

ZAVOD ZA RIBIŠTVO SLOVENIJE
SPODNJE GAMELJNE 61A, 1211 LJUBLJANA-ŠMARTNO



**Metodologija vrednotenja ekološkega stanja z ribami
za male in srednje velike reke jadranskega povodja
ekoregije Alpe**

poročilo o projektni nalogi

Spodnje Gameljne, december 2012



Metodologija vrednotenja ekološkega stanja z ribami za male in srednje velike reke
jadranskega povodja ekoregije Alpe

poročilo o projektni nalogi

Naročnik:	Inštitut za vode RS Hajdrihova 28 c SI-1000 Ljubljana Št pogodbe:
Izvajalec:	Zavod za ribištvo Slovenije Spodnje Gameljne 61a 1211 Spodnje Gameljne
Nosilec naloge:	dr. Samo Podgornik, univ.dipl.biol.
Poročilo pripravili:	dr. Samo Podgornik, univ.dipl.biol. dr. Gorazd Urbanič, univ.dipl.biol. (IzVRS)
Številka:	_____
Datum:	15.12.2012

Direktor:
Dejan Pehar, spec.



KAZALO

1	UVOD	3
2	PREGLED IZHODIŠČ	4
2.1	Ekološki tipi rek v Sloveniji	4
2.2	Referenčna mesta	6
2.3	Vzorčenje rib	9
2.4	Vrednotenje ekološkega stanja na podlagi rib	11
3	METODE IN MATERIALI	13
3.1	Določitev in razširjenost ribjih tipov rek.....	14
3.2	Določitev gradienta obremenitve	19
3.3	Izbor referenčnih mest	21
3.4	Uporabljeni biološki podatki in izračun bioloških metrik.....	21
3.5	Izračun slovenskega indeksa za vrednotenje ekološkega stanja rek na podlagi rib (SIFAIR)	25
3.6	Določitev mejnih vrednosti indeksa SIFAIR med razredi ekološkega stanja.....	29
3.7	Transformacija mejnih vrednosti »REK« indeksa SIFAIR _{RTIP} med ekološkimi stanji	30
4	REZULTATI.....	31
4.1	Ribji tipi	31
4.2	Gradient obremenitve.....	37
4.3	Odziv metrik indeksa SIFAIR na obremenitve v subhidroekoregiji Alpe-jadransko povodje	41
4.4	Multimetrijski indeksi SIFAIR.....	44
4.5	Določitev mejnih vrednosti multimetrijskih indeksov med razredi ekološkega stanja	50
5	RAZPRAVA	52
6	VIRI	54



KAZALO SLIK

Slika 1. Bioregije in tipi rek v Sloveniji (Urbanič 2011a, b)	4
Slika 2. Potencialni referenčni odseki rek (modro obarvani odseki) v Sloveniji in potencialni referenčni odseki rek brez upoštevanja kriterija »biotske obremenitve« (rdeče obarvani odseki) (Urbanič, 2007b, 2011a,b)	9
<i>Slika 1: Ekipa pri izlovu.</i>	10
<i>Slika 2: Zapora izlovnega odseka z mrežo.</i>	11
Slika 3. Lokacije vzorčnih mest na katerih smo pridobili podatke za razvoj metode vrednotenja ekološkega stanja rek na podlagi rib v subhidroekoregiji Alpe-jadransko povodje.	13
Slika 4. Razredi pretoka vode in lokacije vzorčnih mest v subhidroekoregiji Alpe-jadransko povodje v Sloveniji (oranžna barva).	15
Slika 5. Razredi naklona terena in lokacije vzorčnih mest v subhidroekoregiji Alpe-jadransko povodje v Sloveniji (oranžna barva).	16
Slika 6. Razredi širine vodotoka in lokacije vzorčnih mest v subhidroekoregiji Alpe-jadransko povodje v Sloveniji (oranžna barva).	17
Slika 7. Razredi velikosti prispevne površine in lokacije vzorčnih mest v subhidroekoregiji Alpe-jadransko povodje v Sloveniji (oranžna barva).....	18
Slika 8. Določitev starostnih razredov osebkov rib pri izračuni indeksa SIFAIR.....	22
Slika 9. Grafični prikaz normalizacije metrik z unimodalnim odzivom; vrednosti metrike višje in nižje od referenčne vrednosti ustrezajo vrednosti REK<1.....	26
Slika 10. Diagram za izračun slovenskega indeksa za vrednotenje ekološkega stanja rek na podlagi rib (SIFAIR) v subhidroekoregiji Alpe-jadransko povodje. SIFAIR _{RTIP} – za tip značilni SIFAIR. Za kode metrik glej preglednico 3.	28
Slika 11. Algoritem za izračun razmerja ekološke kakovosti (REK) na podlagi metrik biomase in starostne strukture pri izračunu slovenskega indeksa za vrednotenje ekološkega stanja rek na podlagi rib (SIFAIR) v subhidroekoregiji Alpe-jadransko povodje. Za kode metrik glej preglednico 3.	28
Slika 12. Rezultati analize TWINSPAN s kvalitativnimi podatki o vrstah rib z upoštevanjem »dobrih mest«. Za razlago kod vrst rib glej preglednico 4.	31
Slika 13. Število avtohtonih ribjih vrst v posameznem vzorcu glede na skupino ribjih tipov po prvi delitvi v analizi TWINSPAN z upoštevanjem »dobrih mest« v subhidroekoregiji Alpe-jadransko povodje.	32
Slika 14. Število avtohtonih ribjih vrst v posameznem vzorcu glede na skupino ribjih tipov po drugi delitvi v analizi TWINSPAN (Skupina_TWIN2) z upoštevanjem »dobrih mest« v subhidroekoregiji Alpe-jadransko povodje.....	32



Slika 15. Število avtohtonih ribjih vrst v posameznem vzorcu glede na skupino ribjih tipov po drugi delitvi v analizi TWINSpan z upoštevanjem »dobrih mest« v subhidroekoregiji Alpe-jadransko povodje.....	33
Slika 16. Število avtohtonih ribjih vrst v posameznem vzorcu glede na ribji tip z upoštevanjem »dobrih mest« v subhidroekoregiji Alpe-jadransko povodje.	33
Slika 17. Rezultati analize TWINSpan s kvalitativnimi podatki o vrstah rib z upoštevanjem »dobrih mest«. Kode označujejo prepoznane ribje tipe: H, M1, E2, E1. Za razlago kod vrst rib glej preglednico 4.	34
Slika 18. NMS ordinacijski diagram na podlagi vrstne sestave in številčnosti rib z upoštevanjem »dobrih mest«. Oznake označujejo štiri ribje tipe: rdeča – E1, vijolična – E2, modra – M1, zelena – H.....	35
19. CCA ordinacijski diagram z vrstami rib (trikotniki) in okoljskimi spremenljivkami (puščice). Za razlago kod rib glej preglednico 4, za okoljske spremenljivke preglednico 10.	36
Slika 20. Razširjenost ribjih tipov v subhidroekoregiji Alpe-jadransko povodje v Sloveniji.	37
Slika 21. CCA ordinacijski diagram z vrstami rib (trikotniki) in izbranimi (Pearson $r > 0,5$) okoljskimi spremenljivkami (puščice). Za razlago kod rib glej preglednico 4, za okoljske spremenljivke preglednico 11.	39
Slika 22. Razporejanje podatkov vzdolž gradienta obremenitve.	40
Slika 23. Razporeditev podatkov obremenitve na referenčnih (1) in nereferenčnih (0) vzorčnih mestih.....	40
Slika 24. Diagrami kvartilov razpona vrednosti metrik indeksa SIFAIR na referenčnih (1) in nereferenčnih (0) mestih. Mann whitney U = 674-1163, $p < 0,05$. Za razlage kod metrik glej sliko 9.	44
Slika 25. Diagrami kvartilov razpona vrednosti metrik indeksa SIFAIR na referenčnih (1) in nereferenčnih (0) mestih. Mann whitney U = 778, $p < 0,0001$	45
Slika 26. Diagrami kvartilov razpona vrednosti metrik transformiranega indeksa SIFAIR na referenčnih (1) in nereferenčnih (0) mestih. Mann whitney U = 778, $p < 0,0001$	46
Slika 27. Diagrami kvartilov razpona vrednosti metrik indeksa SIFAIR na referenčnih (1) in nereferenčnih (0) mestih glede na skupino ribjih tipov. Mann whitney U = 43-450, $p < 0,05$	47
Slika 28. Povezava med gradientom obremenitve in transformiranimi vrednostmi indeksa SIFAIR. Upoštevani so samo podatki z mest	47
Slika 29. Povezava med gradientom obremenitve in transformiranimi vrednostmi indeksa SIFAIR glede na skupino ribjih tipov.	48
Slika 30. Povezava med gradientom obremenitve in transformiranimi vrednostmi indeksa SIFAIR v ekoregiji Alpe. zeleni krožci –subhidroekoregija Alpe-jadransko povodje, modri krožci – subhidroekoregija Alpe-donavsko porečje.....	48
Slika 31. Povezava med gradientom obremenitve in transformiranimi vrednostmi indeksa SIFAIR glede na skupino ribjih tipov v hidroekoregiji Alpe.	49



