0,706. Prav tako se povečujeta deleža metrik s CV <15% in <20% in pri 1/2 vzorca dosežeta 0,824 in 0,941.



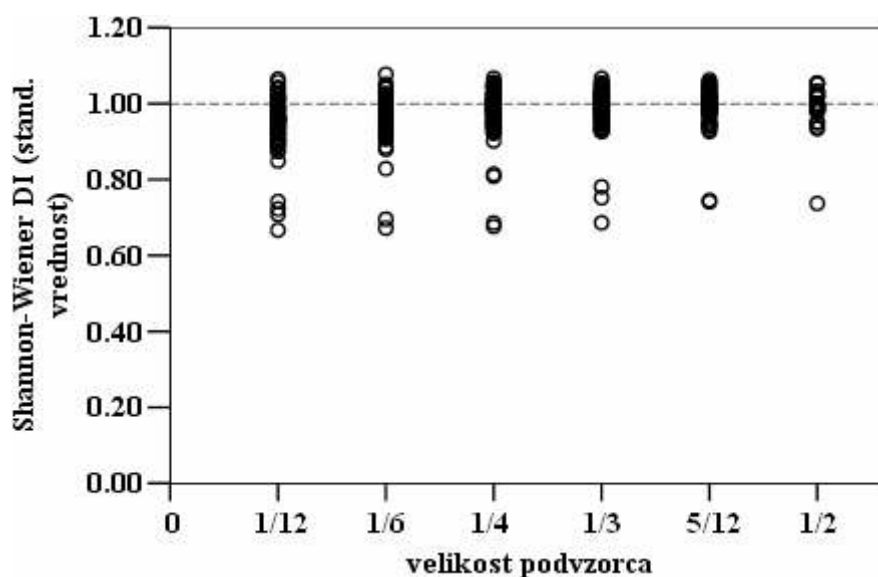
Slika 9. Delež metrik skupine rd (bogastvo/pestrost) s koeficientom variacije (CV) 0-5 %, 5-10 %, 10-15 % ali 15-20 %, glede na velikost podvzorca (1/12, 1/6, 1/4, 1/3, 5/12, 1/2)

Preglednica 16. Delež metrik skupine rd (bogastvo/pestrost) s koeficientom variacije (CV) 0-5 %, 5-10 %, 10-15 % ali 15-20 % ter <5 %, <10 %, <15 % ali <20 %, glede na velikost podvzorca (1/12, 1/6, 1/4, 1/3, 5/12, 1/2)

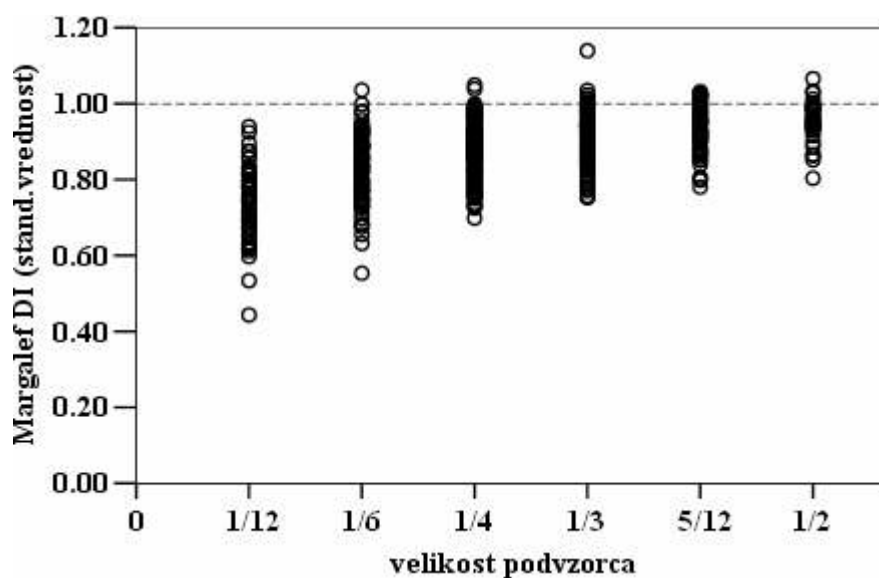
razred CV velikost podvzorca	0-5%	5-10%	10-15%	15-20%	<5%	<10%	<15%	<20%
1/12	0,000	0,176	0,176	0,118	0,000	0,176	0,353	0,471
1/6	0,000	0,176	0,353	0,176	0,000	0,176	0,529	0,706
1/4	0,000	0,412	0,235	0,059	0,000	0,412	0,647	0,706
1/3	0,000	0,529	0,176	0,176	0,000	0,529	0,706	0,882
5/12	0,000	0,647	0,118	0,176	0,000	0,647	0,765	0,941
1/2	0,000	0,706	0,118	0,118	0,000	0,706	0,824	0,941

4.1.3.1 Variabilnost izbranih metrik skupine rd (bogastvo/pestrost)

Metrike te skupine imajo dva različna odziva na povečevanje podvzorca. Eno vrsto odziva opazimo pri večini diverzitetnih indeksov (primer predstavljamo na sliki 10), kjer se povprečje z večanjem podvzorca približno ohranja, standardna deviacija (SD) pa se zmanjšuje (preglednica 17). Izjemo med diverzitetnimi indeksi (DI) predstavlja Margalefov DI (slika 11), pri katerem se povprečje z večanjem podvzorca povečuje, SD pa se prav tako zmanjšuje.

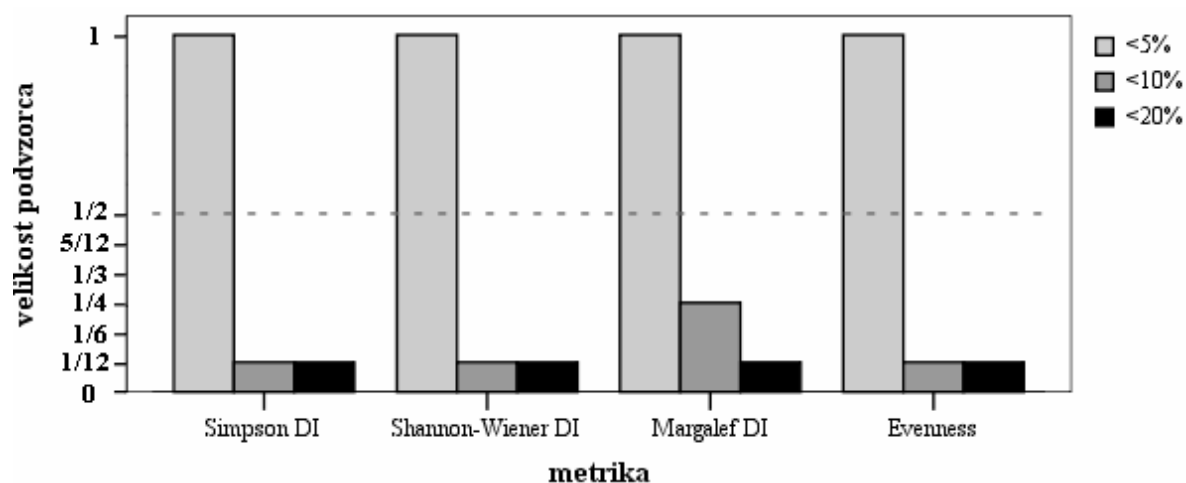


Slika 10. Spreminjanje standardiziranih vrednosti metrike Shannon-Wienerjev diverzitetni indeks (DI) v odvisnosti od velikosti podvzorca (N=30)



Slika 11. Spreminjanje standardiziranih vrednosti metrike Margalefov diverzitetni indeks (DI) v odvisnosti od velikosti podvzorca (N=30)

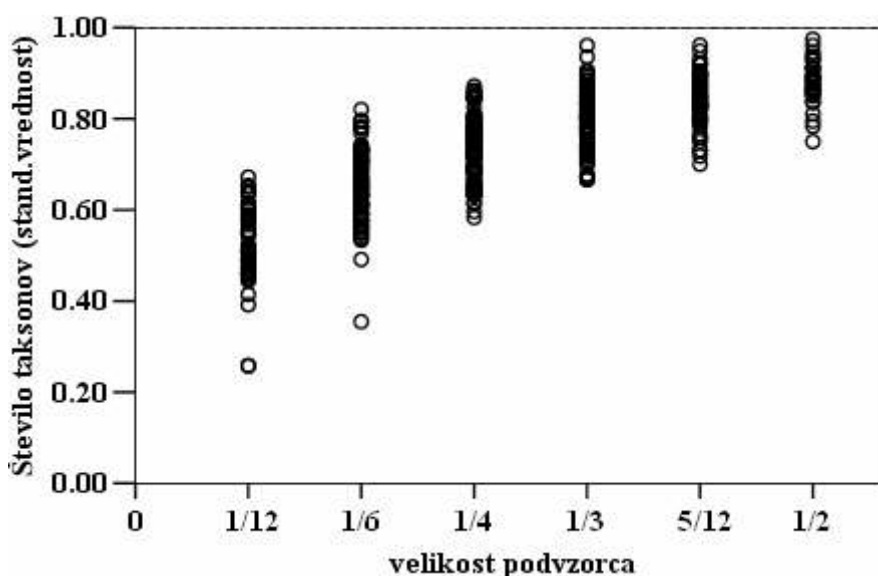
Kot merilo variabilnosti smo primerjali koeficiente variacije (CV). Pri vseh diverzitetnih indeksih pade CV pod 10% najkasneje pri 1/4 vzorca, pri nobenem od njih pa niti 1/2 vzorca ni dovolj, da dosežemo CV <5%.



Slika 12. Pregled najmanjših velikosti podvzorca, potrebnega za doseganje koeficienta variacije (CV) <5%, <10% ali <20% pri izbranih metrikah skupine rd (bogastvo/pestrost) – diverzitetni indeksi (N=30)

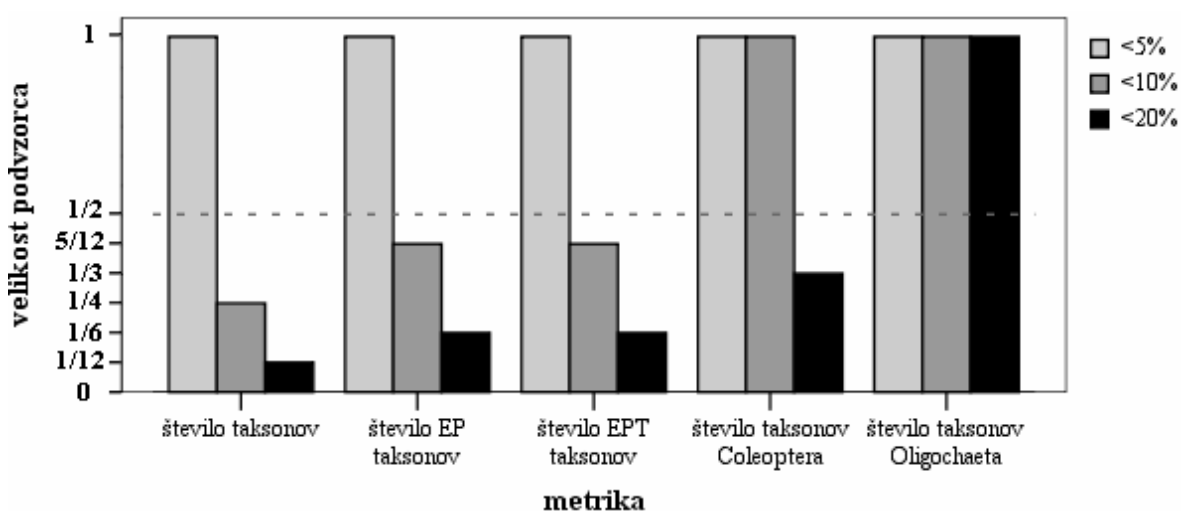
Drugo vrsto odziva imajo metrike števila izbranih taksonov. Podobno kot Margalefov DI tudi pri njih povprečna vrednost z večanjem podvzorca narašča, SD pa se manjša. Kot

primer predstavljamo metriko število taksonov (slika 13), ki je tudi najmanj variabilna od izbranih metrik (preglednica 17, slika 14).



Slika 13. Spreminjanje standardiziranih vrednosti metrike število taksonov v odvisnosti od velikosti podvzorca (N=30)

Poleg metrike število taksonov še pri dveh metrikah 5/12 vzorca zadostuje, da pade CV pod 10%. Najbolj variabilna pa je metrika število taksonov Oligochaeta, kjer z 1/2 vzorca ne dosežemo niti CV <20%. Prav tako pri nobeni od metrik ne pade CV <5% niti pri 1/2 vzorca.



Slika 14. Pregled najmanjših velikosti podvzorca, potrebnega za doseganje koeficienta variacije (CV) <5%, <10% ali <20% pri izbranih metrikah skupine rd (bogastvo/pestrost) – število izbranih taksonov (N=30)

Petkovska V. Vzorčenje vodnih makroinvertebratov – reprezentativnost podvzorcev.

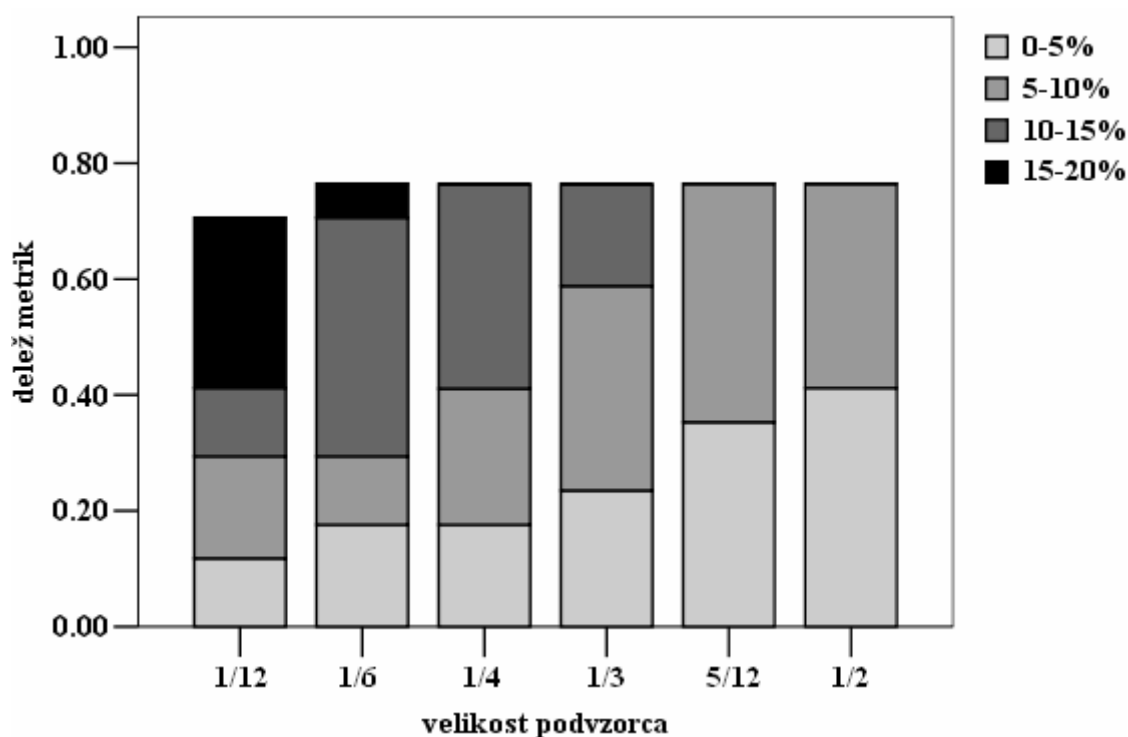
Dipl. delo. Ljubljana, Univ. v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Odd. za biologijo, 2007

Preglednica 17. Povprečne vrednosti $\pm$ standardne deviacije izbranih metrik skupine rd (bogastvo/pestrost) pri različnih velikostih podvzorca (N=30)

velikost podvzorca	1/12	1/6	1/4	1/3	5/12	1/2
metrika						
Število taksonov	0.524 $\pm$ 0.083	0.656 $\pm$ 0.078	0.737 $\pm$ 0.066	0.795 $\pm$ 0.064	0.842 $\pm$ 0.057	0.877 $\pm$ 0.051
Simpson DI	0.990 $\pm$ 0.060	0.991 $\pm$ 0.053	0.992 $\pm$ 0.052	0.992 $\pm$ 0.052	0.992 $\pm$ 0.052	0.992 $\pm$ 0.053
Shannon-Wiener DI	0.942 $\pm$ 0.078	0.967 $\pm$ 0.059	0.979 $\pm$ 0.056	0.984 $\pm$ 0.056	0.987 $\pm$ 0.056	0.990 $\pm$ 0.057
Margalef DI	0.744 $\pm$ 0.095	0.831 $\pm$ 0.090	0.879 $\pm$ 0.074	0.911 $\pm$ 0.072	0.935 $\pm$ 0.064	0.951 $\pm$ 0.058
Evenness	1.131 $\pm$ 0.086	1.085 $\pm$ 0.069	1.062 $\pm$ 0.066	1.045 $\pm$ 0.062	1.032 $\pm$ 0.060	1.024 $\pm$ 0.060
Število EP taksonov	0.674 $\pm$ 0.149	0.779 $\pm$ 0.124	0.838 $\pm$ 0.106	0.881 $\pm$ 0.090	0.909 $\pm$ 0.082	0.935 $\pm$ 0.068
Število EPT taksonov	0.541 $\pm$ 0.122	0.667 $\pm$ 0.105	0.745 $\pm$ 0.097	0.799 $\pm$ 0.088	0.843 $\pm$ 0.082	0.879 $\pm$ 0.075
Število taksonov Coleoptera	0.571 $\pm$ 0.247	0.686 $\pm$ 0.235	0.762 $\pm$ 0.196	0.828 $\pm$ 0.163	0.864 $\pm$ 0.144	0.885 $\pm$ 0.145
Število taksonov Oligochaeta	0.510 $\pm$ 0.300	0.624 $\pm$ 0.298	0.698 $\pm$ 0.294	0.776 $\pm$ 0.278	0.810 $\pm$ 0.284	0.862 $\pm$ 0.270

4.1.4 Variabilnost metrik skupine st (občutljivost/tolerantnost)

Z večanjem podvzorca se delež metrik skupine st s koeficientom variacije (CV) v vsakem razredu spreminja (slika 15). Delež metrik z višjim CV se z večanjem podvzorca zmanjšuje, delež metrik z nižjim CV pa se povečuje (preglednica 18). Metrikam torej pada vrednost CV. Delež metrik s CV 15-20% je pri 1/12 vzorca 0,294, pri 1/6 še 0,059, pri večjih podvzorcih pa 0. Delež metrik s CV 5-10% pa se začne povečevati pri 1/4 vzorca in doseže najvišjo vrednost pri 5/12 vzorca – 0,412.