Slika 32. Povezava med gradientom obremenitve in transformiranimi vrednostmi indeksa SIFAIR glede na ribji tip v hidroekoregiji Alpe.	49
Slika 33. Diagrami kvartilov razpona vrednosti normaliziranega indeksa SIFAIR glede na razred obremenitve in skupino ribjih tipov.	50



KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1. Seznam ekoloških tipov rek v subhidroekoregiji Alpe-jadransko povodje v Sloveniji (Urbanič, 2007b, 2011a,b).	5
Preglednica 2. Mediana in razpon vrednosti spremenljivk, ki odražajo naravne značilnosti rek.	18
Preglednica 3. Mediana in razpon vrednosti spremenljivk obremenitev rek.	20
Preglednica 4. Ekološka klasifikacija in avtohtonost ribjih vrst v subhidroekoregijah ekoregije Alpe v Sloveniji.	23
Preglednica 5. Metrike uporabljenih pri izračunu indeksa SIFAIR.	25
Preglednica 6. Vrednosti hidromorfoloških indeksov skupin izbranih ekoloških tipov rek v hidroekoregiji Dinaridi (seti podatkov, ki so bili uporabljeni pri razvoju multimetrijskega indeksa) Za razlago kode skupine glej preglednico 6, za razlago kode tipa pa preglednico 1.	29
Preglednica 7. Število vzorcev, referenčnih vzorcev in nereferenčnih vzorcev vključenih v analize po skupinah ribjih tipov rek.	29
Preglednica 8. Mejne vrednosti razredov in ustrezna vrednost razmerja ekološke kakovosti (REK) indeksa SIFAIR _{RTIP} po transformaciji vrednosti.	30
Preglednica 9. Opis ribjih tipov v rekah subhidroekoregije Alpe-jadransko povodje na podlagi prisotnosti značilnih ribjih vrst.	34
Preglednica 10. Pojasnjena variabilnost združbe rib v rekah subhidroekoregije Alpe-jadransko povodje pred (Lambda1) in po (LambdaA) izbiranju spremenljivk naravnih značilnosti v kanonični korespondenčni analizi (CCA).	36
Preglednica 11. Pojasnjena variabilnost združbe rib v rekah subhidroekoregije Alpe-jadransko povodje pred (Lambda1) in po (LambdaA) izbiranju spremenljivk obremenitve v kanonični korespondenčni analizi (CCA). HM-hidromorfološki. PO – prispevno območje. NPO – neposredno prispevno območje. KČN – komunalne čistilne naprave. MHE – male hidroelektrarne.	38
Preglednica 12. Spearmanovi in Pearsonovi korelacijski koeficienti med gradientom obremenitve in metrikami oz. kombinacijo metrik na osnovi rib v subhidroekoregiji Alpe-jadransko povodje. Za razlago kod glej sliko 9.	41
Preglednica 13. Za ribji tip značilne referenčne vrednosti (RV) in spodnje meje (SM) metrik indeksa SIFAIR v subhidroekoregiji Alpe-jadransko povodje. Za razlago kod glej sliko 9.	42
Preglednica 14. Meje med razredi ekološkega stanja za metriki biomasa vseh vrst rib (vse_biomasa) in biomasa reoritrlnih vrst rib (RR_biomasa) za skupino ribjih »malo vrst« v subhidroekoregiji Alpe-jadransko povodje. Za razlago kod glej sliko 9.	42
Preglednica 15. Meje med razredi ekološkega stanja za metriki biomasa vseh vrst rib (vse_biomasa) in biomasa reoritrlnih vrst rib (RR_biomasa) za skupino ribjih »veliko vrst« v subhidroekoregiji Alpe-jadransko povodje. Za razlago kod glej sliko 9.	42



Preglednica 16. Enačbe za linearno transformacijo po odsekih za normalizirane vrednosti metrik biomasa reoritrlnih vrst rib (RR_biomasa_REK) in biomasa vseh vrst rib (vse_biomasa_REK) za skupino tipov »malo vrst« v indeksu SIFAIR v subhidroekoregiji Alpe-jadransko povodje.	43
Preglednica 17. Enačbe za linearno transformacijo po odsekih za normalizirane vrednosti metrik biomasa reoritrlnih vrst rib (RR_biomasa_REK) in biomasa vseh vrst rib (vse_biomasa_REK) za skupino tipov »veliko vrst« v indeksu SIFAIR v subhidroekoregiji Alpe-jadransko povodje.	43
Preglednica 18. Mejne vrednosti in transformirane mejne vrednosti razmerja ekološke kakovosti (REK) za 5 razredov ekološkega stanja multimetrijskega indeksa SIFAIR za skupino ribjih tipov »malo vrst« (E1, E2, M1).	51
Preglednica 19. Mejne vrednosti in transformirane mejne vrednosti razmerja ekološke kakovosti (REK) za 5 razredov ekološkega stanja multimetrijskega indeksa SIFAIR za skupino ribjih tipov »veliko vrst« (H).	51
Preglednica 20. Enačbe za izračun transformiranih REK vrednosti multimetrijskega indeksa SIFAIR _{AL-JM}	51
Preglednica 21. Enačbe za izračun transformiranih REK vrednosti multimetrijskega indeksa SIFAIR _{AL-JV}	51



POVZETEK

Ribe so eden od bioloških elementov za vrednotenje ekološkega stanja rek v skladu z Vodno direktivo. Za vrednotenje ekološkega stanja rek v subhidroekoregiji Alpe-jadransko povodje smo uporabili iste metrike slovenskega indeksa za vrednotenje ekološkega stanja rek v Sloveniji na podlagi rib (SIFAIR), kot so bile izbrane za vrednotenje ekološkega stanja rek na osnovi rib v subhidroekoregiji Alpe-donavsko porečje: biomasa vseh vrst rib, biomasa reoritrlnih vrst rib, delež reoritrlnih vrst rib, delež abundance reoritrlnih vrst rib starejših kot starostni razred I.

Indeks SIFAIR vključuje vse v Vodni direktivi predpisane značilnosti ribje združbe na podlagi katerih vrednotimo ekološko stanje: taksonomsko sestavo, številčnost vrst, njihovo biomaso in starostno strukturo. Najprej smo določili ribje tipe rek v subhidroekoregiji Alpe-jadransko povodje. Ribje tipe smo določili na podlagi analize ribjih združb na nespremenjenih in malo spremenjenih vzorčnih mestih z uporabo analize TWINSpan in kanonične korespondenčne analize (CCA) ter historičnih in recentnih podatkov o razširjenosti vrst v jadranskem povodju. Prepoznali smo štiri ribje tipe: E1 (ena značilna vrsta – soška postrv), E2 (dve značilni vrsti – soška postrv in kapelj), M1 (tri značilne vrste - soška postrv, kapelj in lipan) in H (več kot tri značilne vrste).

Gradient obremenitve smo določili na podlagi opaženega vpliva spremenljivk obremenitve rek na združbe rib na podlagi analize CCA. Izbrane so bile naslednje spremenljivke: spremenljivke spremenjenosti rabe tal v celotnem prispevnem območju in neposrednem prispevnem območju, hidromorfološka spremenjenost rek in prisotnost malih hidroelektrarn. Na gradient obremenitve smo testirali odziv preko 100 bioloških metrik. Za metrike za katere podatkov o ekoloških značilnostih vrst rib še nismo imeli na voljo (npr. za ceh habitat-cona), smo določili na podlagi poznanih ekoloških značilnosti vrst. Za vse metrike, ki sestavljajo indeks SIFAIR smo ugotovili statistično značilno povezavo z gradientom obremenitve, vendar za nekatere metrike šele po za tip značilni normalizaciji.