Slika 15. Delež metrik skupine st (občutljivost/tolerantnost) s koeficientom variacije (CV) 0-5 %, 5-10 %, 10-15 % ali 15-20 %, glede na velikost podvzorca (1/12, 1/6, 1/4, 1/3, 5/12, 1/2)

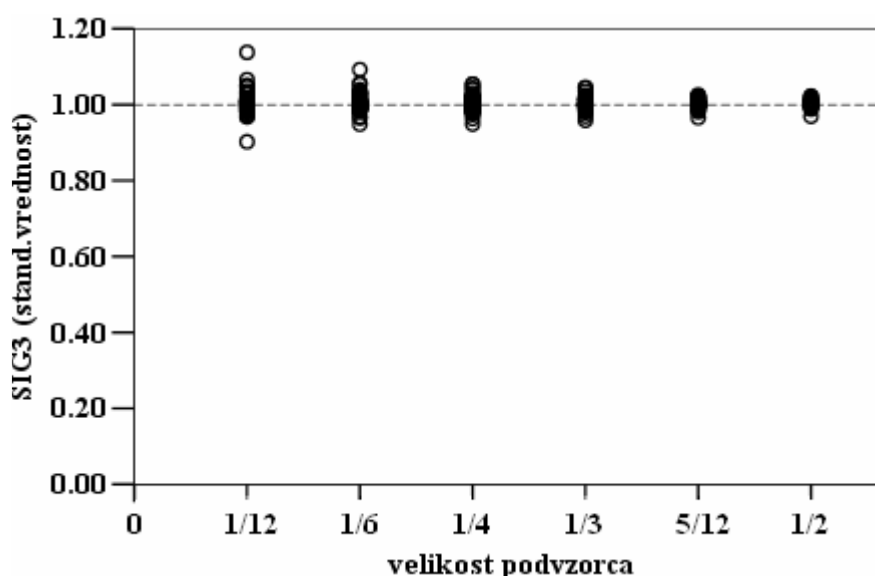
Delež metrik s CV v vsakem kumulativnem razredu (<5%, <10%, <15%, <20%) se z večanjem podvzorca povečuje ali ostaja enak (preglednica 18). Tako je delež metrik s CV <5% pri 1/12 vzorca 0,118, pri 1/2 pa doseže 0,412. Najvišji delež metrik v izbranih kumulativnih razredih CV je 0,765 in ga pri CV <20% dosežemo že z 1/6 vzorca, pri CV <15% z 1/4 vzorca in pri CV <10% s 5/12 vzorca.

Preglednica 18. Delež metrik skupine st (občutljivost/tolerantnost) s koeficientom variacije (CV) 0-5 %, 5-10 %, 10-15 % ali 15-20 % ter <5 %, <10 %, <15 % ali <20 %, glede na velikost podvzorca (1/12, 1/6, 1/4, 1/3, 5/12, 1/2)

razred CV	0-5%	5-10%	10-15%	15-20%	<5%	<10%	<15%	<20%
velikost podvzorca								
1/12	0.118	0.176	0.118	0.294	0.118	0.294	0.412	0.706
1/6	0.176	0.118	0.412	0.059	0.176	0.294	0.706	0.765
1/4	0.176	0.235	0.353	0.000	0.176	0.412	0.765	0.765
1/3	0.235	0.353	0.176	0.000	0.235	0.588	0.765	0.765
5/12	0.353	0.412	0.000	0.000	0.353	0.765	0.765	0.765
1/2	0.412	0.353	0.000	0.000	0.412	0.765	0.765	0.765

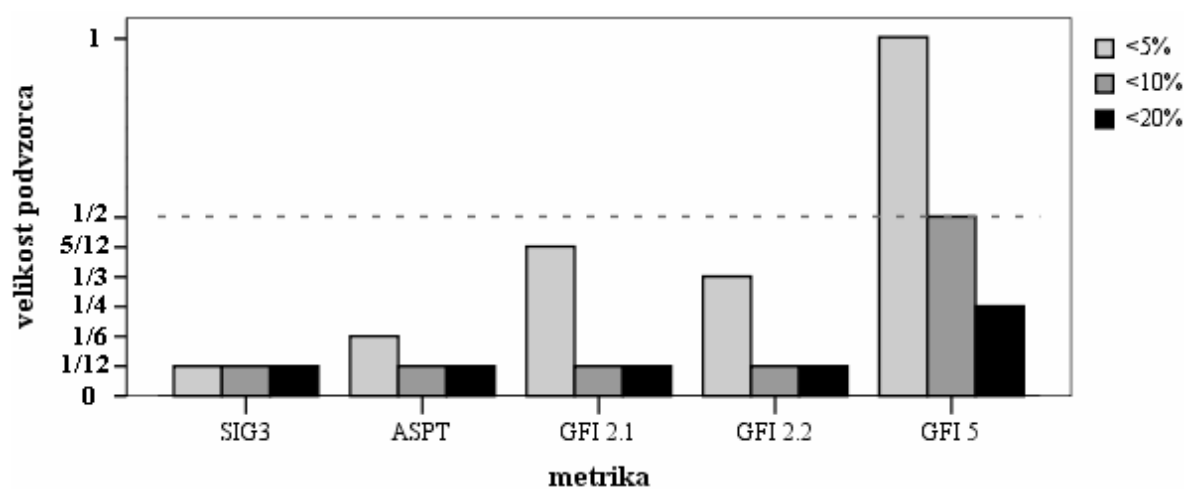
4.1.4.1 Variabilnost izbranih metrik skupine st (občutljivost/tolerantnost)

Vse metrike te skupine kažejo podoben odziv na večanje podvzorca. Povprečna vrednost ostaja približno enaka, standardna deviacija pa se zmanjšuje. Kot primer predstavljamo metriko SIG3 (slika 16), ki je tudi najmanj variabilna od izbranih metrik (preglednica 19).



Slika 16. Spreminjanje standardiziranih vrednosti metrike SIG3 v odvisnosti od velikosti podvzorca (N=30)

Za primerjavo variabilnosti metrik smo izbrali koeficient variacije (CV). Pri večini metrik dosežemo $CV < 10\%$ že s pregledom 1/12 vzorca (slika 17). Prav tako je pri večini metrik dovolj 1/3 vzorca za $CV < 5\%$. Izjema je metrika GFI 5, kjer je za $CV < 10\%$ potrebno pregledati 1/2 vzorca, za $CV < 5\%$ pa tudi to ni dovolj.



Slika 17. Pregled najmanjših velikosti podvzorca, potrebnega za doseganje koeficienta variacije (CV) $< 5\%$, $< 10\%$ ali $< 20\%$ pri izbranih metrikah skupine st (občutljivost/tolerantnost) (N=30)

Petkovska V. Vzorčenje vodnih makroinvertebratov – reprezentativnost podvzorcev.

Dipl. delo. Ljubljana, Univ. v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Odd. za biologijo, 2007

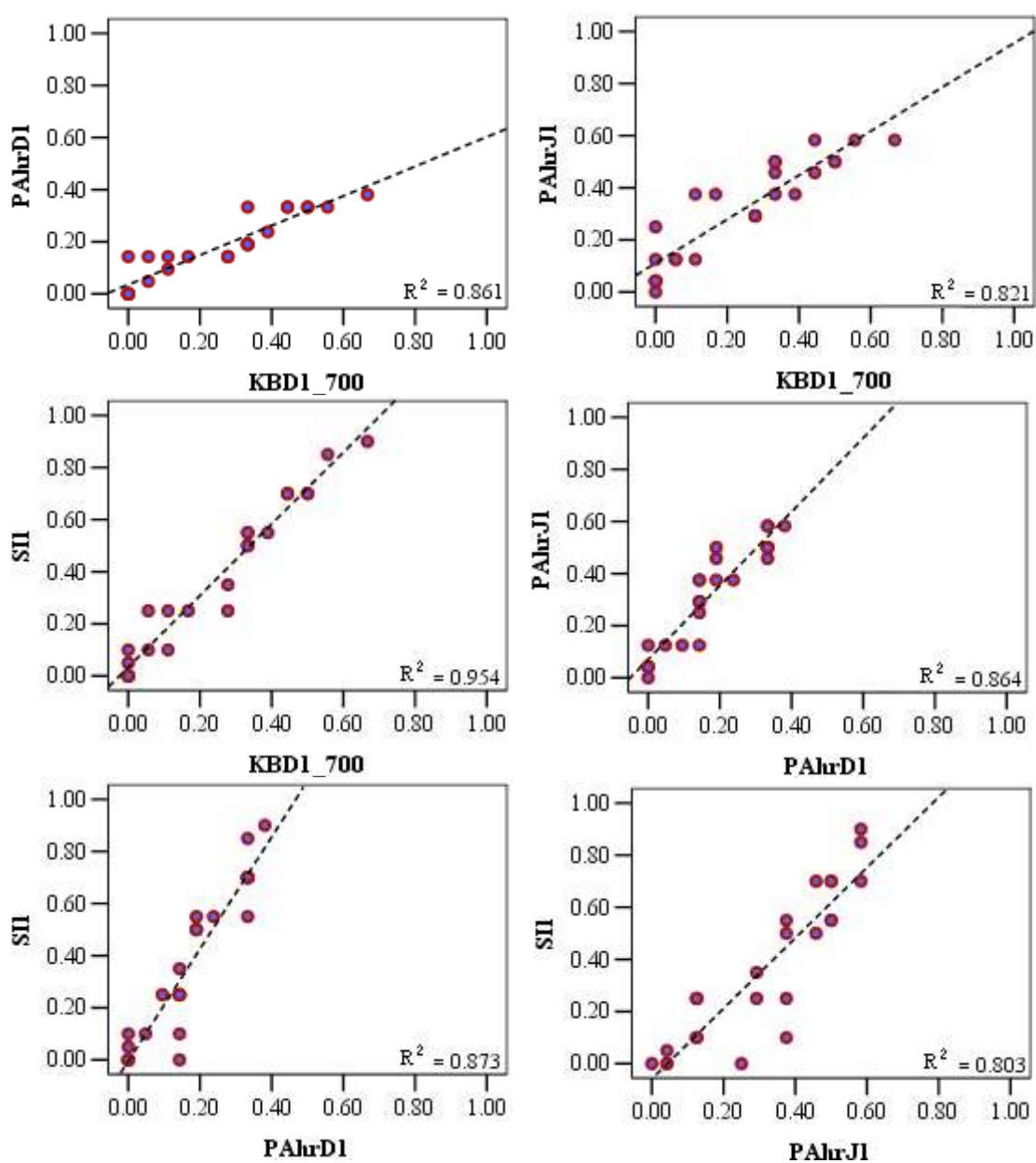
Preglednica 19. Povprečne vrednosti $\pm$ standardne deviacije izbranih metrik skupine st (občutljivost/tolerantnost) pri različnih velikostih podvzorca (N=30)

velikost podvzorca	1/12	1/6	1/4	1/3	5/12	1/2
metrika						
SIG3	1.004 $\pm$ 0.029	1.003 $\pm$ 0.019	1.003 $\pm$ 0.014	1.003 $\pm$ 0.013	1.002 $\pm$ 0.010	1.003 $\pm$ 0.010
ASPT	0.945 $\pm$ 0.053	0.969 $\pm$ 0.040	0.980 $\pm$ 0.036	0.984 $\pm$ 0.031	0.988 $\pm$ 0.030	0.993 $\pm$ 0.026
GFI 2.2	1.003 $\pm$ 0.083	1.006 $\pm$ 0.058	1.007 $\pm$ 0.052	1.009 $\pm$ 0.044	1.007 $\pm$ 0.038	1.006 $\pm$ 0.033
GFI 2.1	1.036 $\pm$ 0.096	1.025 $\pm$ 0.068	1.024 $\pm$ 0.065	1.023 $\pm$ 0.061	1.015 $\pm$ 0.048	1.010 $\pm$ 0.037
GFI 5	0.783 $\pm$ 0.244	0.859 $\pm$ 0.207	0.886 $\pm$ 0.166	0.917 $\pm$ 0.130	0.934 $\pm$ 0.109	0.953 $\pm$ 0.069

4.2 Variabilnost metrik znotraj tipov rek hidroekoregije Alpe

4.2.1 Variabilnost metrik skupine ca (sestava/številčnost) znotraj tipov rek

Pri primerjavi deležev metrik skupine ca pri enako velikih podvzorcih in razredih koeficienta variacije (CV) opazimo precej razlik med posameznimi tipi rek (slika 18). Najvišje deleže ima tip SI1(0,000-0,900), najnižje pa PAhrD1 (0,000-0,381).



Slika 18. Primerjava deležev metrik skupine ca (sestava/številčnost) pri enako velikih podvzorcih (1/12, 1/6, 1/4, 1/3, 5/12, 1/2) in velikostnih razredih koeficienta variacije (CV) med tipi rek hidroekoregije Alpe. Označena je regresijska premica in korelacijski koeficient (R^2).

Izračunali smo tudi Spearmanov korelacijski koeficient med tipi rek glede na deleže metrik. Vse korelacije so statistično značilne (preglednica 20). Najvišji koeficient imata tipa KBD1_700 in SI1 (0,977), najnižjega pa tipa PAhrJ1 in SI1 (0,914). Korelacijo prav tako potrjuje korelacijski koeficient R^2 (slika 18), ki je najnižji med SI1 in PAhrJ1 ($R^2=0,803$) in najvišji med SI1 in KBD1_700 ($R^2=0,954$).