Med gradientom obremenitve in indeksom SIFAIR smo ugotovili dobro ($R^2 \approx 0,25$) in statistično značilno ($p < 0,001$) povezanost. Z upoštevanjem širšega gradienta obremenitve



(uporabili smo podatke iz celotne hidroekoregije Alpe v Sloveniji) smo ugotovili še boljšo povezavo med gradientom obremenitve in indeksom SIFAIR ($R^2 > 0,40$) tudi če smo podatke razdelili na skupine ribjih tipov. Za vsako skupino ribjih tipov smo določili meje med razredi ekološkega stanja na podlagi razoporeditve vrednosti indeksa SIFAIR v treh razredih obremenitve.

Za skupino ribjih tipov značilne indekse SIFAIR ($SIFAIR_{RTIP}$) smo določili postopek za pravilno ovrednotenje ekološkega stanja. Postopek vključuje naslednje korake:

1. **kvantitativno vzorčenje** rib po metodi vzorčenja rib v majhnih in srednjevelikih prebrodljivih vodotokih (Podgornik 2006; MOP, 2009);
2. **obdelava bioloških vzorcev** - zajem osnovnih podatkov: vrsta, dolžina, teža, starost posameznega osebka;
3. **izračun za tip značilnih metrik** z upoštevanjem podatkov o avtohtonih vrstah rib za vse metrike razen za biomaso vseh vrst rib;
4. **normalizacija metrik** z uporabo za ribji tip reke značilnih referenčnih vrednosti in spodnjih mej;
5. **transformacija metrik** skupna biomasa vrst (vsi ribji tipi) in biomasa reoritalnih vrst (ribji tipi skupine »malo vrst«);
6. **izračun razmerja ekološke kakovosti (REK) multimetrijskega indeksa SIFAIR** po predpisanem algoritmu;
7. **normalizacija indeksa $SIFAIR_{RTIP}$** glede na skupino ribjega tipa;
8. **transformacija vrednosti REK izbranega multimetrijskega indeksa $SIFAIR_{RTIP}$** glede na mejne vrednosti REK s transformacijskimi enačbami, značilnimi za posamezno skupino ribjih tipov;
9. **uvrstitev vzorčnega mesta v razred ekološke kakovosti.**

1 UVOD

Vodna direktiva (Direktiva 2000/60/EC) zavezuje države članice Evropske unije k sprejetju novega pristopa v vrednotenju površinskih voda. Nov pristop vključuje upoštevanje bioloških elementov kakovosti in podpornih hidromorfoloških in fizikalno-kemijskih elementov kakovosti. Biološki elementi so osnova vrednotenja ekološkega stanja, in predstavlja nov termin, ki so ga vpeljali pri vrednotenju. Ekološko stanje vključuje tako kakovost vode, kot tudi kakovost habitata in hidrološke razmere.

Eden od bioloških elementov, s katerim vrednotimo ekološko stanje, so tudi ribe. V Sloveniji smo že razvili indeks za vrednotenje ekološkega stanja rek na podlagi rib (SIFAIR), vendar le za reke v subhidroekoregiji Alpe-donavsko porečje, ki smo ga tudi že uspešno interkalibrirali (Urbanič in Podgornik 2011).

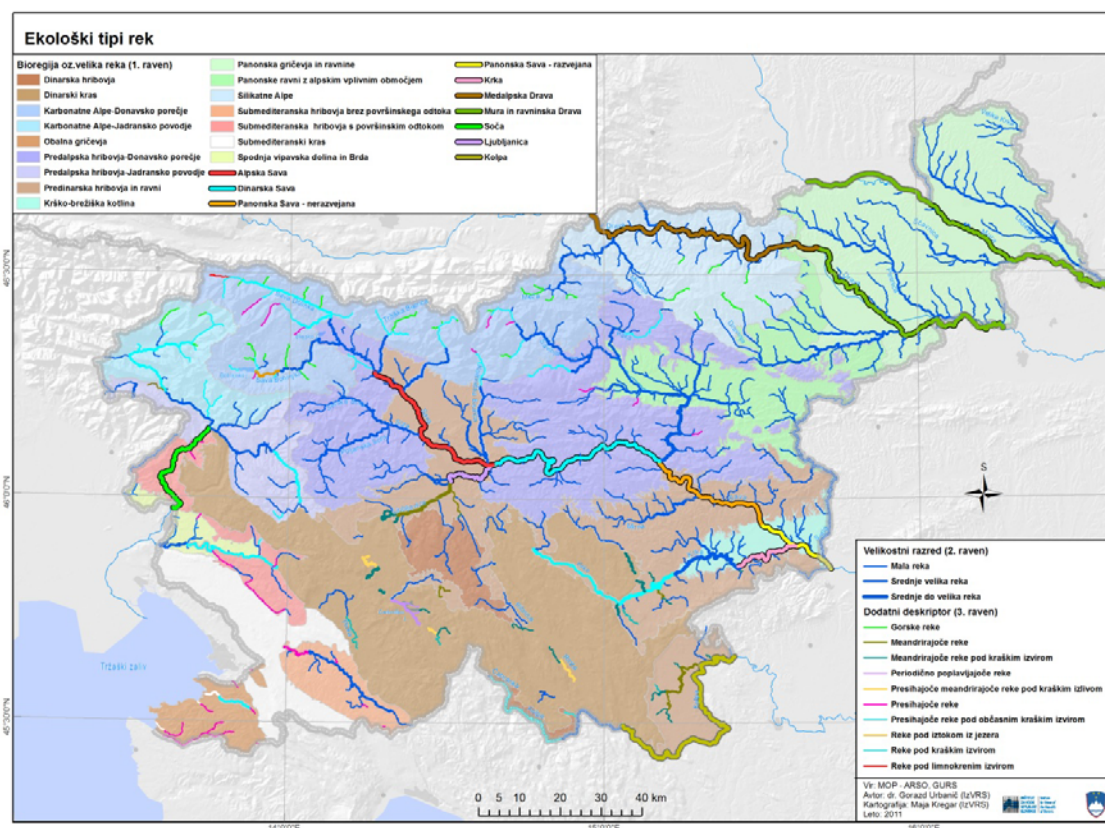
Osnovni namen tega dela je:

- i) določiti ribje tipe rek v subhidroekoregiji Alpe-jadransko povodje;
- ii) določiti gradient obremenitve za reke subhidroekoregije Alpe-jadransko povodje;
- iii) testirati odziv metrik indeksa SIFAIR na gradient obremenitve;
- iv) določiti referenčne vrednosti multimetrijskih indeksov za obravnavane skupine ribjih tipov;
- v) razviti za skupine ribjih tipov značilne multimetrijske indekse $SIFAIR_{RTIP}$ v subhidroekoregiji Alpe-jadransko povodje;
- vi) določiti za skupino ribjega tipa značilne mejne vrednosti za 5 razredov ekološkega stanja;
- vii) mejnim vrednostim določiti ustrezne vrednosti razmerja ekološke kakovosti (REK).

PREGLED IZHODIŠČ

1.1 Ekološki tipi rek v Sloveniji

Predlog nacionalne tipologije rek v Sloveniji je pripravljen po sistemu B Vodne direktive. Izhodišče je v 4 hidroekoregijah (2008a), ki jih je Urbanič (2008b) razdelil na 16 bioregij in 9 posebnih kategorij »velike reke«, v vsaki bioregiji pa uporabil še različne kombinacije dodatnih atributov (2011a, b). Rezultat je 74 tipov rek, ki so prikazani na sliki 1. Od 16 bioregij jih je 7 v hidroekoregiji Dinaridi, 3 v Evdinarski subhidroekoregiji in 4 v Submediteranski subhidroekoregiji. V hidroekoregiji Dinaridi je opisanih 28 tipov rek (preglednica 1, Urbanič 2011a,b).



Slika 1. Bioregije in tipi rek v Sloveniji (Urbanič 2011a, b)

**Preglednica 1. Seznam ekoloških tipov rek v subhidroekoregiji Alpe-jadransko povodje v Sloveniji (Urbanič, 2007b, 2011a,b).**

Bioregija	Ekološki tip reke-ime	Ekološki tip reke-koda
Karbonatne Alpe-jadransko povodje	Male reke_Karbonatne Alpe-jadransko povodje	R_SI_4_KB-AL-J_1
	Male gorske reke_Karbonatne Alpe-jadransko povodje	R_SI_4_KB-AL-J_1_>700
	Male reke pod kraškim izvirom_Karbonatne Alpe-jadransko povodje	R_SI_4_KB-AL-J_1_KI
	Srednje velike reke_Karbonatne Alpe-jadransko povodje	R_SI_4_KB-AL-J_2
	Srednje velike reke pod kraškim izvirom_Karbonatne Alpe-jadransko povodje	R_SI_4_KB-AL-J_2_KI
Predalpska hribovja-jadransko povodje	Male reke_Predalpska hribovja-jadransko povodje	R_SI_4_PA-hrib-J_1
	Male reke pod kraškim izvirom_Predalpska hribovja-jadransko povodje	R_SI_4_PA-hrib-J_1_KI
	Male meandrirajoče reke_Predalpska hribovja-jadransko povodje	R_SI_4_PA-hrib-J_1_Mean
	Srednje velike reke_Predalpska hribovja-jadransko povodje	R_SI_4_PA-hrib-J_2
	Srednje velike reke pod kraškim izvirom_Predalpska hribovja-jadransko povodje	R_SI_4_PA-hrib-J_2_KI



1.2 Referenčna mesta

Urbanič in Smolar-Žvanut (2005) sta določila kriterije za izbor referenčnih mest na rekah. Urbanič (2007b, 2011a, b) je pripravil dve različici potencialnih referenčnih odsekov. V prvem primeru so odseki glede na vse kriterije, ki sta jih določila, medtem ko v drugem primeru niso upoštevani kriteriji biotskih obremenitev, ki vključujejo tujerodne vrste in ribiško upravljanje (slika 2).

Za izbor referenčnih mest na rekah sta Urbanič in Smolar-Žvanut (2005) določila naslednje kriterije:

a) Dolžina referenčnega mesta (RM) oziroma odseka v vodotoku

Dolžina referenčnega mesta oziroma odseka vodotoka je:

- 500 m, če je velikost prispevne površine vodotoka do RM 10 – 100 km²
- 1000 m, če je velikost prispevne površine vodotoka do RM 100 – 1000 km²
- 2000 m, če je velikost prispevne površine vodotoka do RM 1000 – 2500 km² in ni uvrščen v kategorijo »velike reke« (po Urbanič 2005)
- 5000 m, za vse »velike reke« (po Urbanič 2005)

b) Hidromorfološko stanje referenčnega mesta

Referenčno mesto je uvrščeno v 1. ali 1.–2. hidromorfološki razred po študiji Kategorizacija pomembnejših slovenskih vodotokov po naravovarstvenem pomenu (VGI, 2002)

c) Odvzem vode iz vodotoka gorvodno od referenčnega mesta

Odvzem vode iz vodotoka je pod 10% naravnega pretoka.

d) Obrežna vegetacija



Ohranjena je naravna obrežna vegetacija, ki ustreza tipu in geografski legi vodotoka.

e) Poplavne ravnice

V primeru tipsko specifičnih poplavnih ravnin mora biti ohranjena lateralna in vertikalna povezanost struge vodotoka s poplavno ravnico. Poplavne ravnice referenčnih mest ne smejo biti spremenjene zaradi človekove dejavnosti.

f) Raba zemljišča v zaledju vodotoka

Delež naravnih površin zaledja (določen po Corine Land Cover) vodotoka do referenčnega mesta je:

- > 70 % ali
- > 50 %, če vsaj 50 m od roba struge (velja za oba bregova) ali dvojne širine struge vodotoka (velja za vodotoke širše od 25 m) ni kmetijskih in urbanih površin (določeno po Corine Land Cover).

g) Fizikalno-kemijske razmere

- A) Na referenčnem mestu ni nobenega točkovnega vira onesnaženja, ki bi vplival na spremembe fizikalno-kemijskih parametrov (iztoki industrijskih odpadnih vod, iztoki komunalnih odpadnih vod, iztoki iz čistilnih naprav).
- B) Ni znanih virov onesnaženja ali obremenitev s posebnimi sintetičnimi in nesintetičnimi onesnaževali (podatki MOP-ARSO 2004)

h) Vrednost saprobnega indeksa na referenčnem mestu

- A) Hidroekoregija Alpe: $\leq 1,8$
- B) Hidroekoregija Dinaridi:
- če je naklon terena $> 1^\circ$, mora biti vrednost saprobnega indeksa $\leq 1,8$



- če je naklon terena $< 1^\circ$, mora biti vrednost saprobnega indeksa $\leq 2,0$

C) Hidroekoregija Panonska nižina: $\leq 2,0$

D) Hidroekoregija Padska nižina: $\leq 2,0$

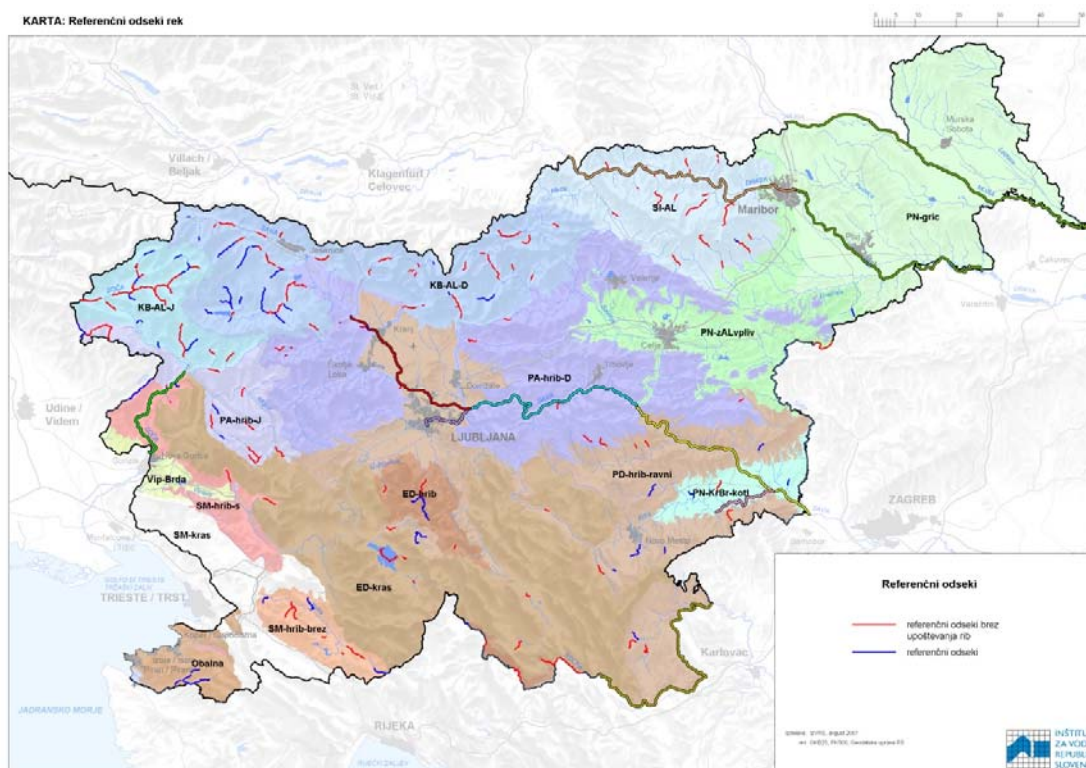
i) Biotske obremenitve

A) Ni vpliva tujerodnih vrst vodnih organizmov, ki bi s tekmovalnostjo ogrožale domače vrste, spremenile habitate in genetsko slabile populacije.

B) Ni vpliva ribištva ali pa je ta vpliv zelo majhen; referenčno mesto se izbere na odsekih vodotokov, ki so na osnovi rabe v ribištvu (Bertok in sod., 2000, 2003) razvrščeni v varstvene vode ali vode brez aktivnega ribiškega upravljanja.

j) Ostale obremenitve

Na referenčnih mestih ni množične rekreacije (kampiranje, plavanje, čolnarjenje).