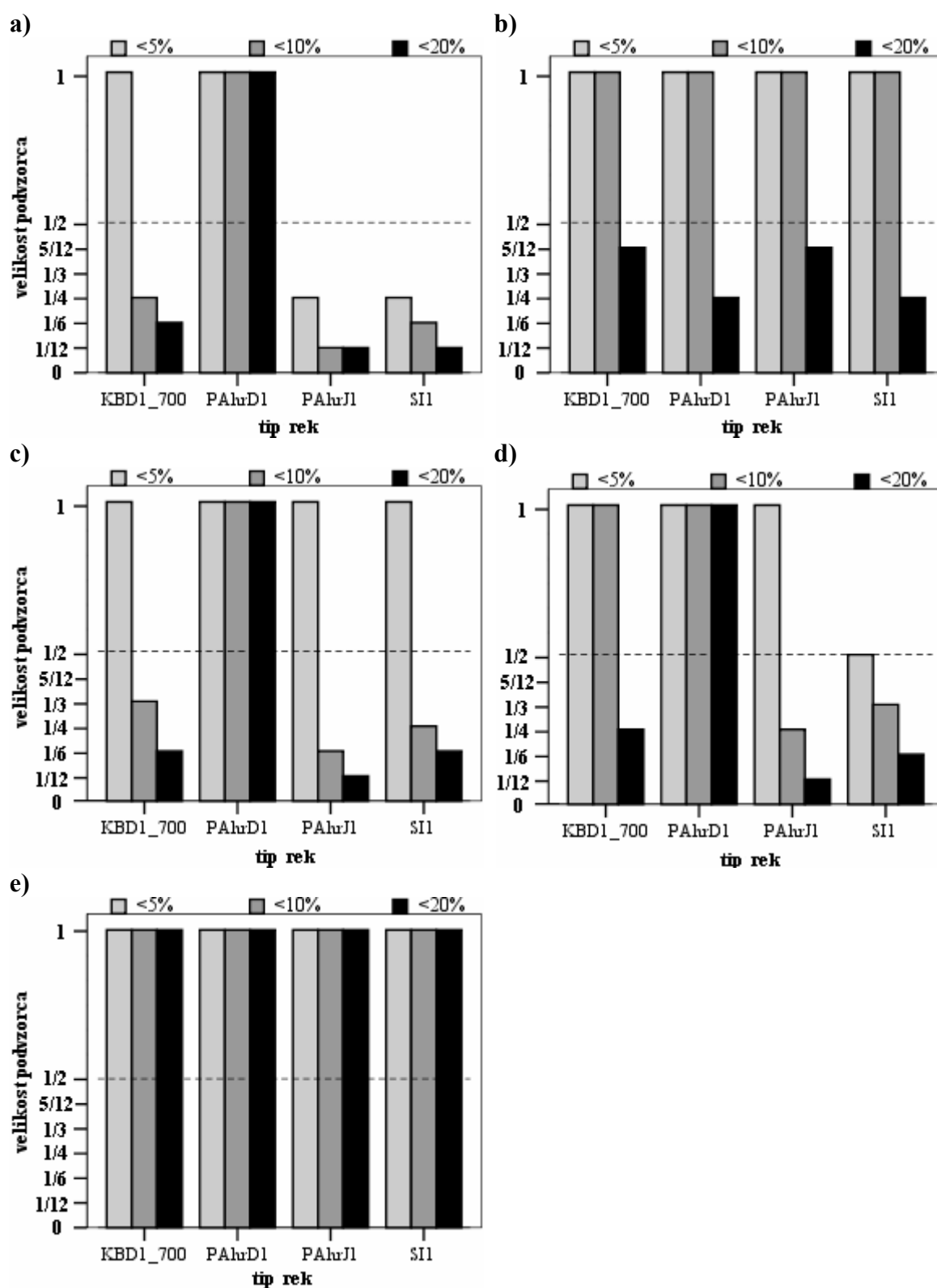
Preglednica 20. Korelacija tipov rek (Spearmanov Rho koeficient) glede na deleže metrik skupine ca (sestava/številčnost) pri enako velikih podvzorcih (1/12, 1/6, 1/4, 1/3, 5/12, 1/2) in velikostnih razredih koeficienta variacije (CV). **p < 0,01

	KBD1_700	PAhrD1	PAhrJ1	SI1
KBD1_700				
PAhrD1	0,949(**)			
PAhrJ1	0,922(**)	0,945(**)		
SI1	0,977(**)	0,938(**)	0,914(**)	

4.2.1.1 Variabilnost izbranih metrik skupine ca (sestava/številčnost) znotraj tipov rek

Metrike imajo pri različnih tipih rek različne vrednosti koeficienta variacije (CV). Metrikam te skupine je skupna velika variabilnost. Najmanjšo variabilnost opazimo pri metriki % EPT taksonov (slika 19a), pri kateri je pri treh tipih potrebno pogledati največ 1/4 vzorca, da pade CV pod 10%. Najbolj variabilna je metrika % taksonov Oligochaeta (slika 19e), kjer CV pri nobenem od izbranih tipov ne pade pod 20%, razen ob pregledu celega vzorca.

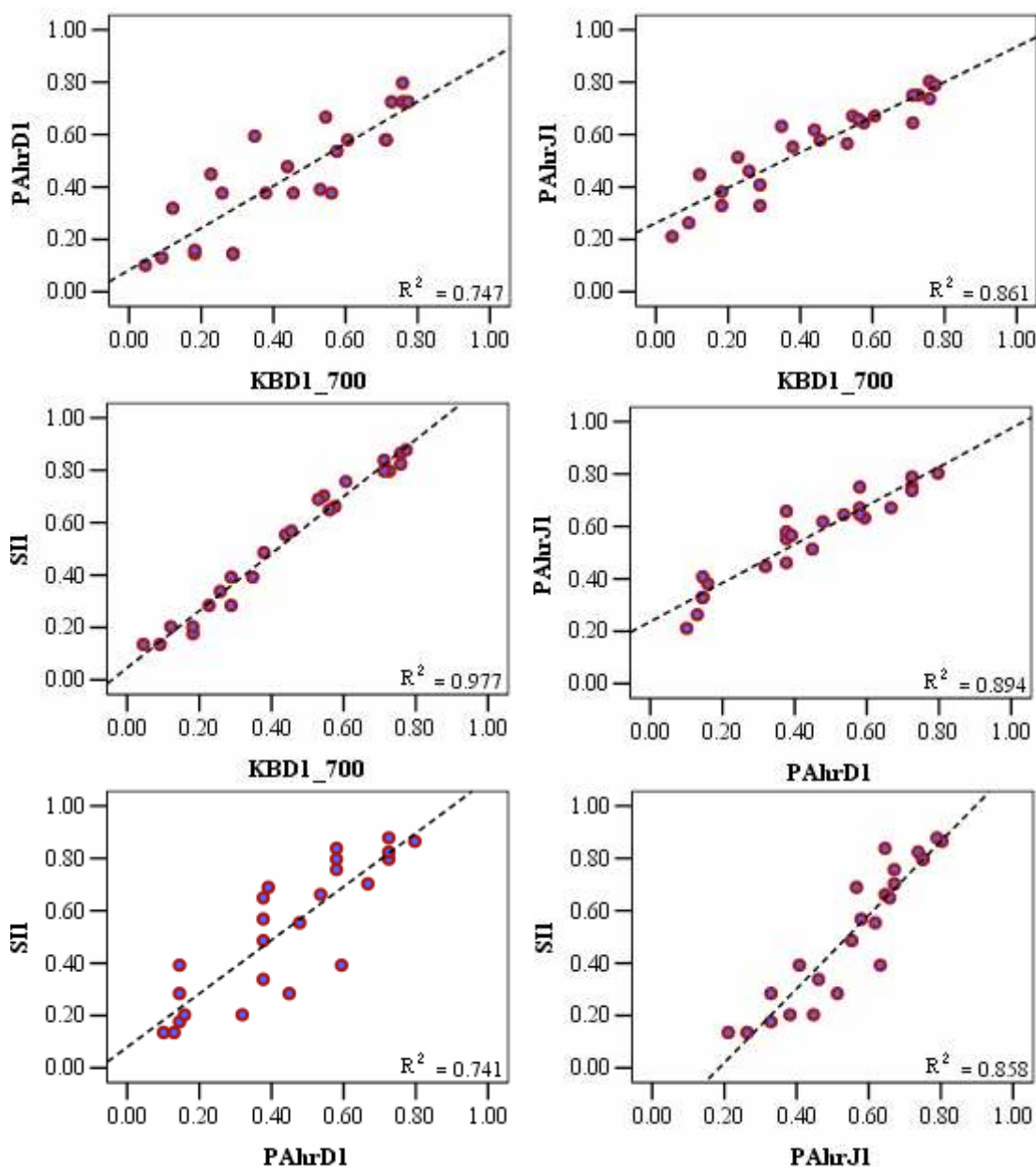
Najbolj variabilne so metrike pri tipu PAhrD1, saj pri nobeni izbrani metriki ne zadostuje niti pregled 1/2 vzorca, da dosežemo CV pod 20%. Najmanjšo variabilnost pa opazimo pri tipu PAhrJ1.



Slika 19. Pregled najmanjših velikosti podzorca, potrebnega za doseganje koeficienta variacije (CV) <5%, <10% ali <20% za izbrane tipe rek za metrike: a - % EPT taksonov, b - % taksonov Trichoptera, c - % EP taksonov, d - % taksonov Plecoptera, e - % taksonov Oligochaeta.

4.2.2 Variabilnost metrik skupine f (delovanje) znotraj tipov rek

Pri primerjavi deležev metrik skupine f pri enako velikih podvzorcih in razredih koeficienta variacije (CV) opazimo majhne razlike med posameznimi tipi rek (slika 20). Najvišje deleže ima tip SI1 (0,135-0,878), najnižje pa KBD1_700 (0,045-0,773).



Slika 20. Primerjava deležev metrik skupine f (delovanje) pri enako velikih podvzorcih (1/12, 1/6, 1/4, 1/3, 5/12, 1/2) in velikostnih razredih koeficienta variacije (CV) med tipi rek hidroekoregije Alpe. Označena je regresijska premica in korelacijski koeficient (R^2).

Za primerjavo deležev metrik med tipi smo izračunali tudi Spearmanov koeficient korelacije (preglednica 21) in korelacijski koeficient R^2 (slika 20). Vsi Spearmanovi koeficienti korelacije so statistično značilni (preglednica 21). Najvišji koeficient je pri tipih KBD1_700 in SI1 (0,983), najnižji pa med tipoma KBD1_700 in PAhrD1 (0,864). Prav tako je najvišji R^2 med SI1 in KBD1_700 (slika 20; $R^2=0,977$), najnižji pa tu pri SI1 in PAhrD1 ($R^2=0,741$).

Preglednica 21. Korelacija tipov rek (Spearmanov Rho koeficient) glede na deleže metrik skupine f (delovanje) pri enako velikih podvzorcih (1/12, 1/6, 1/4, 1/3, 5/12, 1/2) in velikostnih razredih koeficienta variacije (CV). ** $p < 0,01$

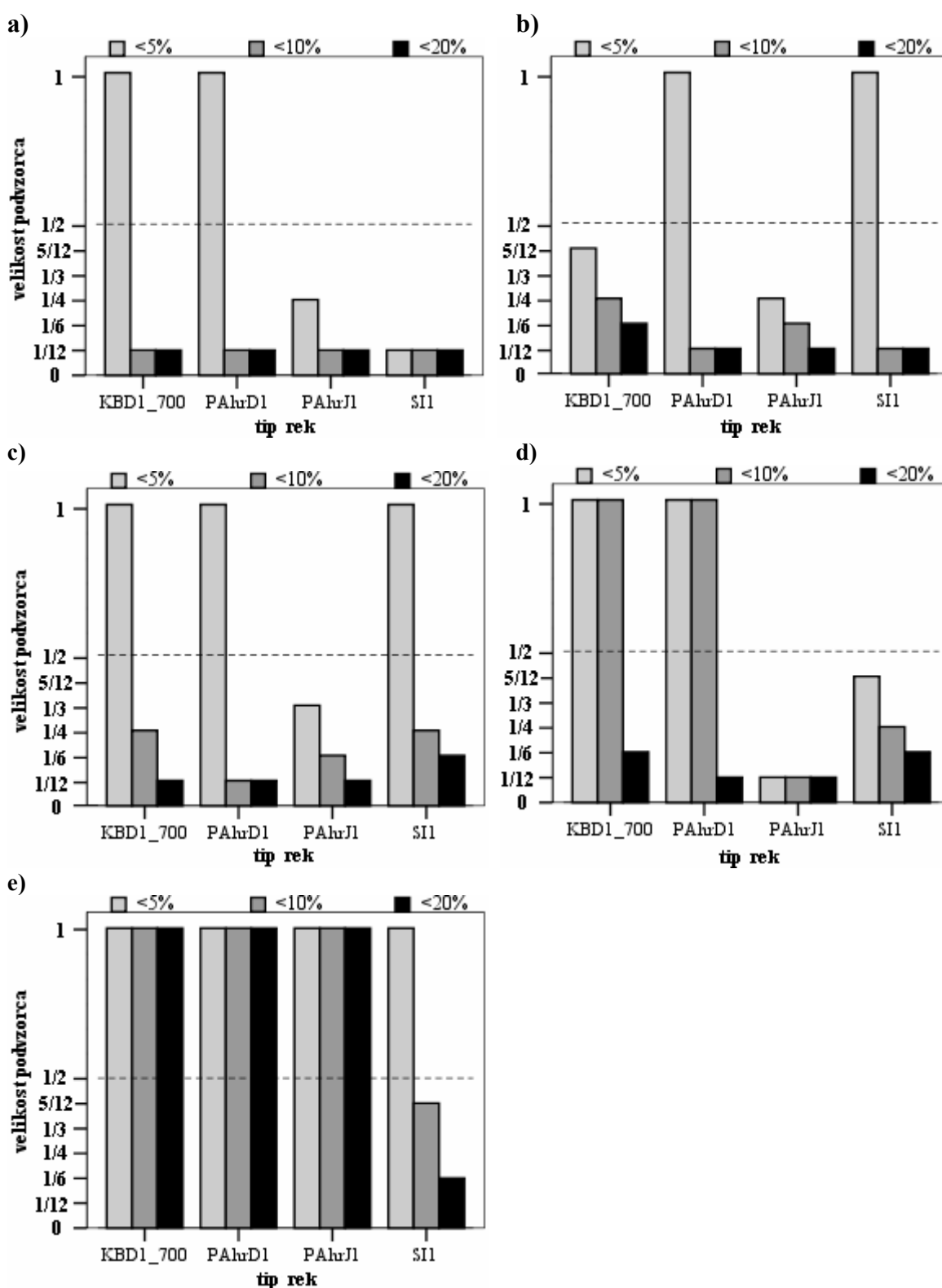
	KBD1_700	PAhrD1	PAhrJ1	SI1
KBD1_700				
PAhrD1	0,864(**)			
PAhrJ1	0,943(**)	0,936(**)		
SI1	0,983(**)	0,873(**)	0,936(**)	

4.2.2.1 Variabilnost izbranih metrik skupine f (delovanje) znotraj tipov rek

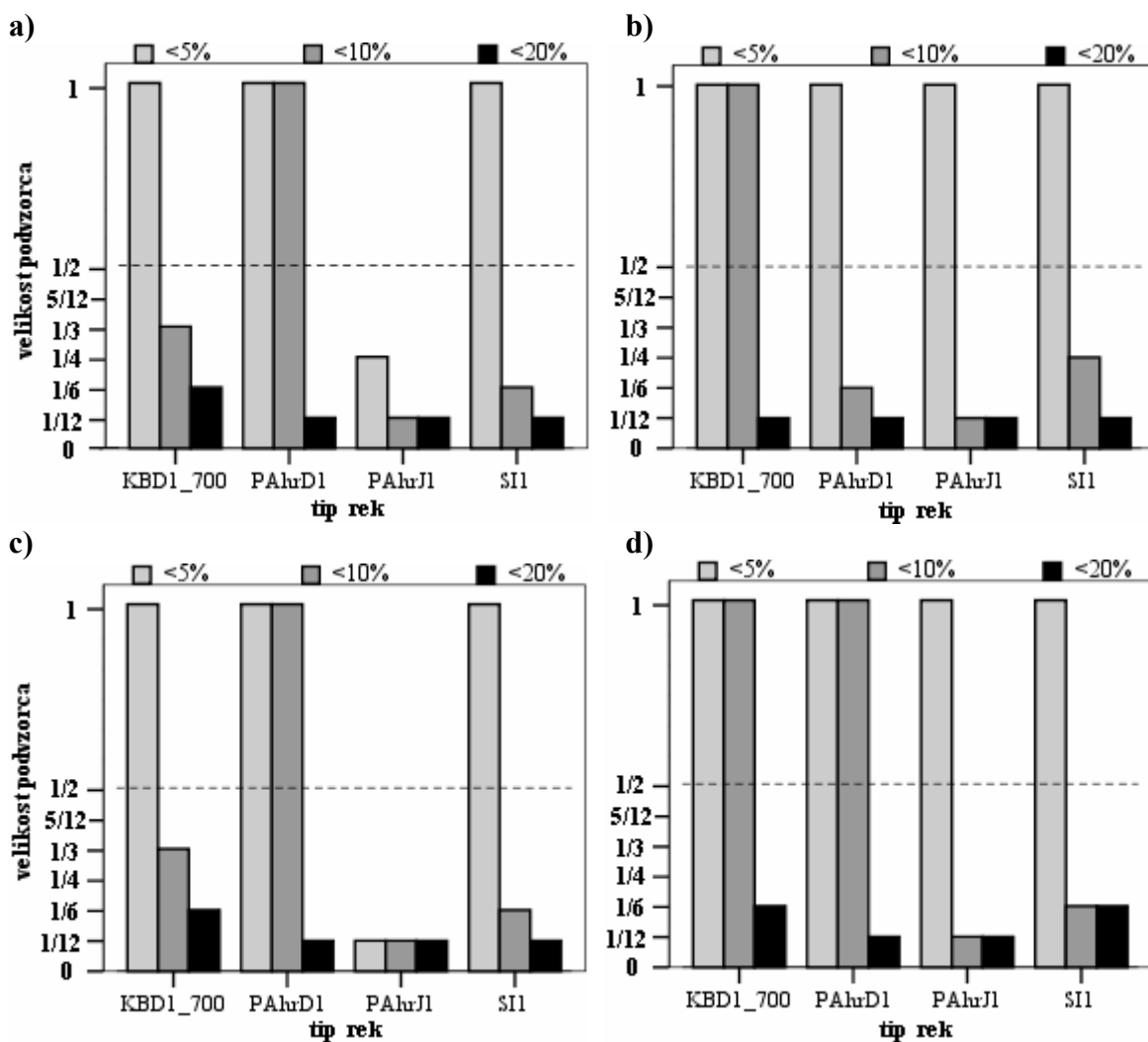
Koeficient variacije (CV) izbranih metrik se razlikuje med tipi rek. Za večino metrik je dovolj 1/6 vzorca, da dosežemo CV <20% (sliki 21 in 22). Izjema je metrika % pelal, kjer le pri tipu SI1 dosežemo tak CV.