Slika 2. Potencialni referenčni odseki rek (modro obarvani odseki) v Sloveniji in potencialni referenčni odseki rek brez upoštevanja kriterija »biotske obremenitve« (rdeče obarvani odseki) (Urbanič, 2007b, 2011a,b)

1.3 Vzorčenje rib

Vzorčenje rib je potekalo na način kot je to opisano v metodologiji s področja monitoringa, ki so del predpisov o monitoringu in vrednotenju stanja površinskih voda in so objavljene na spletnih straneh Ministrstva za okolje in prostor:

http://www.mop.gov.si/si/delovna_podrocja/voda/ekolosko_stanje_povrsinskih_voda/

V prebrodljivih vodotokih elektroribolov poteka s pomočjo nahrbtnnega elektroagregata. Izlovno ekipo sestavlja najmanj pet oseb (slika 3), odvisno od širine struge vodotoka. Elektroribič upravlja z anodo, prvi pomočnik s sakom zajema ribe, drugi pomočnik na hrbtu nosi elektroagregat, tretji pomočnik v roki nosi plastično vedro, v katerega zbira ujete ribe.

Peti član ekipe je na kopnem in skrbi za preživetje ulovljenih rib ter ujetim ribam meri parametre, kot so dolžina telesa in teža.



Slika 3: Ekipa pri izlovu.

Pred začetkom vsakega izlova strugo preiskovanega predela vodotoka na zgornjem delu prečno omejimo z zaporno mrežo (slika 4), da preprečimo uhajanje rib po strugi navzgor. Namesto zaporne mreže si na terenu lahko pomagamo z izkoriščanjem naravnih pregrad kot so nižji pragovi ali skalne pregrade, ki so v času izlova neprehodne za ribe, ob običajnih migracijah rib pa jim pri prehajanju ne povzročajo težav.

Elektroizlov rib poteka v smeri proti vodnemu toku, da kalnost vode zaradi brodenja po strugi ne vpliva na učinkovitost izlova. Izlovna ekipa se premika počasi, elektroribič sistematično s kratkimi potegi anode skozi vodni habitat pritegne ribe iz bližnje okolice in skrivališč. Od elektrike omamljene ribe prvi pomočnik polovi s sakom in jih poda tretjemu pomočniku v vedro z vodo. V hitro tekoči vodi je elektroizlov rib učinkovitejši, če pomočnik s sakom sledi tik pod anodo elektroribiča.



Slika 4: Zapora izlovnega odseka z mrežo.

Na isti površini vodotoka izlov rib ponovimo dvakrat ob enakem ribolovnem naporu (Seber & Lecren, 1967). Če je verjetnost ulova vodilne (značilne) vrste v prvem od dveh izlovov manjši od 50 %, je potrebno narediti še tretji izlov (DeLury, 1947).

Ne glede na metodo elektroizlova vsak ujet osebek po zunanjih morfoloških znakih določimo do vrste, mu izmerimo totalno dolžino (TL) na mm natančno in ga stehtamo na g natančno. Meritve telesnih parametrov potekajo na omamljenih osebkih (etilen glikol monofenil eter), ki jih takoj po obdelavi premestimo v kadi s svežo vodo, kjer se prebudijo iz omame. Prebujene osebkke na mestu izlova izpustimo v mirno območje vodotoka blizu brega.

Določevalni ključi, ki smo jih uporabljali za določevanje ribjih vrst so: Kottelat in Freyhof (2007), Povž in Sket (1990), Veenvliet in Veenvliet (2006).

1.4 Vrednotenje ekološkega stanja na podlagi rib

V skladu z Vodno direktivo (Direktiva 2000/60/ES) vrednotimo ekološko stanje rek na podlagi rib z upoštevanjem naslednjih značilnosti ribjih združb:



- a) vrstna sestava in številčnost
- b) prisotnost za tip značilnih vrst
- c) starostna struktura

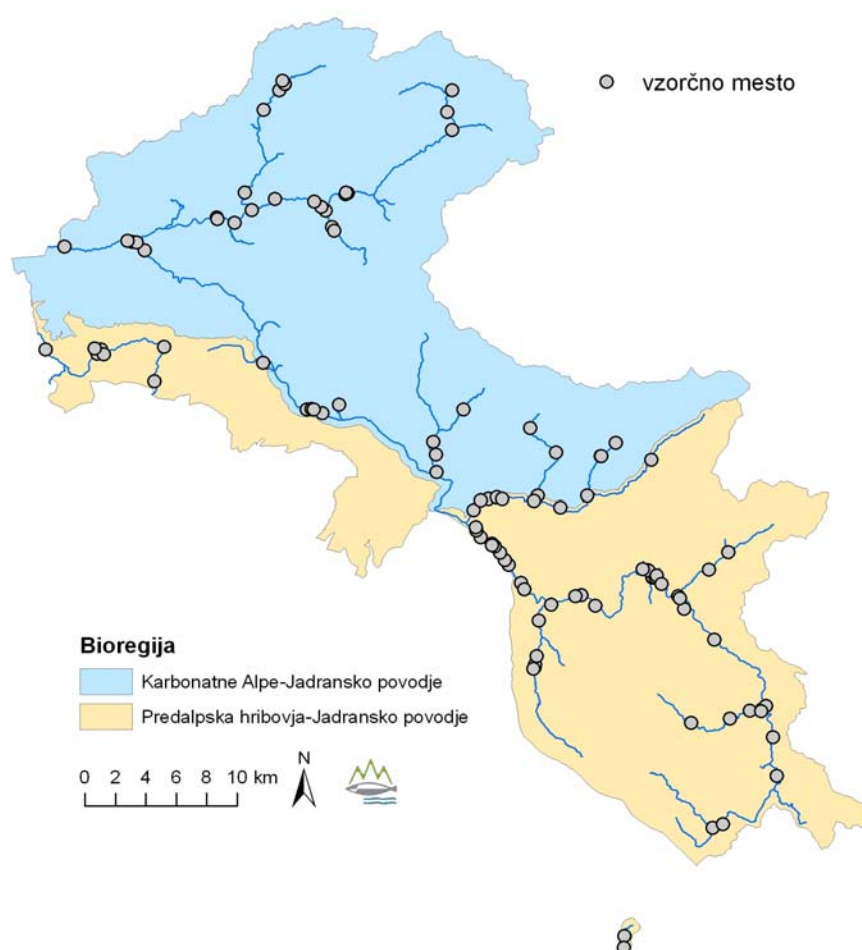
Z besedo biološka metrika označujemo merljivi del ali proces biološkega sistema (združbe), ki se spreminja vzdolž gradienta človeškega vpliva (Karr in Chu, 1999). Glede na značilnost združbe, ki jo s posamezno metriko merimo ločimo več tipov metrik (Hughes in Oberdorff 1999, Duissling in sod. 2004, Pont in sod. 2006, Urbanič in Podgornik 2011):

- a) razmnoževanje (litofilne, lito-pelagofilne, pelagofilne, psamofilne, fitofilne, fito-litofilne, speleofilne, ostrakofilne, morske);
- b) habitat (reofilne, stagnofilne, indiferentne);
- c) habitat-cona (reoritalne, reopotamalne, indiferentne-stagnofilne);
- d) prehranske skupine (planktivorne, invertivorne, piscivorne, inverti-piscivorne, herbivorne, omnivorne);
- e) tolerantnost (tolerantne, občutljive);
- f) migracija-dolžina (kratke razdalje, srednje razdalje, dolge razdalje);
- g) migracija-tip (anadromne, katadromne, potamodromne).

Za multimetrijski indeks je potrebno združiti tiste metrike, na podlagi katerih lahko razlikujemo med spremenjenim in nespremenjenim stanjem. Najboljše so metrike, za katere smo opazili, da se jasno odzivajo na obremenitve v okolju. Multimetrijski indeks naj bi bil sestavljen iz različnih tipov metrik, saj s tem vključimo različne vidike združbe organizmov (Karr 1981, Hughes in Oberdorff 1999).

2 METODE IN MATERIALI

Za razvoj metode vrednotenja in razvrščanja vodnih teles rek v subhidroekoregiji Alpe-jadransko povodje smo uporabili 135 vzorcev pridobljenih na 104 vzorčnih mestih (slika 5).