Najmanjšo variabilnost opazimo pri metrikah % A+L+P (slika 21a), % RP (slika 21b) in % hiporital (slika 21c), kjer je pri vseh tipih rek dovolj 1/4 vzorca, da dosežemo CV <10%. Zelo redko pa opazimo, da se CV spusti pod 5%, največkrat pri tipu PAhrJ1 (slika 21a-d, slika 22a,c).

Najmanjšo variabilnost metrik opazimo pri tipu PAhrJ1, veliko pa pri PAhrD1 in KBD1_700.



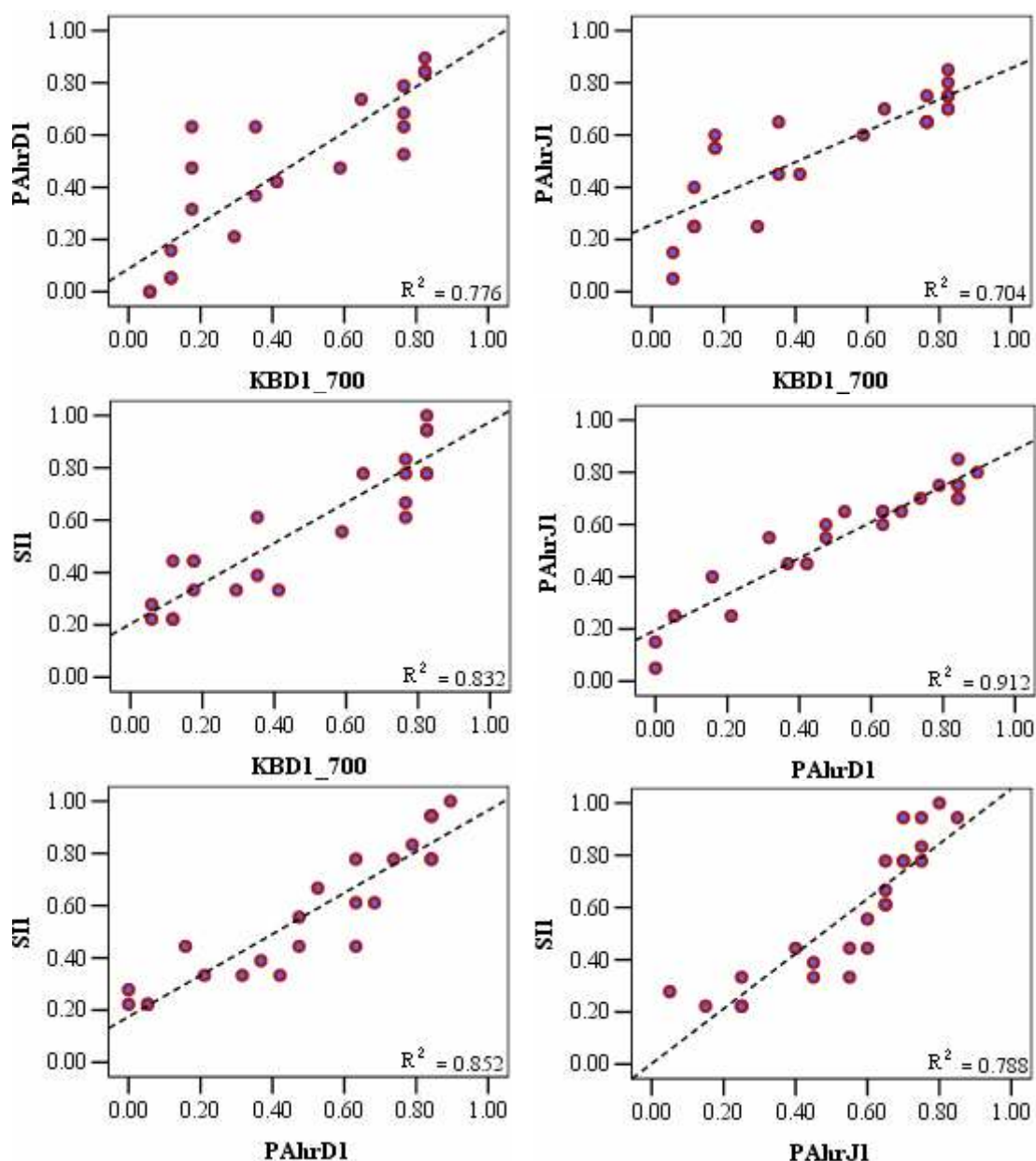
Slika 21. Pregled najmanjših velikosti podzorca, potrebnega za doseganje koeficienta variacije (CV) <5%, <10% ali <20% za izbrane tipe rek za metrike: a - % A+L+P (akal+lital+pelal), b - % RP (reofil), c - % hiporitril, d - % hipokrenal, e - % pelal.



Slika 22. Pregled najmanjših velikosti podzorca, potrebnega za doseganje koeficienta variacije (CV) <5%, <10% ali <20% za izbrane tipe rek za metrike: a - % gatherers/collectors* (*-scored taxa=100%), b - % grazers&scrapers, c - % gatherers/collectors, d - % XSAP (ksilofagi, strgači, aktivni in pasivni filtratorji).

4.2.3 Variabilnost metrik skupine rd (bogastvo/pestrost) znotraj tipov rek

Pri primerjavi deležev metrik skupine rd pri enako velikih podvzorcih in razredih koeficienta variacije (CV) opazimo precej razlik med posameznimi tipi rek (slika 23). Najvišje deleže ima tip SII (0,278-1,000), najnižje pa KBD1_700 (0,059-0,824) ali PAhrD1 (0,000-0,895).



Slika 23. Primerjava deležev metrik skupine rd (bogastvo/pestrost) pri enako velikih podvzorcih (1/12, 1/6, 1/4, 1/3, 5/12, 1/2) in velikostnih razredih koeficienta variacije (CV) med tipi rek hidroekoregije Alpe. Označena je regresijska premica in korelacijski koeficient (R^2).

Za primerjavo deležev metrik med tipi smo izračunali še Spearmanov koeficient korelacije. Vsi koeficienti so statistično značilni (preglednica 22). Najvišji koeficient imata PAhrD1 in PAhrJ1 (0,969), najnižjega pa KBD1_700 in SI1 (0,909). Prav tako imata največji korelacijski koeficient R^2 (slika 23) tipa PAhrJ1 in PAhrD1 ($R^2=0,912$), najmanjšega pa imata tipa PAhrJ1 in KBD1_700 ($R^2=0,704$).

Preglednica 22. Korelacija tipov rek (Spearmanov Rho koeficient) glede na deleže metrik skupine rd (bogastvo/pestrost) pri enako velikih podvzorcih (1/12, 1/6, 1/4, 1/3, 5/12, 1/2) in velikostnih razredih koeficienta variacije (CV). **p < 0,01

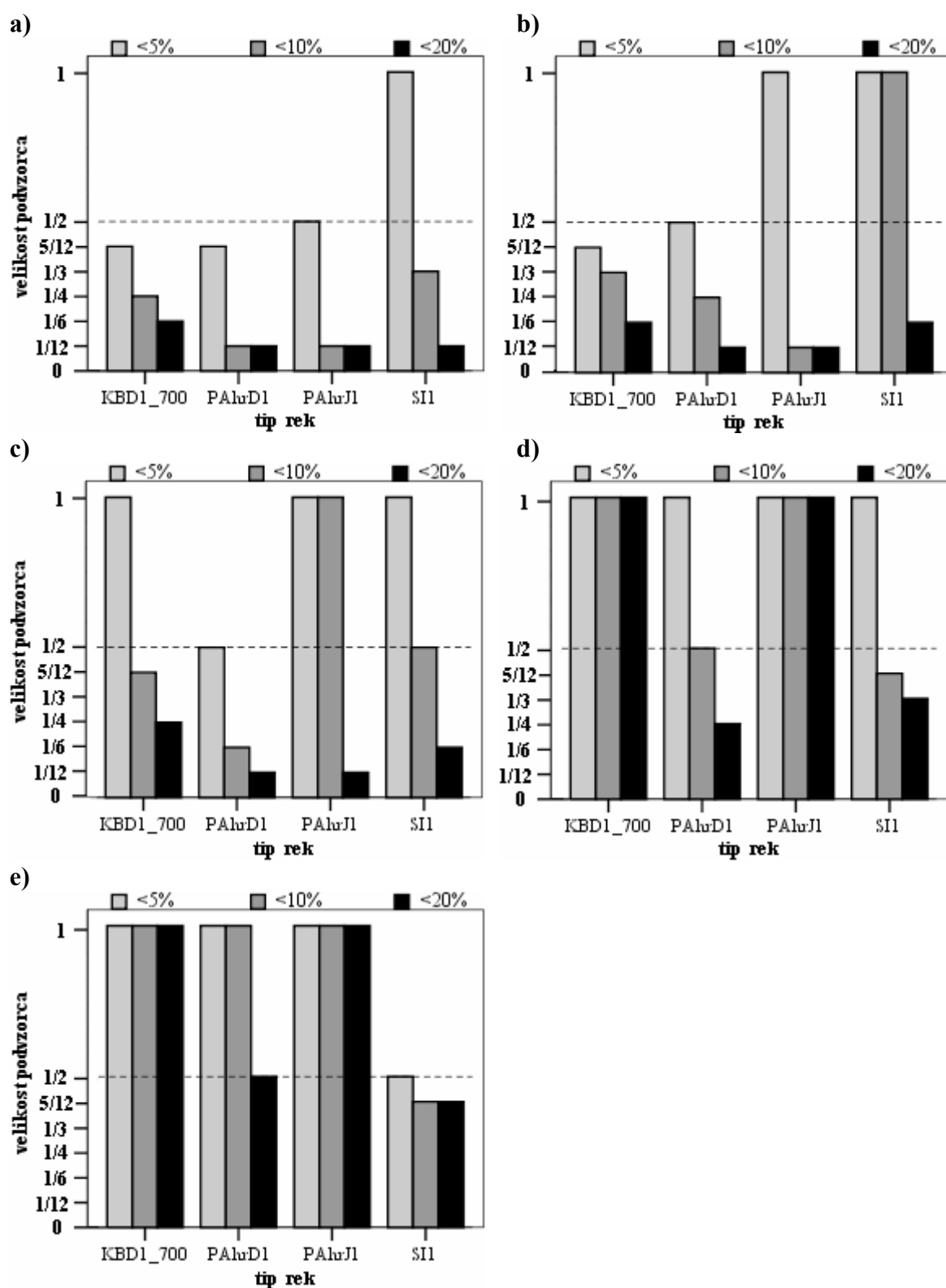
	KBD1_700	PAhrD1	PAhrJ1	SI1
KBD1_700				
PAhrD1	0,933(**)			
PAhrJ1	0,915(**)	0,969(**)		
SI1	0,909(**)	0,945(**)	0,955(**)	

4.2.3.1 Variabilnost izbranih metrik skupine rd (bogastvo/pestrost) znotraj tipov rek

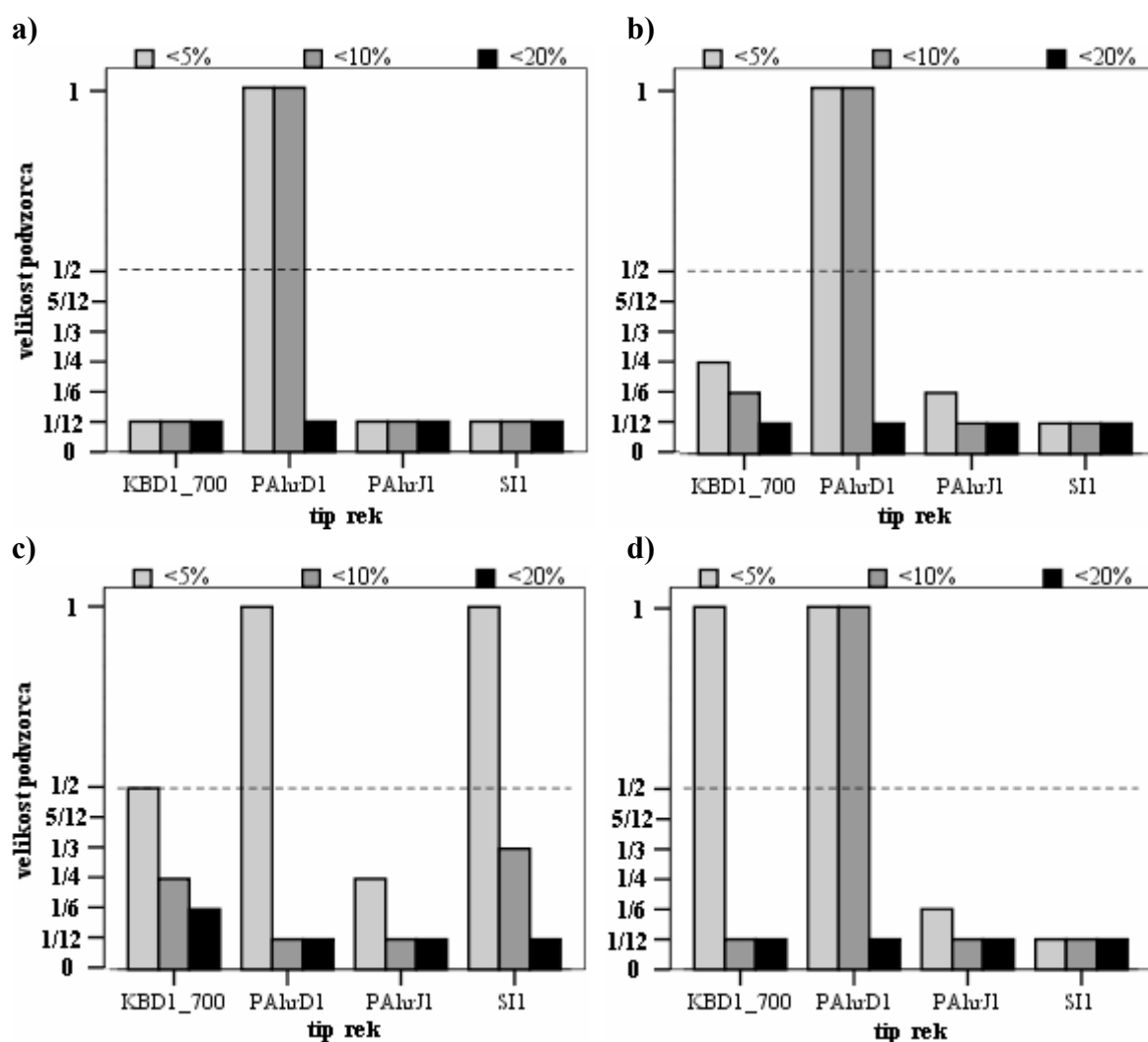
Koeficient variacije (CV) izbranih metrik se razlikuje glede na tip rek. Opazna pa je tudi razlika med dvema tipoma metrik, ki se tu pojavljata. Pri metrikah števila izbranih taksonov (slika 24) je variabilnost večja kot pri diverzitetnih indeksih (DI; slika 25).

Pri DI je večinoma dovolj 1/4 vzorca, da dosežemo CV <10%. Izjema je tip PAhrD1, pri katerem za CV <10% večinoma ni dovolj niti 1/2 vzorca. Pri metrikah števila izbranih taksonov pa z 1/4 vzorca večinoma še ne dosežemo CV <10%.

Veliko variabilnost opazimo pri metrikah število taksonov Coleoptera (slika 24d) in število taksonov Oligochaeta (slika 24e).