Slika 5. Lokacije vzorčnih mest na katerih smo pridobili podatke za razvoj metode vrednotenja ekološkega stanja rek na podlagi rib v subhidroekoregiji Alpe-jadransko povodje.

2.1 Določitev in razširjenost ribjih tipov rek

Določitev ribjih tipov smo naredili za razmere kot bi bile v referenčnih razmerah t.j. brez oz. z zanemarljivim vplivom človeka. Za določitev ribjih tipov rek smo uporabili podatke z vzorčnih mest za katere smo ocenili, da niso obremenjena oz. so malo obremenjena. Za izbor teh mest smo uporabili naslednje kriterije:

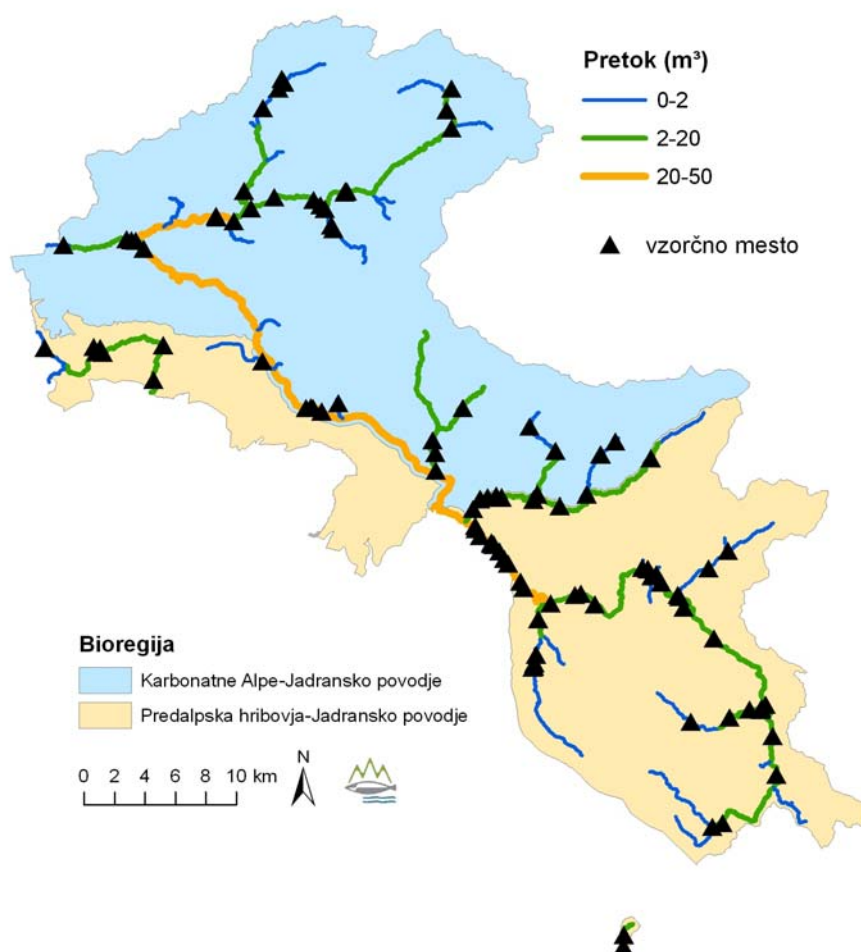
- a) hidromorfološki razred spremenjenosti (VGI, 2002) ≤ 2 ;
- b) oddaljenost od dolvodne pregrade > 2 km;
- c) delež urbanih površin (Corine Land Cover) v celotnem prispevnem območju $< 1\%$;
- d) delež naravnih površin (Corine Land Cover) v celotnem prispevnem območju $> 70\%$;
- e) delež kmetijskih površin (Corine Land Cover) v celotnem prispevnem območju $< 20\%$;

Na izbranih mestih smo upoštevali le podatke vrst, ki so avtohtone v jadranskem povodju. Zaradi tega nismo upoštevali podatkov o šarenki (*Onchorynchus mykiss*) in potočni postrvi (*Salmo trutta*). Kljub temu smo upoštevali podatke o križancih med soško postrvjo (*Salmo marmorata*) in potočno postrvjo.

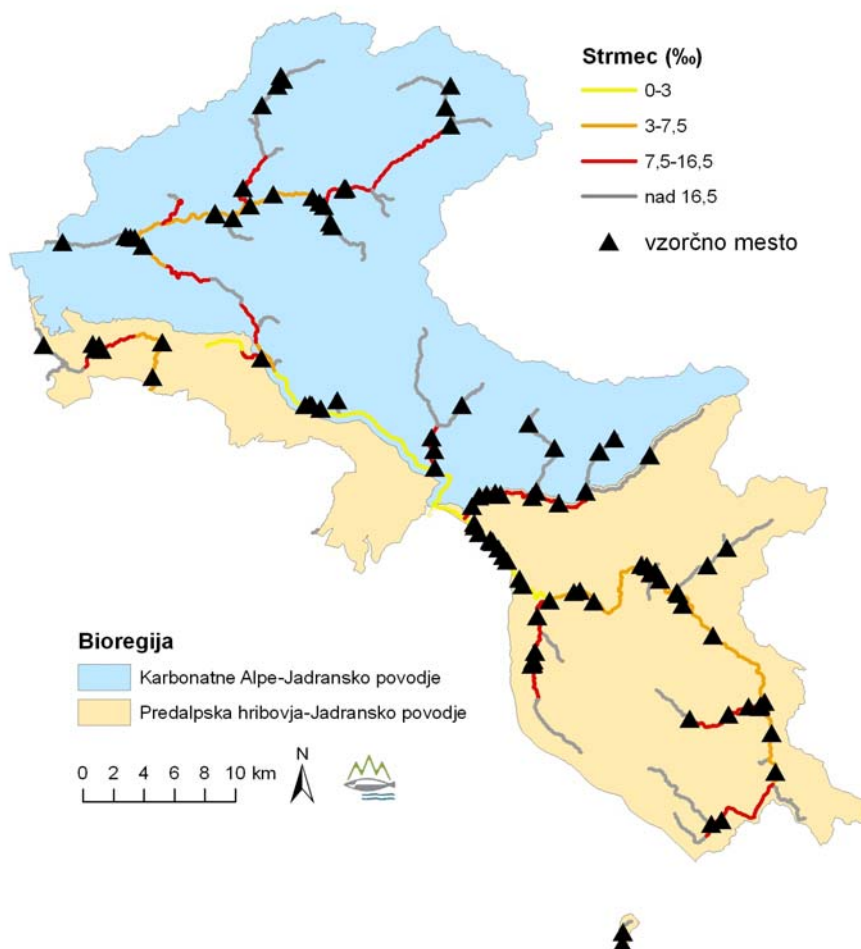
Koraki v določitvi ribjih tipov rek:

- a) analiza TWINSpan z upoštevanjem vrstne sestave (kvalitativni podatki);
- b) določitev značilnih vrst ribjih tipov na podlagi rezultatov analize TWINSpan;
- c) nemetrično multidimenzionalno skaliranje z upoštevanjem vrstne sestave in številčnosti (logaritemsko transformirani podatki) ter preveritev ustreznosti delitve na ribje tipe na podlagi analize ANOSIM;
- d) kanonična korespondenčna analiza (CCA) - izvedli smo jo z uporabo kvantitativnih podatkov o avtohtonih vrstah rib v jadranskem povodju in z okoljskimi spremenljivkami, ki odražajo naravne značilnosti rek (preglednica 2): razred pretoka vode (slika 6), naklon terena, razred naklona terena (slika 7), razred širine vodotoka (slika 8), razred velikosti prispevne površine (slika 9);
- e) določitev razširjenosti ribjih tipov v subhidroekoregiji Alpe-jadransko povodje - določili smo jih na podlagi:
 - podatkov iz referenčnih vzorčnih mest,