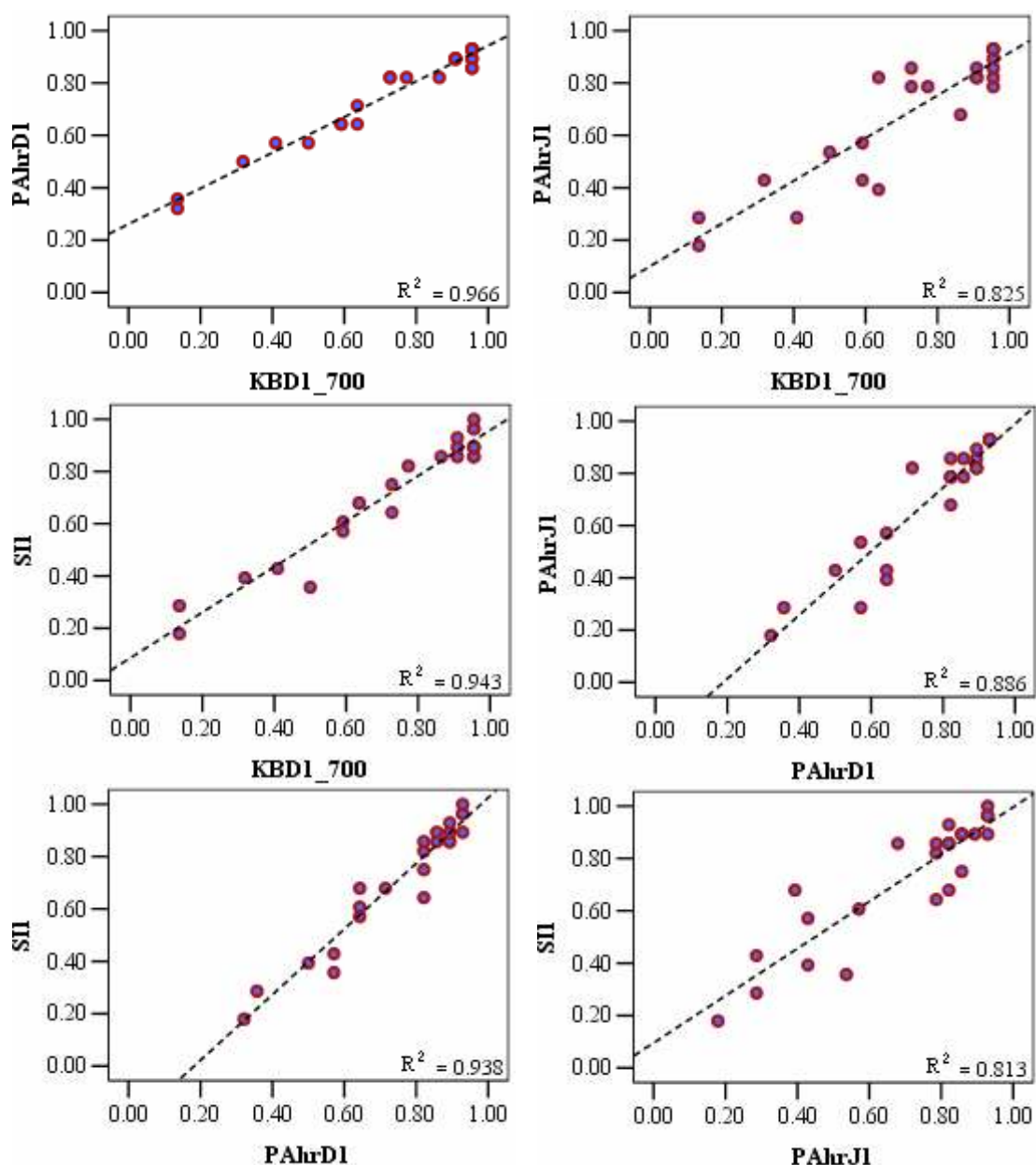
Slika 24. Pregled najmanjših velikosti podzorca, potrebnega za doseganje koeficienta variacije (CV) <5%, <10% ali <20% za izbrane tipe rek za metrike: a – število taksonov, b – število EP taksonov, c – število EPT taksonov, d – število taksonov Coleoptera, e – število taksonov Oligochaeta.



Slika 25. Pregled najmanjših velikosti podzorca, potrebnega za doseganje koeficienta variacije (CV) <5%, <10% ali <20% za izbrane tipe rek za metrike: a – Simpsonov diverzitetni indeks, b – Shannon-Wienerjev diverzitetni indeks, c – Margalefov diverzitetni indeks, d - Evenness.

4.2.4 Variabilnost metrik skupine st (občutljivost/tolerantnost) znotraj tipov rek

Pri primerjavi deležev metrik skupine st pri enako velikih podvzorcih in razredih koeficienta variacije (CV) opazimo razlike med posameznimi tipi rek (slika 26). Veliko vrednosti je blizu 1, največ pri SI1 in PAhrD1. Najvišjo vrednost opazimo pri tipu SI1 (1,000), najnižjo pa pri KBD1_700 (0,136).



Slika 26. Primerjava deležev metrik skupine st (občutljivost/tolerantnost) pri enako velikih podvzorcih (1/12, 1/6, 1/4, 1/3, 5/12, 1/2) in velikostnih razredih koeficienta variacije (CV) med tipi rek hidroekoregije Alpe. Označena je regresijska premica in korelacijski koeficient (R^2).

Izračunali smo tudi Spearmanov koeficient korelacije in korelacijski koeficient R^2 med posameznimi tipi rek. Vsi Spearmanovi korelacijski koeficienti so statistično značilni (preglednica 23). Najvišji koeficient je med PAhrD1 in SI1 (0,955), najnižji pa med KBD1_700 in PAhrJ1 (0,864). Najvišji korelacijski koeficient R^2 pa je med tipoma PAhrD1 in KBD1_700 (slika 26; $R^2=0,966$), najnižji pa med SI1 in PAhrJ1 ($R^2=0,813$).

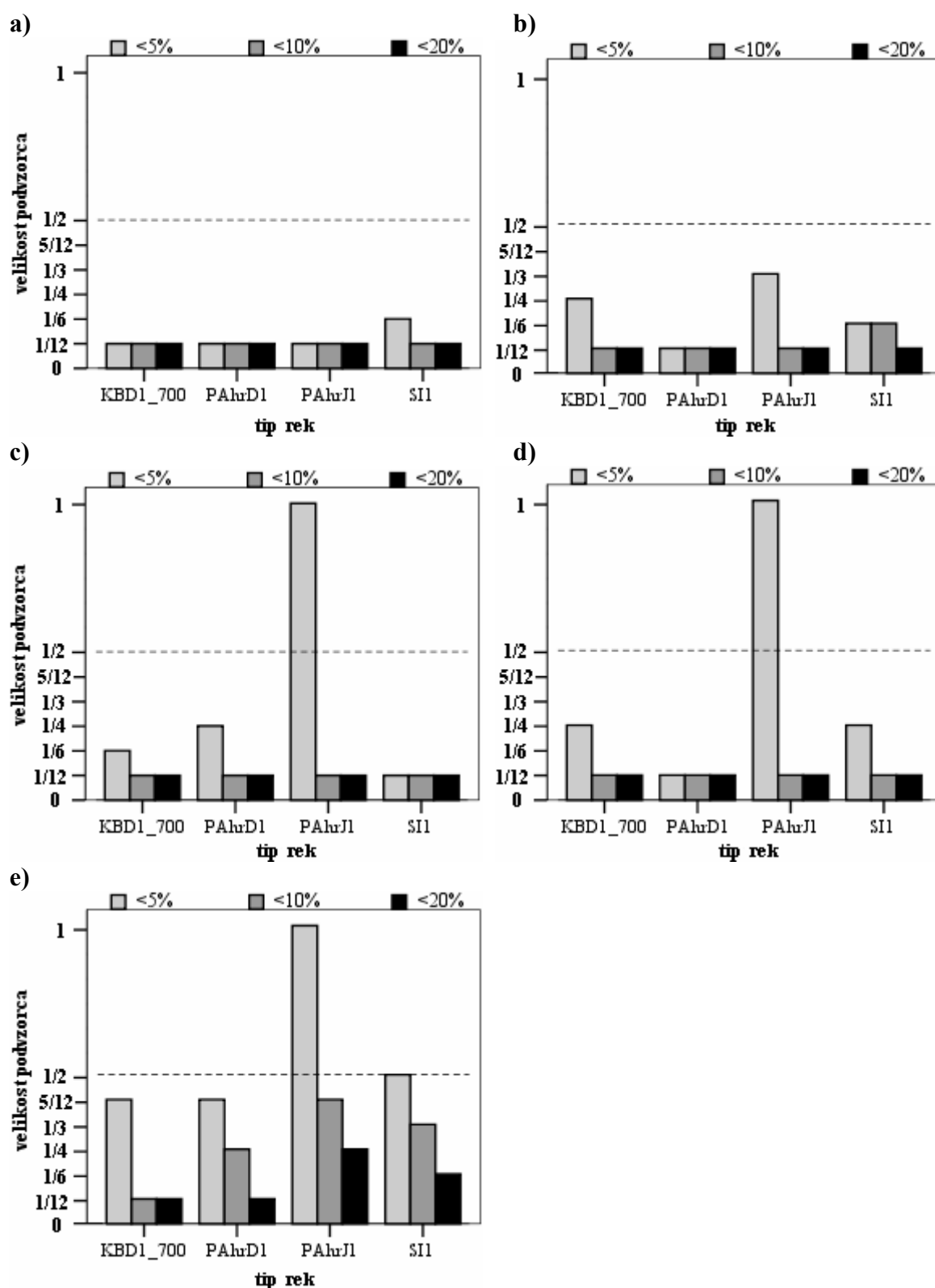
Preglednica 23. Korelacija tipov rek (Spearmanov Rho koeficient) glede na deleže metrik skupine st (občutljivost/tolerantnost) pri enako velikih podvzorcih (1/12, 1/6, 1/4, 1/3, 5/12, 1/2) in velikostnih razredih koeficienta variacije (CV). **p < 0,01

	KBD1_700	PAhrD1	PAhrJ1	SI1
KBD1_700				
PAhrD1	0,939(**)			
PAhrJ1	0,864(**)	0,923(**)		
SI1	0,924(**)	0,955(**)	0,892(**)	

4.2.4.1 Variabilnost izbranih metrik skupine st (občutljivost/tolerantnost) znotraj tipov rek

Koeficient variacije (CV) se razlikuje glede na tip rek. Za metrike te skupine je značilna nizka variabilnost (slika 27). Večinoma zadostuje že 1/12 vzorca, da dobimo vrednost CV <10% in 1/4 vzorca za CV <5%. Izjemna je metrika GFI 5 (slika 27e), ki je precej variabilna, saj je pri tipu PAhrJ1 potrebno 5/12 vzorca, da pade CV <10%.

Najmanjšo variabilnost opazimo pri tipu PAhrD1, največjo pa pri PAhrJ1, vendar razlika ni velika.



Slika 27. Pregled najmanjših velikosti podzorca, potrebnega za doseganje koeficienta variacije (CV) <5%, <10% ali <20% za izbrane tipe rek za metrike: a – SIG3, b – ASPT, c – GFI (German fauna index) 2.1, d – GFI 2.2, e – GFI 5.

5. Razprava

5.1 Metodološki pristop

Eden od ciljev Vodne direktive (Direktiva 2000/60/ES) je doseganje dobrega ekološkega stanja za vsa površinska vodna telesa do konca leta 2015. V okviru tega mora vsaka članica Evropske unije izdelati metodologijo za vrednotenje in monitoring stanja vodnega okolja tudi na podlagi bentoških nevretenčarjev. V Sloveniji uporabljamo multihabitatno vzorčenje (Urbanič s sod., 2005). Do sedaj je bilo potrebno pregledati 1/2 vzorca, kar pa je po ugotovitvah Lorenza s sod. (2004b) predolgotrajno za namene monitoringa.

Namen naše raziskave je bil ugotoviti vpliv velikosti podvzorca na variabilnost metrik. Zato smo skušali izločiti vse ostale možne dejavnike, ki bi lahko vplivali na variabilnost metrik. Tako smo izločili vsa vzorčna mesta, kjer je bila prevelika organska obremenitev ($SIG3 > 1,8$), pa tudi vsa hidromorfološko preveč preoblikovana mesta (po kriterijih Urbanič in Smolar-Žvanut, 2005). Da bi lahko primerjali podatke med tipi rek ali celo hidroekoregijo, smo podatke standardizirali.

Vzorci za našo raziskavo so bili pobrani med julijem in septembrom. Zato moramo dopustiti možnost, da je k variabilnosti metrik prispevala tudi sezona. Vendar nekateri avtorji navajajo, da v tem letnem obdobju sezona ne vpliva na število organizmov, število taksonov, % EPT taksonov, ASPT ali saprobni indeks (Vlek s sod., 2006). S tem se strinja tudi Urbanič s sod. (2006), ki je ugotovil da slovenska verzija saprobnega indeksa SIG3 med to sezono ne kaže očitnih razlik.

Na razpolago smo imeli dokaj majhno število podatkov za posamezne velikosti podvzorcev, zato smo izračunali vse možne kombinacije z danimi podvzorci (dvakrat 1/12 in dvakrat 1/6) za posamezno vzorčno mesto. Vendar pa smo s tem dobili različno število kombinacij za različne velikosti podvzorcev, kar lahko delno vpliva na variabilnost metrik. Prav tako na variabilnost metrik vpliva različno število vzorčnih mest, zajetih v določen tip reke.

5.2 Variabilnost metrik v hidroekoregiji Alpe

Pri obravnavi vzorčnih mest celotne hidroekoregije (HE) Alpe smo opazili, da se pri vseh skupinah metrik variabilnost metrik (koeficient variacije – CV) zmanjšuje z večanjem podvzorca. Pri metrikah skupine ca (sestava/številčnost) smo opazili največjo variabilnost. Določenemu deležu metrik (0,389) že pri majhnih velikostih podvzorca (1/6) CV pade <20%, ostalim metrikam pa niti pri 1/2 vzorca. Od posebj obravnavanih metrik moramo le pri metriki %EPT taksonov pregledati manj kot 1/2 vzorca za zagotovitev CV <20%, a ne za CV <10%. Vse obravnavane metrike skupine ca predstavljajo deleže izbranih taksonov v združbi. V to skupino sicer uvrščamo še metrike števila osebkov določenih taksonov, a jih zaradi splošne neuporabljivosti in velikih CV nismo podrobneje obravnavali. Nekateri avtorji ugotavljajo (Lorenz s sod., 2004b; Clarke s sod., 2006), da so metrike skupine ca odvisne od številčnosti izbranih taksonov, katero že velikost podvzorca omejuje, in zato bolj variabilne od metrik, ki temeljijo na relativnih številčnostih (npr. metrike skupine f). Enak trend se je pokazal tudi v naši raziskavi..

Pri metrikah skupine f (delovanje) opazimo stalno naraščanje deleža metrik z nižjim CV. Pri 1/2 pregledanega vzorca dosežejo te metrike skoraj dvakrat večji delež s CV <20% (0,717) kot metrike skupine ca, pa tudi s CV <10% (0,450, metrike skupine ca pa 0,278). Vendar smo pri obravnavi zajeli večje število metrik skupine f, zato je število metrik s takim deležem še toliko večje od števila metrik skupine ca. Metrike skupine f lahko razdelimo v več skupin glede na preučevano funkcijo združbe (Schmidt-Kloiber s sod., 2006). Najbolj raziskane so metrike deležev prehranskih skupin, zato smo tudi obravnavali največ metrik iz te skupine. Od štirih izbranih so tri tudi predlagane za multimetrijske indekse za vrednotenje hidromorfološke spremenjenosti rek hidroekoregije Alpe (v nadaljevanju VHS Alpe; Urbanič in Tavzes, 2006). Od teh sta metriki %gatherers/collectors in %gatherers/collectors* glede na nizko variabilnost primerni za celo HE Alpe, saj že s pregledano 1/6 vzorca dosežemo CV <10%. Prav tako je z metriko %grazers&scrapers. Metrika %XSAP (ksilofagi + drobilci + aktivni filtratorji + pasivni filtratorji) pa ima precej večjo variabilnost, saj tudi s pregledano 1/2 vzorca CV ne pade <10%. Poleg obravnavanih prehranskih skupin pade CV <10% še metrikam %RP, ki predstavlja preferenco do toka, % hiporital, ki predstavlja preferenco do regije reke in

%A+L+P (akal + lital + psamal), ki predstavlja preferenco do mikrohabitata. Slednja je tudi predlagana za VHS Alpe.

Pri metrikah skupine rd (bogastvo/pestrost) se prav tako kot pri metrikah skupine f stalno večja delež metrik z manjšim CV. Vendar pri teh dosežemo z 1/2 pregledanega vzorca delež metrik s CV <20% 0,941 in s CV <10% 0,706, kar je več kot pri ostalih skupinah, vendar je teh metrik precej manj kot metrik skupine f. Podrobneje obravnavane metrike skupine rd lahko delimo na 2 skupini – diverzitetni indeksi (DI) in metrike števila taksonov. Pri DI smo opazili, da se povprečna vrednost z zmanjševanjem podvzorca ne spreminja veliko – da torej velikost podvzorca na povprečno vrednost ne vpliva; pri metrikah števila taksonov pa se povprečna vrednost z zmanjševanjem podvzorca zmanjšuje in tako oddaljuje od prave vrednosti. Vendar je nas zanimala predvsem variabilnost, ki se z večanjem podvzorca zmanjšuje pri obeh skupinah. Od obravnavanih metrik imajo vsi DI nizko variabilnost, pri večini že z 1/12 vzorca dosežemo CV <10%. Od metrik števila taksonov pa so boljše metrike število taksonov, število EPT taksonov in število EP taksonov, pri katerih z največ 5/12 vzorca dosežemo CV <10%. Slednja je tudi predlagana za VHS Alpe. Prav tako sta za določene tipe VHS Alpe predlagani tudi metriki število taksonov Coleoptera in število taksonov Oligochaeta, naš rezultat pa kaže precejšnjo variabilnost (za slednjo niti z 1/2 vzorca ne zagotovimo CV <20%).

Pri metrikah skupine st (občutljivost/tolerantnost) opazimo pri večini majhno variabilnost. Že pri manj kot 1/2 vzorca veliko metrik (0,765) doseže CV <10%. Pri večini podrobneje obravnavanih metrik že z 1/12 vzorca zagotovimo CV <10%, z 1/2 pa tudi CV <5%. Izjema je le metrika GFI 5, pri kateri je za doseganje CV < 10% potrebno pregledati več vzorca (1/2) kot pri ostalih metrikah te skupine.