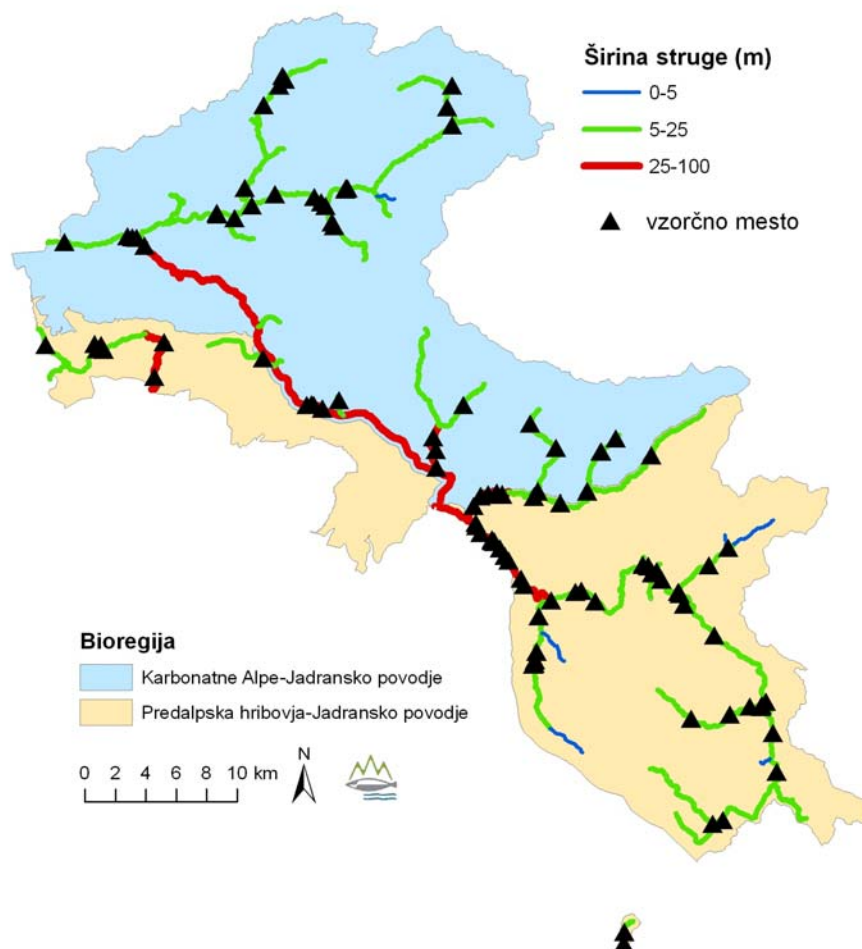
- zgodovinskih podatkov (Heckel in Knerr 1858, Franke 1892, Gridelli 1936),
- ugotovljenih vplivov okoljskih spremenljivk na združbe rib,
- podatkov ribiškega katastra,
- podatkov pridobljenih na podlagi komunikacije z gospodarji ribiških družin Tolmin in Idrija;



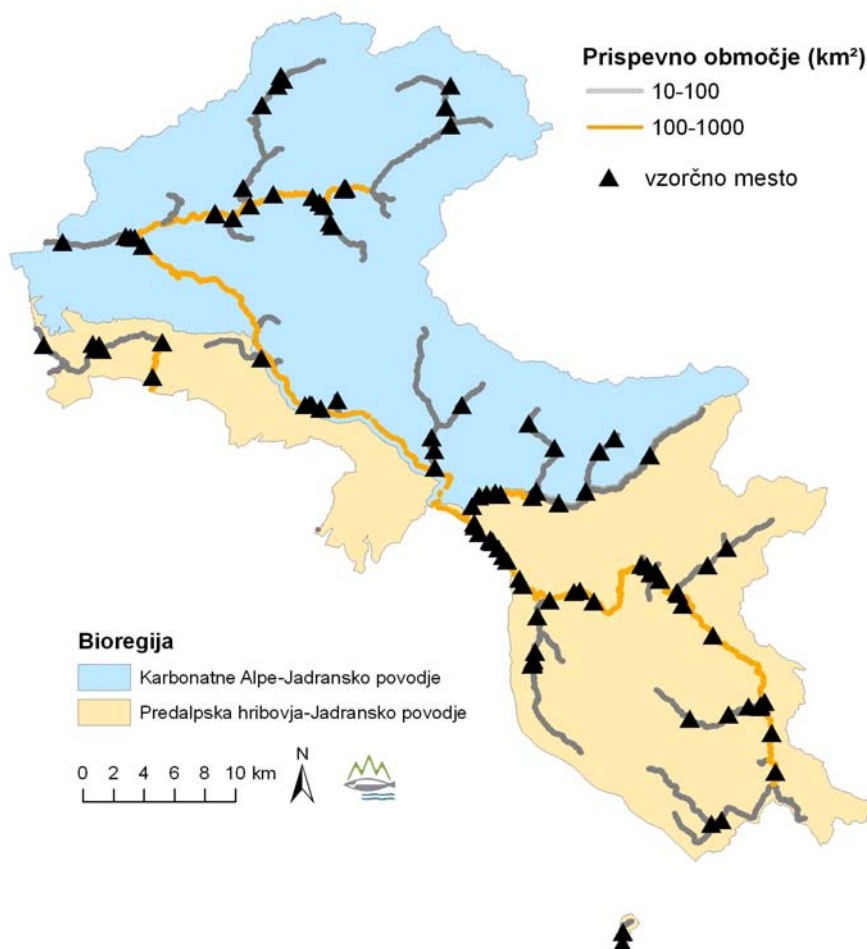
Slika 6. Razredi pretoka vode in lokacije vzorčnih mest v subhidroekoregiji Alpe-jadransko povodje v Sloveniji (oranžna barva).



Slika 7. Razredi naklona terena in lokacije vzorčnih mest v subhidroekoregiji Alpe-jadransko povodje v Sloveniji (oranžna barva).



Slika 8. Razredi širine vodotoka in lokacije vzorčnih mest v subhidroekoregiji Alpe-jadransko povodje v Sloveniji (oranžna barva).



Slika 9. Razredi velikosti prispevne površine in lokacije vzorčnih mest v subhidroekoregiji Alpe-jadransko povodje v Sloveniji (oranžna barva).

Preglednica 2. Mediana in razpon vrednosti spremenljivk, ki odražajo naravne značilnosti rek.

Okoljska spremenljivka	Koda	Mediana	Minimum	Maksimum
stermec-razred	strmec_S	3	1	4
velikost prispevne površine-razred	VPP	2	0	2
nadmorska višina (m)	MNV	245	105	889
stermec (%)	strmec	8,39	1,4	92,3
širina struge-razred	sirina_S	2	2	3
pretok-razred	pretok_S	2	1	3
oddaljenost od izvira	Odd_izvir	15,4	1,3	57,2
temperatura zraka-januar	temp_jan	0,6	-0,7	2,7
temperatura zraka-julij	temp_jul	20	18,7	21,4
bioregija	BIO	2	1	2

TWINSPAN analizo smo izvedli s programom WinTWINS 2.3 (Hill in Šmilauer 2005), CCA pa s programom CANOCO 4.5. (Šmilauer in Ter Braak, 2002).

2.2 Določitev gradienta obremenitve

Gradient obremenitve smo določili na podlagi rezultatov kanonične korespondenčne analize (CCA) z upoštevanjem vseh 136 vzorcev. CCA smo izvedli z uporabo kvantitativnih podatkov o avtohtonih vrstah rib v jadranskem povodju in okoljskimi spremenljivkami, ki odražajo obremenitve rek (preglednica 3):

- a) hidromorfološki razred spremenjenosti (VGI, 2002);
- b) oddaljenost od dolvodne pregrade;
- c) oddaljenost od gorvodne pregrade;
- d) dolžina odseka brez pregrad;
- e) delež urbanih površin (Corine Land Cover) v celotnem prispevnem območju;
- f) delež naravnih površin (Corine Land Cover) v celotnem prispevnem območju;
- g) delež kmetijskih površin (Corine Land Cover) v celotnem prispevnem območju;
- h) delež urbanih površin (Corine Land Cover) v neposrednem prispevnem območju;
- i) delež naravnih površin (Corine Land Cover) v neposrednem prispevnem območju;
- j) delež kmetijskih površin (Corine Land Cover) v neposrednem prispevnem območju;
- k) število MHE v neposrednem prispevnem območju;
- l) število industrijskih iztokov v neposrednem prispevnem območju;
- m) število aglomeracij v neposrednem prispevnem območju;
- n) število komunalnih čistilnih naprav v neposrednem prispevnem območju.