Pri obravnavanih metrikah lahko zasledimo dva vzorca odziva glede na večanje podvzorca. Pri večini metrik velikost podvzorca ne vpliva bistveno na povprečno vrednost metrik, leta ostaja relativno stalna. Standardna deviacija (SD) pa se z večanjem podvzorca zmanjšuje, kar pomeni da se variabilnost (CV) zmanjšuje. Pri skupini metrik števila taksonov ter Margalefovem DI pa se povprečna vrednost z večanjem podvzorca večja, SD

pa se prav tako zmanjšuje. Pri vrednotenju ta povprečna vrednost (torej delež vrednosti pri celem vzorcu) ni tako pomembna, saj moramo meje razredov vedno kalibrirati glede na realne vrednosti – torej glede na vrednosti pri izbrani velikosti podvzorca (Vlek s sod., 2006). Bolj pomembna je variabilnost, saj je z večjo variabilnostjo večja možnost napake – prekrivanja med kakovostnimi razredi in tako uvrščanja v napačen kakovosti razred. Za mero variabilnosti smo uporabili koeficient variacije (CV). Prav pri skupini metrik števila taksonov pa moramo biti pazljivi pri interpretaciji, saj pri teh metrikah povprečna vrednost bolj vpliva na CV. Ker se povprečje z manjšanjem podvzorca manjša, se CV povečuje – bolj kot če se povprečje skoraj ne spreminja. CV je zato lahko pri teh metrikah v primerjavi z drugimi nekoliko precenjen.

5.3 Variabilnost metrik znotraj tipov rek hidroekoregije Alpe

Glede na to, da je variabilnost metrik znotraj hidroekoregije Alpe še vedno velika kljub kriterijem za izločitev vzorčnih mest, ki nimajo dobrega ekološkega stanja, smo se odločili obravnavati variabilnost metrik še znotraj nekaterih tipov rek hidroekoregije Alpe. Prav tako Vodna direktiva (Direktiva 2000/60/ES) zahteva oceno kakovosti voda po tipih rek, kar je v državah članicah že v uporabi ali vsaj v pripravi (Aqem consortium, 2002). Tipi rek namreč še bolje opredelijo okoljske razmere, ki določajo združbo reke. Tako bi lahko pričakovali, da je variabilnost metrik znotraj tipov manjša kot znotraj hidroekoregije.

Razlike med tipi so odvisne od obravnavane skupine metrik in posamezne metrike. Variabilnost znotraj tipov rek je bila manjša kot znotraj hidroekoregije pri metrikah skupine st in za večino tipov tudi pri metrikah skupine f, kjer so bili tudi deleži metrik precej podobni med tipi. Največjo raznolikost med tipi smo opazili pri metrikah skupine rd, kjer pa je imel le tip SI1 višje deleže metrik kot HE Alpe. Po naših rezultatih torej variabilnost metrik znotraj tipov ni vedno manjša kot znotraj hidroekoregije Alpe.

Najmanjšo variabilnost opazimo pri metrikah skupine st. Že z 1/12 vzorca tu večinoma dosežemo $CV < 10\%$. Izjema je le GFI 5, pri katerem je potrebno za primerljiv CV pregledati od 1/12 (tip KBD1_700) do 5/12 (tip PahrJ1) vzorca. GFI smo preizkusili, saj je

za VHS Alpe večine tipov predlagan eden izmed njih, največkrat prav GFI 5. To so nemški indeksi, ki temeljijo na organizmih, občutljivih na hidromorfološko spremenjenost za posamezen tip reke (Lorenz s sod., 2004a). Za naše tipe HE Alpe je najbolj uporaben GFI 5 (Urbanič in Tavzes, 2006), vendar od obravnavanih kaže največjo variabilnost. Prav tako sta imela SIG3 in ASPT pri vseh tipih zelo majhno variabilnost (le 1/12 vzorca potrebna za $CV < 10\%$ in večinoma tudi za $CV < 5\%$). Za obe metriki je znano, da se dobro odzivata na človeški vpliv – predvsem na organsko onesnaženje (Urbanič s sod., 2006; Vlek s sod., 2006). ASPT in različice saprobnega indeksa so v uporabi v multimetrijskih indeksih v Avstriji, Nemčiji, Italiji, na Češkem, Madžarskem, Nizozemskem in Švedskem (Vlek s sod., 2006).

Večina metrik skupin f in rd kaže srednjo variabilnost. Velikost podvzorca, s katero zagotovimo $CV < 10\%$ pri izbranem tipu reke, je čisto odvisna od izbrane metrike. Pri tipu PahrD1 z manj kot 1/2 vzorca dosežemo $CV < 10\%$ le pri metriki %grazers&scrapers izmed metrik deležev prehranskih skupin. Pri ostalih tipih dosežemo primerljiv CV tudi z drugimi metriki. Lorenz s sod. (2004b) prav tako ugotavlja majhno variabilnost metrik %grazers&scrapers in %gatherers/collectors tudi pri majhnih vzorcih (200 osebkov). Majhno variabilnost kažejo tudi metrike %A+L+P in %RP pa tudi %hiporital in za določene tipe %hipokrenal, njihov odziv na človeški vpliv pa je potrebno še podrobneje raziskati. Trenutno se %RP uporablja v Nemčiji, na Madžarskem in Nizozemskem, %A+L+P pa v Nemčiji. Slednja je tudi predlagana za VHS Alpe. Metrike skupine f so zelo odvisne od količine avtekoloških podatkov za izbrano taksonomsko skupino – več kot jih je, bolj so natančne. Nekateri avtorji (Rawer-Jost s sod., 2000) ugotavljajo neprimernost teh metrik za multimetrijske indekse. Vendar pa jih danes uporabljajo v veliko državah članicah EU. Hering s sod. (2004) ugotavlja precej dober odziv nekaterih metrik skupine f na človeški vpliv, npr. %grazers&scrapers in %gatherers/collectors, vendar je odziv zelo odvisen od tipa reke.

Vsi diverzitetni indeksi (DI) kažejo zelo majhno variabilnost (pri 1/12 vzorca $CV < 10\%$) pri večini tipov. Izjema je tip PahrD1, kjer ima le Margalefov DI nizko variabilnost. Hering s sod. (2004) ugotavlja največji odziv na človeški vpliv pri Shannon-Wienerjevem

DI, njegovo nizko variabilnost pa potrjuje tudi Lorenz s sod. (2004). Od metrik števila taksonov je najmanj variabilna prav število taksonov, srednje pa število EP taksonov in število EPT taksonov. Vse tri metrike se pogosto uporabljajo v multimetrijskih indeksih drugih držav (Aqem consortium, 2002), za naše razmere pa je največkrat predlagana število EP taksonov (Urbanič in Tavzes, 2006).

Največjo variabilnost opazimo pri metrikah skupine ca, ki tudi po tipih kažejo veliko variabilnost, še najmanj %EPT taksonov, %EP taksonov in %taksonov Plecoptera. Največja variabilnost je opazna pri tipu PahrD1, kjer le pri metriki %taksonov Trichoptera z manj kot 1/2 vzorca dosežemo CV <20%. Od obravnavanih metrik pa je najbolj variabilna %taksonov Oligochaeta, kjer z 1/2 vzorca pri nobenem tipu ne dosežemo CV <20%.

5.4 Vpliv velikosti podvzorca na variabilnost metrik

Optimalna velikost vzorca, ki zagotavlja najmanjšo variabilnost, je največji možni vzorec (Vlek s sod., 2006), torej v našem primeru cel vzorec. Vendar pa z učinkovitim multihabitatnim vzorčenjem v vzorec zajamemo zelo veliko materiala ter s tem tudi organizmov, katerih obdelava zahteva veliko časa in je za namene monitoringa, ki ga zahteva Vodna direktiva, predolgotrajna (Lorenz s sod., 2004b). Zato je potrebno zmanjšanje vzorca v laboratoriju. Različne raziskave predlagajo različne velikosti podvzorca. STAR/AQEM metodologija zahteva pregled 1/6 vzorca ali vsaj 700 osebkov (Aqem consortium, 2002), RBP metodologija pa 4/30 vzorca ali vsaj 200 osebkov (Barbour s sod., 1999).

Vendar pa z zmanjšanjem podvzorca metrike pridobivajo variabilnost. Lorenz s sod. (2004b) je zaznal zmanjšanje variabilnosti metrik s povečevanjem podvzorca (v tem primeru števila obdelanih organizmov), in sicer večje med podvzorci s 100 in 300 osebki kot s 300 in 700 osebki. Vendar ugotavlja, da je variabilnost metrik glede na velikost podvzorca odvisna od izbrane metrike ter tipa rek. Prav tako je Vlek s sod. (2006) ugotovil,

da je variabilnost metrik glede na velikost podvzorca odvisna od izbranega habitata in izbrane metrike.

Pri naši raziskavi smo opazili večanje variabilnosti metrik z manjšanjem podvzorca, vendar velikosti podvzorca, pri kateri bi večini obravnavanih metrik variabilnost (npr. $CV < 10\%$) izrazito upadla, ne moremo izbrati. Povečevanje variabilnosti glede na velikost podvzorca je namreč zelo odvisno od izbrane metrike in tipa rek. Pri veliko metrikah je opazna majhna variabilnost že pri 1/12 vzorca (npr. večina obravnavanih metrik skupine st), veliko metrik pa tudi z 1/2 vzorca ne doseže $CV < 20\%$. (veliko metrik skupine ca). Zato je pri izboru velikosti podvzorca za vrednotenje stanja vodnega okolja pomembno, katere metrike bomo izbrali za multimetrijski indeks in posebna obravnava vsakega tipa reke, kar so za določene tipe HE Alpe že naredili (Urbanič in Tavzes, 2006).

7. Povzetek

Kot člani Evropske unije moramo v Sloveniji uvesti Vodno direktivo (Direktiva 2000/60/ES). Razviti moramo svoj sistem vrednotenja ekološkega stanja površinskih voda na podlagi vseh elementov kakovosti, tudi na podlagi bentoških nevretenčarjev. Uporabljamo multihabitatno vzorčenje (Urbanič s sod., 2005), laboratorijska obdelava je podobna obdelavi, ki jo predlaga projekt AQEM (Aqem consortium, 2002), vendar je bil zaradi pomanjkanja ovrednotenja vpliva velikosti podvzorca na ekološko stanje podan predlog, da se pregleda 1/2 vzorca, kar je veliko več kot predlaga AQEM.

Namen naše raziskave je bil ugotoviti, kakšen je vpliv velikosti pregledanega podvzorca na izračunane vrednosti metrik in oceno ekološkega stanja voda. Zanimalo nas je tudi, ali ima velikost podvzorca različen vpliv na različne skupine metrik ter pri različnih tipih rek.

Za analizo smo izbrali 30 vzorčnih mest v hidroekoregiji (HE) Alpe, ki pripadajo 16 tipom rek. Za vsako vzorčno mesto smo dobili podatke o številu in taksonomski sestavi bentoških nevretenčarjev za velikost podvzorca 1/12, 1/6 in 1/2 in izračunali še podatke za 1/4, 1/3 in 5/12. Za vse velikosti podvzorcev smo izračunali metrike s programom ASTERICS 3.01 ter še slovensko verzijo saprobnega indeksa (SIG3, Urbanič s sod., 2006). Združili smo vrednosti metrik vseh vzorčnih mest v celi HE Alpe in po izbranih tipih rek.

Obravnavane metrike smo razvrstili v 4 skupine (sestava/številčnost (ca), delovanje (f), bogastvo/pestrost (rd) in občutljivost/tolerantnost (st)). Kot mero variabilnosti metrike smo uporabili koeficient variacije (CV) in glede na velikost CV metrike razvrstili v razrede. Izračunali smo relativne vrednosti števila metrik vsake skupine v posameznih razredih glede na vse obravnavane metrike te skupine. Izbrali smo tudi skupno 28 metrik iz vseh skupin za podrobnejšo analizo. Za vsako metriko smo preverili, pri kateri velikosti podvzorca pade vrednost CV v izbrani velikostni razred.

Pri obravnavanih metrikah lahko zasledimo dva vzorca odziva glede na večanje podvzorca. Pri večini metrik velikost podvzorca ne vpliva bistveno na povprečno vrednost metrik. Standardna deviacija (SD) pa se z večanjem podvzorca zmanjšuje, kar pomeni da se

variabilnost (CV) zmanjšuje. Pri skupini metrik števila taksonov ter Margalefovem DI pa se povprečna vrednost z večanjem podvzorca veča, SD in CV pa se prav tako zmanjšujeta.

Pri obravnavi vzorčnih mest celotne hidroekoregije (HE) Alpe smo opazili, da se pri vseh skupinah metrik variabilnost metrik zmanjšuje z večanjem podvzorca. Največjo variabilnost smo opazili pri metrikah skupine ca. Za >60% teh metrik je potrebno pogledati več kot 1/2 vzorca, da zagotovimo $CV < 20\%$. Najmanjšo variabilnost pa smo opazili pri metrikah skupine st. Že pri manj kot 1/2 vzorca veliko metrik (0,765) doseže $CV < 10\%$.

Najmanj variabilne so od metrik skupine ca - % EPT taksonov; skupine f - %gatherers/collectors, %gatherers/collectors*, %grazers&scrapers, %RP, %hiporitral in %A+L+P (akal+lital+psamal); skupine rd - vsi diverzitetni indeksi (DI) razen Margalefov DI (Shannon-Wienerjev DI, Simpsonov DI, Evenness) ter število taksonov; skupine st – SIG3 in ASPT.

Večinoma smo ugotovili manjšo variabilnost metrik pri izbrani velikosti podvzorca po posameznih tipih rek kot znotraj HE Alpe, vendar pa je variabilnost metrike odvisna od izbrane metrike ter tipa rek. Najmanjšo variabilnost pri tipih rek imajo metrike, ki so imele najmanjšo variabilnost pri HE Alpe. Izjemen primer so npr. diverzitetni indeksi pri tipu PahrD1, kjer ima nizko variabilnost le Margalefov DI. Nižjo variabilnost kot pri HE Alpe kažejo tudi metrike skupine ca, posebno %EPT taksonov, %EP taksonov in %taksonov Plecoptera.

Pri naši raziskavi smo torej opazili večanje variabilnosti metrik z manjšanjem podvzorca, vendar velikosti podvzorca, pri kateri bi večini obravnavanih metrik variabilnost (npr. $CV < 10\%$) izrazito upadla, ne moremo izbrati. Povečevanje variabilnosti glede na velikost podvzorca je namreč zelo odvisno od izbrane metrike in tipa rek. Zato je pri izboru velikosti podvzorca za vrednotenje stanja vodnega okolja pomembno, katere metrike bomo izbrali za multimetrijski indeks in posebna obravnava vsakega tipa rek.

7. Viri

7.1 Citirani viri:

Alba-Tercedor J., Sanchez-Ortega A. 1988. Un metodo rapido y simple para evaluar la calidad biologica de las aguas corrientes basado en el de Hellawell (1978). *Limnetica* 4: 51-56.

Armitage P.D., Moss D., Wright J.F., Furse M.T. 1983. The performance of a new biological water quality score system based on macroinvertebrates over a wide range of unpolluted running-water sites. *Water Res.* 17: 333-347.

Aqem consortium. 2002. Manual for the application of the AQEM system. A comprehensive method to assess European streams using benthic macroinvertebrates, developed for the purpose of the Water Framework Directive. Version 1.0, February 2002.

ARSO. Program spremljanja ekološkega in kemijskega stanja rek za leto 2007. (12. feb. 2007)

http://www.arso.gov.si/podro~cja/vode/programi/program_reke_2007.pdf

ASTERICS, Version 3.01. 2006. Deutsches Bewertungssystem auf Grundlage des Makrozoobenthos. Software-Handbuch für die deutsche Version

http://www.fliessgewaesser-bewertung.de/downloads/asterics_handbuch_3_0.pdf

Banning M. 1998. Auswirkungen des Aufstaus größerer Flüsse auf das Makrozoobenthos dargestellt am Beispiel der Donau. *Essener ökologische Schriften* 9. Westarp-Wiss., Hohenwarsleben.

Barbour, M.T., J. Gerritsen, B.D. Snyder, and J.B. Stribling. 1999. Rapid Bioassessment Protocols for Use in Streams and Wadeable Rivers: Periphyton, Benthic Macroinvertebrates and Fish, Second Edition. EPA 841-B-99-002. U.S. Environmental Protection Agency; Office of Water; Washington, D.C.
<http://www.epa.gov/OWOW/monitoring/techmon.html>

Biss R., Kubler P., Pinter I., Braukmann U. 2002. Leitbildbezogenes biologisches Bewertungsverfahren für Fließgewässer (aquatischer Bereich) in der Bundesrepublik Deutschland – Ein erster Beitrag zur integrierten ökologischen Fließgewässerbewertung – UBA-Texte 62/02 als CD-rom, Hrsg. Umweltbundesamt Berlin.

Braukmann U. 1997. Zoozöologische und saprobiologische Beiträge zu einer allgemeinen regionalen Bachtypologie. – Arch. Hydrobiol. Beih. 26, 2. Aufl.; Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart.

Braukmann U. 2000: Hydrochemische und biologische Merkmale regionaler Bachtypen in Baden-Württemberg. Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Oberirdische Gewässer, Gewässerökologie 56, 501str.

Braukmann U. Biss R. 2004. Conceptual study – An improved method to assess acidification in German streams by using benthic macroinvertebrates. Limnologica 34 (4): 433-450.

Brunke M. 2004. Stream typology and lake outlets – a perspective towards validation and assessment from northern Germany (Schleswig-Holstein) – Limnologica 34: 460-478.

Buffagni A. 1997. Mayfly community composition and the biological quality of streams. In: Landolt P. & M. Sartori (ed.). Ephemeroptera & Plecoptera: Biology-Ecology-Systematics, MTL, Fribourg. 235-246.

Buffagni A. 1999. Pregio naturalistico, qualità ecologica e integrità della comunità degli Efemerotteri. Un indice per la classificazione dei fiumi italiani. *Acqua & Aria* 8: 99-107.

Buffagni A. et al. 2002. Gli Efemerotteri e la qualità ecologica dei corsi d'acqua. *Quad. Ist. Ric. Acque* (In preparation).

Clarke R.T., Lorenz A., Sandin L., Schmidt-Kloiber A., Strackbein J., Kneebone N.T., Haase P. 2006. Effects of sampling and sub-sampling variation using the STAR-AQEM sampling protocol on the precision of macroinvertebrate metrics. *Hydrobiologia* 566: 441-459

De Pauw N., Ghetti P.F., Manzini D.P., Spaggiari D.R. SPAGGIARI 1992. Biological assessment methods for running water. In: *River Water Quality. Ecological Assessment and Control.* (eds. P.J. Newman, M.A. Piavaux & R.A. Sweeting), Commission of the European Communities, EUR 14606 En-Fr, 217-248.

De Pauw N., Vanhooren G. 1983. Method of biological quality assessment of watercourses in Belgium. *Hydrobiologia* 100: 153-168.

DEV (Deutsches institut für normung e.v.). 1992. Biologisch-ökologische Gewässergüteuntersuchung: Bestimmung des Saprobienindex (M2). Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasserund Schlammuntersuchung. VCH Verlagsgesellschaft mbH, Weinheim: 1-13.

Direktiva 2000/60/ES evropskega parlamenta in sveta z dne 23. oktobra 2000. Bruselj, 72 str.

Ghetti P.F. 1997. Manuale di applicazione Indice Biotico Esteso (I.B.E.). I macroinvertebrati nel controllo della qualità degli ambienti di acque correnti. Provincia Autonoma di Trento, Agenzia provinciale per la protezione dell'ambiente.

Henrikson L., Medin M. 1986. Biologisk bedömning av försurningspåverkan på Lelångens tillflöden och grundområden 1986. Aquaekologerna, Rapport till länsstyrelsen i Älvsborgs län.

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. *Limnologia* 34: 398-415

Johnson R.L., Harp G.L. 2005. Spatio-temporal changes of benthic macroinvertebrates in a cold Arkansas tailwater. *Hydrobiologia* 537: 15-24

Karr J.R., Chu E.W. 1999. Restoring life in running waters: better biological monitoring. Island Press, Washington DC: 1-200

Lorenz A., Hering D., Feld C.K., Rolauuffs P. 2004a. A new method for assessing the impact of hydromorphological degradation on the macroinvertebrate fauna of five German stream types. *Hydrobiologia* 516: 107-127

Lorenz A., Kirchner L., Hering D. 2004b. 'Electronic subsampling' of macrobenthic samples: how many individuals are needed for a valid assessment result? *Hydrobiologia* 516: 299-312

Margalef R. 1984. The Science and Praxis of Complexity. Ecosystems: Diversität and Connectivity as measurable components of their complication. In Aida, et al. (Ed.). United Nations University, Tokyo. 228-244.

Meier C., Böhmer J., Biss R., Feld C., Haase P., Lorenz A., Rawer-Jost C., Rolauffs P., Schindehutte K., Scholl F., Sundermann A., Zenker A., Hering D. 2006. Weiterentwicklung und Anpassung des nationalen Bewertungssystems für Makrozoobenthos an neue internationale Vorgaben. Abschlussbericht im Auftrag des Umweltbundesamtes, unveröffentlicht.

<http://www.fliessgewaesserbewertung.de> [Stand Mai 2006].

Moog O. (Ed.) 1995. Fauna Aquatica Austriaca. 1. Auflage, Wasserwirtschaftskataster, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Wien.

Moog O., Chovanec A., Hinteregger J., Römer A. 1999. Richtlinie zur Bestimmung der saprobiologischen Gewässergüte von Fließgewässern. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Wien.

MOPE. 2006. Monitoring kakovosti površinskih vodotokov v Sloveniji v letu 2004. (6. okt. 2006)

http://www.arso.gov.si/podrocja/vode/porocila_in_publikacije/povrsinski_2004.pdf

Rawer-Jost C., Böhmer J., Blank J., Rahmann H. 2000. Macroinvertebrate functional feeding group methods in ecological assessment. *Hydrobiologia* 422/423: 225-232

Rolauffs P., Hering D., Sommerhäuser M., Jähniß G.S. Rödiger S. 2003. Leitbildorientierte biologische Fließgewässerbewertung zur Charakterisierung des Sauerstoffhaushaltes. Umweltbundesamt Texte 11/03: 137 str.

Sandin L., Friberg N., Furse M. T., Clarke R., Larsen S. 2004. 8th STAR deliverable. Inter-calibration and harmonisation of invertebrate methods, A project under the 5th framework programme energy, environment and sustainable development.

<http://www.eu-star.at/pdf/Deliverable8.pdf>

- Sandin L., Hering D., Buffagni A., Lorenz A., Moog O., Rolauffs P., Stubauer I. 2001. 3rd STAR deliverable. Experiences with different stream assessment methods and outlines of an integrated method for assessing streams using benthic macroinvertebrates: 5-12
- Schmedtje U., Colling M. 1996. Ökologische Typisierung der aquatischen Makrofauna. Informationsberichte des Bayerischen Landesamtes für Wasserwirtschaft 4/96.
- 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
- Schöll F., Haybach A., König B. 2005. Das erweiterte Potamontypieverfahren zur ökologischen Bewertung von Bundeswasserstraßen (Fließgewässertypen 10 und 20: kies- und sandgeprägte Ströme, Qualitätskomponente Makrozoobenthos) nach Maßgabe der EU-Wasserrahmenrichtlinie. *Hydrologie und Wasserwirtschaft* 49 (5): 234 – 247.
- Schweder H. 1992. Neue Indices für die Bewertung des ökologischen Zustandes von Fließgewässern, abgeleitet aus der Makroinvertebraten-Ernährungstypologie. *Limnologie Aktuell* 3: 353-377.
- Shannon C.E., Weaver W. 1949. *The Mathematical Theory of Communication*. The University of Illinois Press, Urbana, IL.
- Simpson E.H. 1949. Measurement of Diversity. *Nature* 163, 688.
- Skriver J., Friberg N., Kirkegaard J. 2001. Biological assessment of running waters in Denmark: introduction of the Danish Stream Fauna Index (DSFI). *Verhandlungen der Internationale Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie*, 27(4): 1822-1830.

Urbanič G. 2006. Dopolnitve v razmejitvi hidroekoregij in bioregije celinskih voda Slovenije. V: Urbanič, G. (2006). Dodelava tipizacije za reke in jezera. Poročilo o delu v letu 2006. Inštitut za vode RS, Ljubljana, str. 12-19.

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

Urbanič G., Tavzes B., Toman M.J., 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. Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo, Ljubljana

Urbanič G., Tavzes B. 2006. Vrednotenje hidromorfološke spremenjenosti rek v hidroekoregiji Alpe v Sloveniji na podlagi bentoških nevretenčarjev v skladu z zahtevami Vodne direktive (Direktiva 2000/60/ES). Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo, Ljubljana

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

Urbanič G., Smolar-Žvanut N. 2005. Kriteriji za izbor referenčnih mest. V: Urbanič G. (ur.) Ekološko stanje za reke in jezera, poročilo o delu v letu 2005. Inštitut za vode Republike Slovenije, Ljubljana, str. 19-25.

Petkovska V. Vzorčenje vodnih makroinvertebratov – reprezentativnost podvzorcev.

Dipl. delo. Ljubljana, Univ. v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Odd. za biologijo, 2007

The AQEM sampling method to be applied in STAR. (15. jul. 2006)

<http://www.eu-star.at/pdf/AqemMacroinvertebrateSamplingProtocol.pdf>

Vlek H. E., Šporka F., Krno I. 2006. Influence of macroinvertebrate sample size on bioassessment of streams. *Hydrobiologia* 566: 523–542

WFD CIS Guidance Document No 7. 2003. Monitoring under the Water Framework Directive. Published by the Directorate General Environment of the European Commission, Brussels. ISBN 92-894-5127-0. ISSN 1725-1087: 35-44

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorju, prof. dr. Mihaelu J. Tomanu, za strokoven pregled in nasvete pri pisanju diplomskega dela.

Prof. dr. Danijelu Vrhovšku se zahvaljujem za pregled diplomskega dela.

Najlepša hvala vsem osebam nežnejšega spola, ki so mi s svojim delom na projektu pomagale dobiti podatke za izvedbo diplomske raziskave.

Posebna zahvala gre Gorazdu, brez katerega verjetno ne bi dokončala te diplome, sploh pa ne v tako dobri obliki. Hvala ti za vsestransko pomoč in tiho spodbudo v trenutkih, ko so mi padle ambicije.

Hvala tudi vsem prijateljem, ki ste bili ob meni.

In nenazadnje hvala mami, tatu in bratu, da ste uspeli prenašati moje izbruhe slabe volje tekom študija in izdelave diplome.

Priloga A

Deleži metrik posameznih skupin pri različnih velikostih podvzorca za obravnavane razrede in tipe rek

Preglednica 24. Deleži metrik skupine ca (sestava/številčnost) pri različnih velikostih podvzorca za obravnavane razrede in tipe rek.

razred	velikost podvzorca tip vodotoka	1/12	1/6	1/4	1/3	5/12	1/2
<5%	KBD1_700	0,000	0,000	0,000	0,000	0,111	0,056
	PAhrD1	0,000	0,000	0,000	0,000	0,095	0,143
	PAhrJ1	0,000	0,042	0,042	0,125	0,125	0,125
	SI1	0,000	0,000	0,050	0,100	0,250	0,250
<10%	KBD1_700	0,000	0,056	0,167	0,278	0,389	0,333
	PAhrD1	0,000	0,048	0,143	0,143	0,238	0,190
	PAhrJ1	0,042	0,125	0,375	0,292	0,375	0,375
	SI1	0,000	0,100	0,250	0,350	0,550	0,500
<15%	KBD1_700	0,000	0,278	0,333	0,333	0,444	0,444
	PAhrD1	0,143	0,143	0,190	0,333	0,333	0,333
	PAhrJ1	0,250	0,292	0,500	0,500	0,583	0,458
	SI1	0,000	0,250	0,550	0,550	0,700	0,700
<20%	KBD1_700	0,111	0,333	0,500	0,500	0,667	0,556
	PAhrD1	0,143	0,190	0,333	0,333	0,381	0,333
	PAhrJ1	0,375	0,458	0,500	0,500	0,583	0,583
	SI1	0,100	0,500	0,700	0,700	0,900	0,850

Preglednica 25. Deleži metrik skupine f (delovanje) pri različnih velikostih podvzorca za obravnavane razrede in tipe rek.

razred	velikost podvzorca tip vodotoka	1/12	1/6	1/4	1/3	5/12	1/2
<5%	KBD1_700	0,045	0,091	0,182	0,182	0,288	0,288
	PAhrD1	0,101	0,130	0,145	0,159	0,145	0,145
	PAhrJ1	0,211	0,263	0,329	0,382	0,408	0,329
	SI1	0,135	0,135	0,176	0,203	0,392	0,284
<10%	KBD1_700	0,121	0,258	0,379	0,455	0,561	0,530
	PAhrD1	0,319	0,377	0,377	0,377	0,377	0,391
	PAhrJ1	0,447	0,461	0,553	0,579	0,658	0,566
	SI1	0,203	0,338	0,486	0,568	0,649	0,689
<15%	KBD1_700	0,227	0,439	0,576	0,606	0,712	0,712
	PAhrD1	0,449	0,478	0,536	0,580	0,580	0,580
	PAhrJ1	0,513	0,618	0,645	0,671	0,750	0,645
	SI1	0,284	0,554	0,662	0,757	0,797	0,838
<20%	KBD1_700	0,348	0,545	0,727	0,758	0,758	0,773
	PAhrD1	0,594	0,667	0,725	0,725	0,797	0,725
	PAhrJ1	0,632	0,671	0,750	0,737	0,803	0,789
	SI1	0,392	0,703	0,797	0,824	0,865	0,878

Priloga A-nadaljevanje

Preglednica 26. Deleži metrik skupine rd (bogastvo/pestrost) pri različnih velikostih podvzorca za obravnavane razrede in tipe rek.

razred	velikost podvzorca	1/12	1/6	1/4	1/3	5/12	1/2
	tip vodotoka						
<5%	KBD1_700	0,059	0,059	0,118	0,118	0,294	0,353
	PAhrD1	0,000	0,000	0,053	0,053	0,211	0,368
	PAhrJ1	0,050	0,150	0,250	0,250	0,250	0,450
	SI1	0,278	0,222	0,222	0,222	0,333	0,389
<10%	KBD1_700	0,118	0,176	0,412	0,588	0,765	0,765
	PAhrD1	0,158	0,316	0,421	0,474	0,526	0,632
	PAhrJ1	0,400	0,550	0,450	0,600	0,650	0,650
	SI1	0,444	0,333	0,333	0,556	0,667	0,778
<15%	KBD1_700	0,176	0,353	0,765	0,765	0,824	0,824
	PAhrD1	0,474	0,632	0,684	0,789	0,842	0,842
	PAhrJ1	0,550	0,650	0,650	0,750	0,750	0,700
	SI1	0,444	0,611	0,611	0,833	0,778	0,944
<20%	KBD1_700	0,176	0,647	0,824	0,824	0,824	0,824
	PAhrD1	0,632	0,737	0,842	0,842	0,842	0,895
	PAhrJ1	0,600	0,700	0,700	0,750	0,850	0,800
	SI1	0,444	0,778	0,778	0,944	0,944	1,000

Preglednica 27. Deleži metrik skupine st (občutljivost/tolerantnost) pri različnih velikostih podvzorca za obravnavane razrede in tipe rek.

razred	velikost podvzorca	1/12	1/6	1/4	1/3	5/12	1/2
	tip vodotoka						
<5%	KBD1_700	0,136	0,136	0,318	0,409	0,591	0,636
	PAhrD1	0,321	0,357	0,500	0,571	0,643	0,643
	PAhrJ1	0,179	0,286	0,429	0,286	0,429	0,393
	SI1	0,179	0,286	0,393	0,429	0,571	0,679
<10%	KBD1_700	0,500	0,591	0,727	0,864	0,955	0,909
	PAhrD1	0,571	0,643	0,821	0,821	0,857	0,893
	PAhrJ1	0,536	0,571	0,786	0,679	0,857	0,821
	SI1	0,357	0,607	0,643	0,857	0,893	0,929
<15%	KBD1_700	0,636	0,773	0,909	0,955	0,955	0,955
	PAhrD1	0,714	0,821	0,893	0,893	0,929	0,929
	PAhrJ1	0,821	0,786	0,821	0,821	0,929	0,929
	SI1	0,679	0,821	0,857	0,857	0,893	0,964
<20%	KBD1_700	0,727	0,955	0,909	0,955	0,955	0,955
	PAhrD1	0,821	0,857	0,893	0,893	0,929	0,929
	PAhrJ1	0,857	0,786	0,857	0,893	0,929	0,929
	SI1	0,750	0,857	0,893	0,893	0,964	1,000

Priloga B. Metrike posameznih skupin, zajete v analizo (označene s križcem - x) pri izbranih tipih rek (kode tipov vodotokov označujejo naslednje tipe: KBD1_700 - SI_4_KB-AL-D_1_>700, PAhrD1 - SI_4_PA-hrib-D_1_, PAhrJ1 - SI_4_PA-hrib-J_1_, SI1 - SI_4_SI-AL_1_; za razlago tipov glej poglavje 2.2.1) in celi hidroekoregiji (HE) Alpe s šifro (metrike, izbrane za podrobnejšo analizo) in virom. Za razlago oznak skupin metrik glej poglavje 2.4.2. AB: številčnost, aut: po avstrijskem seznamu taksonov, ac: pogostostni razred, DI: diverzitetni indeks, NT: število taksonov, *: scored taxa = 100%; pri virih (-): Program ASTERICS jih izračuna, vendar v priročniku za program metrika ni obrazložena.

Skupina metrik	Metrika	Šifra	Vir	Koda tipa vodotoka				
				HE Alpe	KBD1_700	PAhrD1	PAhrJ1	SI1
ca	Abundance [ind/m _l]		ASTERICS, 2006	x	x	x	x	x
ca	% Oligochaeta	% Oligochaeta		x	x	x	x	x
ca	% Crustacea					x	x	x
ca	% Ephemeroptera			x	x	x	x	x
ca	% Odonata						x	
ca	% Plecoptera	% Plecoptera		x	x	x	x	x
ca	% Trichoptera	% Trichoptera		x	x	x	x	x
ca	% Coleoptera			x	x	x	x	x
ca	% Diptera			x	x	x	x	x
ca	% Hydrachnidia						x	
ca	% EPT-Taxa	%EPT taksonov		x	x	x	x	x
ca	% EPT/OL					x		
ca	% EP	%EP taksonov		x	x	x	x	x
ca	% EPT (ac)			x	x	x	x	x
ca	% OD-Taxa (aut)			x	x	x	x	x
ca	% EPT-Taxa (aut)			x	x	x	x	x
ca	AB Oligochaeta			x	x	x	x	x
ca	AB Crustacea					x	x	x
ca	AB Ephemeroptera			x	x	x	x	x
ca	AB Odonata						x	
ca	AB Plecoptera			x	x	x	x	x
ca	AB Trichoptera			x	x	x	x	x
ca	AB Coleoptera			x	x	x	x	x
ca	AB Diptera			x	x	x	x	x

Priloga B-nadaljevanje.

Skupina metrik	Metrika	Šifra	Vir	Koda tipa vodotoka				
				HE Alpe	KBD1_700	PAhrD1	PAhrJ1	SI1
ca	AB Hydrachnidia		ASTERICS, 2006				x	
f	Potamon Typie Index (ac)		Schöll s sod., 2005		x	x	x	x
f	r/K relationship			x	x	x	x	x
f	% crenal	% hypocrenal	Moog, 1995; Schmedtje in Colling, 1996; ASTERICS, 2006	x	x	x	x	x
f	% hypocrenal			x	x	x	x	x
f	% epirhithral			x	x	x	x	x
f	% metarhithral			x	x	x	x	x
f	% hyporhithral	% hyporhithral		x	x	x	x	x
f	% epipotamal			x	x	x	x	x
f	% metapotamal						x	x
f	% hypopotamal							
f	% littoral			x	x	x	x	x
f	% profundal					x	x	x
f	% no data available			x	x	x	x	x
f	% hypocrenal *			x	x	x	x	x
f	% epirhithral *			x	x	x	x	x
f	% metarhithral *			x	x	x	x	x
f	% hyporhithral *			x	x	x	x	x
f	% epipotamal *			x	x	x	x	x
f	% metapotamal *						x	x
f	% littoral *			x	x	x	x	x
f	% littoral + profundal			x	x	x	x	x
f	% Type LB		Schmedtje in Colling, 1996					
f	% Type LP						x	
f	% Type LR							
f	% Type RL			x	x	x	x	x
f	% Type RP	% RP		x	x	x	x	x
f	% Type RB			x	x	x	x	x

Priloga B-nadaljevanje.

Skupina metrik	Metrika	Šifra	Vir	Koda tipa vodotoka				
				HE Alpe	KBD1_700	PAhrD1	PAhrJ1	SI1
f	% Type IN		Schmedtje in Colling, 1996	x	x	x	x	x
f	% no data available			x	x	x	x	x
f	% Type RP *			x	x	x	x	x
f	% Type RP (ac) *			x	x	x	x	x
f	Rheoindex (Banning, AB)		Banning, 1998	x	x	x	x	x
f	Rheoindex (Banning, ac)			x	x	x	x	x
f	Rhithron Typie Index		Biss s sod., 2002	x	x	x	x	x
f	% Type Pel	% Pelal	Moog, 1995; ASTERICS, 2006	x	x	x	x	x
f	% Type Arg							x
f	% Type Psa			x	x	x	x	x
f	% Type Aka			x	x	x	x	x
f	% Type Lit			x	x	x	x	x
f	% Type Phy			x	x	x	x	x
f	% Type Pom			x	x	x	x	x
f	% Type Oth			x	x	x	x	x
f	% No data			x	x	x	x	x
f	% Type Aka + Lit + Psa	% A+L+P		x	x	x	x	x
f	% Type Pel *			x	x	x	x	x
f	% Type Psa *			x	x	x	x	x
f	% Type Aka *			x	x	x	x	x
f	% Type Lit *			x	x	x	x	x
f	% Type Phy *			x	x	x	x	x
f	% Type Aka+Lit+Psa *			x	x	x	x	x
f	Stone-dwelling taxa (Braukmann, ac)		Braukmann, 1997	x	x	x	x	x
f	% Grazers and scrapers	% grazers&scrapers	Moog, 1995; Schmedtje in Colling, 1996; ASTERICS, 2006	x	x	x	x	x
f	% Miners						x	

Priloga B-nadaljevanje.

Skupina metrik	Metrika	Šifra	Vir	Koda tipa vodotoka				
				HE Alpe	KBD1_700	PAhrD1	PAhrJ1	SI1
f	% Xylophagous Taxa		Moog, 1995; Schmedtje in Colling, 1996; ASTERICS, 2006					
f	% Shredders			x	x	x	x	x
f	% Gatherers/Collectors	% gatherers/collectors		x	x	x	x	x
f	% Active filter feeders					x	x	x
f	% Passive filter feeders			x	x	x	x	x
f	% Predators			x	x	x	x	x
f	% Parasites						x	x
f	% Other Feeding types							
f	(Grazers + Scrapers)/(GatherersCollectors + FilterFeeders)			x	x	x	x	x
f	% Xyloph. + Shred. + ActFiltFee. + PasFiltFee	% XSAP		x	x	x	x	x
f	% no data available			x	x	x	x	x
f	% Shredders *			x	x	x	x	x
f	% Gatherers/Collectors *	% gatherers/collectors*		x	x	x	x	x
f	Active/Passive filter feeders					x	x	x
f	RETI		Schweder, 1992	x	x	x	x	x
f	% swimming/skating		Moog, 1995; ASTERICS, 2006				x	
f	% swimming/diving			x	x	x	x	x
f	% burrowing/boring			x	x	x	x	x
f	% sprawling/walking			x	x	x	x	x
f	% (semi)sessil			x	x	x	x	x
f	% others (e.g. climbing)				x		x	x
f	% no data available			x	x	x	x	x
f	Index of Biocoenotic Region		ASTERICS, 2006		x	x	x	x
f	% littoral *		-		x	x	x	x

Priloga B-nadaljevanje.

Skupina metrik	Metrika	Šifra	Vir	Koda tipa vodotoka				
				HE Alpe	KBD1_700	PAhrD1	PAhrJ1	SI1
f	% littoral + profundal *		-		x	x	x	x
f	RETI (aut)		-	x	x	x	x	x
f	% Gatherers/Collectors (aut)		-	x	x	x	x	x
f	% Shredders (aut)		-		x	x	x	x
f	Active filter feeders/passive filter feeders (aut)		-			x	x	x
rd	Number of Taxa	število taksonov	ASTERICS, 2006	x	x	x	x	x
rd	Diversity (Simpson-Index)	Simpson DI	Simpson, 1949	x	x	x	x	x
rd	Diversity (Shannon-Wiener-Index)	Shannon-Wiener DI	Shannon in Weaver, 1949	x	x	x	x	x
rd	Diversity (Margalef Index)	Margalef DI	Margalef, 1984	x	x	x	x	x
rd	Evenness	Evenness	ASTERICS, 2006	x	x	x	x	x
rd	NT Oligochaeta	število taksonov Oligochaeta		x	x	x	x	x
rd	NT Crustacea					x	x	x
rd	NT Ephemeroptera			x	x	x	x	x
rd	NT Odonata						x	
rd	NT Plecoptera			x	x	x	x	x
rd	NT Trichoptera			x	x	x	x	x
rd	NT Coleoptera	število taksonov Coleoptera		x	x	x	x	x
rd	NT Diptera			x	x	x	x	x
rd	NT Hydrachnidia						x	
rd	NT EPT-Taxa	število EPT taksonov		x	x	x	x	x
rd	NT EPT/OL					x		
rd	NT EPT/Diptera			x	x	x	x	x
rd	NT EP-Taxa	število EP taksonov		x	x	x	x	x
rd	NT EPTCBO (Eph., Ple., Tri., Col., Bivalv., Odo.)			x	x	x	x	x
rd	Number of Families			x	x	x	x	x

Priloga B-nadaljevanje

Skupina metrik	Metrika	Šifra	Vir	Koda tipa vodotoka				
				HE Alpe	KBD1_700	PAhrD1	PAhrJ1	SI1
rd	Number of Genera		ASTERICS, 2006	x	x	x	x	x
st	SIG3	SIG3	Urbanič s sod., 2006	x	x	x	x	x
st	Saprobic Index (Zelinka & Marvan)		ASTERICS, 2006		x	x	x	x
st	German Saprobic Index (old version)		DEV, 1992			x	x	x
st	German Saprobic Index (new version)		Rolauffs s sod., 2003; Meier et al., 2006	x	x	x	x	x
st	BMWP Score		Armitage s sod., 1983	x	x	x	x	x
st	Average score per Taxon	ASPT		x	x	x	x	x
st	BMWP Score (Spanish version)		Alba-Tercedor s sod., 1988	x	x	x	x	x
st	DSFI Diversity Groups		-			x	x	x
st	DSFI		Skriver, 2001			x	x	x
st	BBI		De Pauw s sod., 1983; De Pauw s sod., 1992			x	x	x
st	IBE		Ghetti, 1997			x	x	x
st	IBE Aqem		-	x	x	x	x	x
st	MAS		Buffagni, 1997, 1999; Buffagni s sod., 2002		x	x	x	x
st	Acid Class (Braukmann) (5-class version)		Braukmann, 2000; Braukmann in Biss, 2004	x	x	x	x	x
st	Acid Index (Hendrikson & Medin)		Hendrikson in Medin, 1986		x	x	x	x
st	German Fauna Index D05		Lorenz s sod., 2004a		x	x	x	x
st	German Fauna Index 1.1		Lorenz s sod., 2004a; Meier s sod., 2006	x	x	x	x	x
st	German Fauna Index 1.2			x	x	x	x	x
st	German Fauna Index 2.1	GFI 2.1		x	x	x	x	x
st	German Fauna Index 2.2	GFI 2.2		x	x	x	x	x
st	German Fauna Index 4			x	x	x	x	x

Priloga B-nadaljevanje.

Skupina metrik	Metrika	Šifra	Vir	Koda tipa vodotoka				
				HE Alpe	KBD1_700	PAhrD1	PAhrJ1	SI1
st	German Fauna Index 5	GFI 5	Lorenz s sod.,2004a; Meier s sod., 2006		x	x	x	x
st	German Fauna Index 9			x	x	x	x	x
st	German Fauna Index 9.1			x	x	x	x	x
st	German Fauna Index 9.2			x	x	x	x	x
st	Lake outlet index		Brunke, 2004			x	x	x
st	Portuguese Index		ASTERICS, 2006	x	x	x	x	x
st	Number of sensitive taxa (aut)		Moog, 1999	x	x	x	x	x

Priloga C

Najpomembnejše enačbe metrik, izračunanih s programom ASTERICS 3.01 (ASTERICS, 2006)

a) r/K relationship (rst)

$$rst = \frac{\sum no_1}{\sum no_1 + \sum no_0} \quad \dots(4)$$

kjer je

no_1 - številčnost taksona z vrednostjo 1 (r strateg),

no_0 - številčnost taksona z vrednostjo 0 (K strateg)

b) rheoindex

$$rheoindex = \frac{2 * \sum (h_i RIB_1)}{2 * \sum (h_i RIB_1) + 2 * \sum (h_i RIB_2) + \sum (h_i RIB_3)} \quad \dots(5)$$

kjer je

$h_i RIB_{1,2,3}$ – delež taksona z RIB vrednostjo 1, 2 ali 3

c) stone-dwelling taxa

$$AHT1 = \frac{\sum (a_i AHT1)}{\sum (a_i AHT1) + \sum (a_i AHT0)} \quad \dots(6)$$

kjer je

$a_i AHT1,0$ – abundančni razred taksona z AHT vrednostjo 1 ali 0

Priloga C - nadaljevanje

d) RETI

$$RETI = \frac{\sum n_{gs} + \sum n_{ks} + \sum n_{dr}}{\sum n_{gs} + \sum n_{ks} + \sum n_{dr} + \sum n_{mi} + \sum n_{zb} + \sum n_{af} + \sum n_{pf} + \sum n_{dru}} \quad \dots(7)$$

kjer je

n_a - številčnost prehranske skupine a: gs- strgalci, ks-ksilofagi, dr-drobilci, mi-minerji, zb-zbiralci, af-aktivni filtratorji, pf-pasivni filtratorji, dru-drugi

e) Simpsonov diverzitetni index

$$D_{Simpson} = 1 - \sum_i \frac{n_i(n_i - 1)}{A(A - 1)} \quad \dots(8)$$

kjer je

A – številčnost osebkov v vzorcu

n_i - številčnost osebkov i-tega taksona v vzorcu

f) Shannon-Wienerjev diverzitetni index

$$D_{S-W} = \sum_{i=1}^s \left(\frac{n_i}{A} \right) \ln \left(\frac{n_i}{A} \right) \quad \dots(9)$$

kjer je

A – številčnost osebkov v vzorcu

n_i - številčnost osebkov i-tega taksona v vzorcu

Priloga C - nadaljevanje

g) Margalefov diverzitetni index

$$D_M = (i - 1) / \ln A \quad \dots(10)$$

kjer je

A – številčnost osebkov v vzorcu

i-število taksonov v vzorcu

h) Evenness (Evs)

$$Evs = \frac{D_{S-W}}{\ln(t)} \quad \dots(11)$$

kjer je

t - število taksonov v vzorcu

D_{S-W}-Shannon-Wienerjev diverzitetni indeks

i) Saprobni indeks (Zelinka in Marvan)

$$SI_{Z\&M} = \frac{\sum_i szs_i * szg_i * n_i}{\sum_i szg_i * n_i} \quad \dots(12)$$

kjer je

szs_i – saprobna vrednost i-tega taksona

szg_i – indikatorska vrednost i-tega taksona

n_i - število osebkov taksona i

Priloga C - nadaljevanje

j) Potamon typie index (PTI)

$$PTI = \frac{\sum_{i=1}^T (W_i * G_i * A_i)}{\sum_{i=1}^T (G_i * A_i)} \pm \delta PTI \quad \dots(13)$$

$$\delta PTI = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^T ((W_i - PTI)^2 * G_i * A_i)}{(T - 1) * \sum_{i=1}^T (G_i * A_i)}} \quad \dots(14)$$

kjer je

$ECOP_i$ - indikatorska vrednost taksona i

$$W_i = 6 - ECOP_i$$

A_i – delež taksona i

$$G_i = 2^{(5-W_i)}$$

T - število ovrednotenih taksonov

k) Rhithron typie index (RTI)

$$RTI = \frac{\sum_{i=1}^n ECO_i^2}{sot} \quad \dots(15)$$

kjer je

sot - število ovrednotenih taksonov

ECO_i^2 - indikatorska vrednost taksona i

Priloga C - nadaljevanje

l) Lake outlet index (LTI)

$$LTI = \frac{\sum_{i=1}^T (LTI_i * A_i * W_i)}{\sum_{i=1}^T (A_i * W_i)} \quad \dots(16)$$

kjer je

LTI_i - indikatorska vrednost taksona i ,

A_i -relativni pogostostni razred taksona i ,

W_i -utežni faktor taksona i

m) German fauna index (GFI)

$$GFI = \frac{\sum_i^N sc_i * a_i}{\sum_i^N a_i} \quad \dots(17)$$

kjer je

a - abundančni razred:

0 – $n = 0$;

1 – $0 < n < 2,5$

2 – $2,5 \leq n < 10,5$

3 – $10,5 \leq n < 30,5$

4 – $30,5 \leq n < 100,5$

5 – $100,5 \leq n < 300,5$

6 – $300,5 \leq n < 1000,5$

7 – $1000,5 \leq n$

i -indikatorski takson

N -skupno število indikatorskih taksonov

sc -indikatorska vrednost

Priloga D

Kode in opisi tipov vodotokov v Nemčiji, katerih German fauna index smo obravnavali (Lorenz s sod., 2004; ASTERICS, 2006)

Koda tipa vodotoka	Opis tipa vodotoka
D05	srednje veliki potoki v nižjih alpskih območjih centralne Evrope
1.1	alpski potoki na apnenčasti podlagi (4)
1.2	majhne alpske reke na apnenčasti podlagi (4)
2.1	predalpski potoki (9(8))
2.2	majhne predalpske reke (9(8))
4	velike predalpske reke (9(8))
5	srednjegorski potoki na silikatni podlagi, polni grobega materiala (9(8))
9	srednjegorske reke na silikatni podlagi, polne majhnega ali velikega materiala (9(8))
9.1	srednjegorske reke na karbonatni podlagi, polne majhnega ali velikega materiala 9(8))
9.2	velike srednjegorske reke (9(8))