V CCA smo spremenljivki naklon terena in velikost prispevne površine uporabili kot sospremenljivki in s tem pri ugotavljanju vpliva obremenitev upoštevali naravne (tipološke) značilnosti vodotokov. Gradient obremenitve smo izračunali iz vrednosti spremenljivk s katerimi smo statistično značilno ($p < 0,05$) in neodvisno ($\lambda_A > 0$) pojasnili deleže variabilnosti združb rib v subhidroekoregiji Alpe-jadransko povodje. Spremenljivke smo izbrali z metodo izbiranja (angl. forward selection). Izbrane spremenljivke smo pred izračunom gradienta normalizirali. Kot zgornjo mejo smo določili najboljšo (najvišjo oz. najnižjo) možno vrednost

spremenljivke, medtem ko smo spodnjo mejo določili kot najslabšo možno vrednost za spreminljivke rabe tal oz. najslabšo izmerjeno vrednost za ostale spreminljivke. Gradient obremenitve smo izračunali kot utežno povprečje normaliziranih vrednosti okoljskih spreminljivk in za uteži uporabili λ_A vrednosti iz CCA. Gradient obremenitve smo pomnožili s faktorjem 100 in tako teoretično dobili vrednosti v razponu med 0 in 100. Vrednost 0 imajo neobremenjena mesta, vrednost 100 pa močno obremenjena mesta.

Preglednica 3. Mediana in razpon vrednosti spreminljivk obremenitev rek.

Okoljska spreminljivka	Koda	Mediana	Minimum	Maksimum
delež naravnih površin (Corine Land Cover) v celotnem prispevnem območju	NARkuRAZ	91,07	66,80	100
delež kmetijskih površin (Corine Land Cover) v celotnem prispevnem območju	KMEkuRAZ	8,91	0	32,43
delež urbanih površin (Corine Land Cover) v celotnem prispevnem območju	URBkuRAZ	0	0	1,59
delež urbanih površin (Corine Land Cover) v neposrednem prispevnem območju	URBneRAZ	0	0	26,39
delež kmetijskih površin (Corine Land Cover) v neposrednem prispevnem območju	KMEneRAZ	16,57	0	100
delež naravnih površin (Corine Land Cover) v neposrednem prispevnem območju	NARneRAZ	83,43	0	100
število komunalnih čistilnih naprav v neposrednem prispevnem območju	KCN04NEP	0	0	1
število industrijskih iztokov v neposrednem prispevnem območju	IND04NEP	0	0	1
število aglomeracij v neposrednem prispevnem območju	Ag50NEP	0	0	3
oddaljenost od gorvodne pregrade	OddZgPRE	5,5	0,1	51
oddaljenost od dolvodne pregrade	OddSpPRE	14,2	0	63,8
dolžina odseka brez pregrad	prosti odsek	33,1	0,1	66,4
hidromorfološki razred spremenjenosti (VGI, 2002)	HM_raz7	2	1	6
število MHE v neposrednem prispevnem območju	mHE07NEP	0	0	3

Vzorčna mesta smo glede na vrednosti gradienta obremenitve razdelili v tri razrede:

- razred 1 – referenčna mesta (glej poglavje 3.3);
- razred 2 – gradient obremenitve ≤ 20 ;
- razred 3 – gradient obremenitve > 20 .

2.3 Izbor referenčnih mest

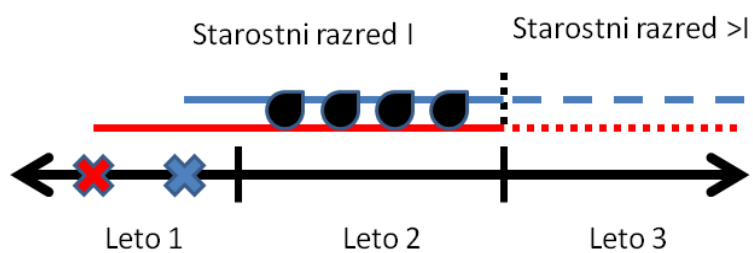
Kot kriterij za izbor referenčnih mest smo izbrali kriterije, ki sta jih določila za vodotoke Slovenije Urbanič in Smolar-Žvanut (2005), vendar nismo upoštevali kriterija biološka obremenitev. V zameno za uporabo kriterija biološka obremenitev, ki sta ga predlagala Urbanič in Smolar-Žvanut (2005), smo kot referenčna izbrali le tista mesta, ki so v združbi imela <10% osebkov tujerodnih vrst (šarenka in potočna postrv). Poleg tega smo kot dodatni kriterij za izbor referenčnih mest izbrali vrednost gradienta obremenitve določenega v naši raziskavi <10.

2.4 Uporabljeni biološki podatki in izračun bioloških metrik

Izračunali smo preko 100 bioloških metrik. Podatke za izračun metrik smo povzeli po Dussling in sod. (2004) ter Urbanič in Podgornik (2011) ter za vrste, ki jih omenjeni avtorji ne obravnavajo (npr. soška postrv, grba) sami določili ekološke značilnosti vrst (preglednica 4). Pri izračunu metrik smo upoštevali le podatke o avtohtonih vrstah, podatke o križancu med soško in potočno postrvjo pa prišteli k podatkom o soški postrvi. Le pri izračunu metrike »biomasa vseh vrst rib« smo upoštevali podatke o vseh vrstah rib. Za vse metrike smo podali vrednosti na hektar površine. Za vrste, ki so uvrščene v kategorijo »reoritalne vrste«, smo za vsak osebek določili tudi pripadnost starostnemu razredu. Uporabili smo starostna razreda:

- starostni razred I in
- starejši kot starostni razred I.

Uvrstitev osebkov v starostni razred glede na čas drstitve, je prikazana na sliki 10.



Legenda:

✕ - drst

● - vzorčenje

Slika 10. Določitev starostnih razredov osebkov rib pri izračuni indeksa SIFAIR.

Preglednica 4. Ekološka klasifikacija in avtohtonost ribjih vrst v subhidroekoregijah ekoregije Alpe v Sloveniji.

Št.	Vrsta	Vrsta-latinsko ime	Habitat-cona	Koda	Reprodukcija	Autohtonost-jadransko porečje	Autohtonost- donavsko povodje
1	<i>androga</i>	<i>Abramis bjoerkna</i>	indiferentna/stagnofilna		fitofilna	ne	da
2	<i>babica</i>	<i>Barbatula barbatula</i>	reopotamalna		psamofilna	ne	da
3	<i>barjanski kapelj</i>	<i>Cottus metae</i>	reoritralna		speleofilna	ne	da
4	<i>blistavec</i>	<i>Telestes souffia</i>	reoritralna	TEL_SOU	litofilna	da	da
5	<i>donavski potočni piškur</i>	<i>Eudontomyzon vladkovi</i>	reopotamalna		litofilna	ne	da
6	<i>grba</i>	<i>Barbus plebejus</i>	reopotamalna	BAR_PLE	litofilna	da	ne
7	<i>jegulja</i>	<i>Anguilla anguilla</i>	indiferentna/stagnofilna		morska	da	ne
8	<i>jezerska zlatovčica</i>	<i>Salvelinus alpinus</i>	indiferentna/stagnofilna		litofilna	ne	ne
9	<i>kapelj</i>	<i>Cottus gobio</i>	reoritralna	COT_GOB	litofilna	da	da
10	<i>klen</i>	<i>Squalius cephalus</i>	reopotamalna		litofilna	ne	da
11	<i>klenič</i>	<i>Leuciscus leuciscus</i>	reopotamalna		litofilna	ne	da
12	<i>linj</i>	<i>Tinca tinca</i>	indiferentna/stagnofilna		fitofilna	da	da
13	<i>lipan</i>	<i>Thymallus thymallus</i>	reoritralna	THY_THY	litofilna	da	da
14	<i>menek</i>	<i>Lota lota</i>	reopotamalna		lito-pelagofilna	ne	da
15	<i>mrena</i>	<i>Barbus barbus</i>	reopotamalna		litofilna	ne	da
16	<i>navadni globoček</i>	<i>Gobio obtusirostris</i>	reopotamalna		psamofilna	ne	da
17	<i>navadni okun</i>	<i>Gymnocephalus cernuus</i>	indiferentna/stagnofilna		fito-litofilna	ne	da
18	<i>navadni ostriž</i>	<i>Perca fluviatilis</i>	indiferentna/stagnofilna		fito-litofilna	da	da
19	<i>pisanec</i>	<i>Phoxinus phoxinus</i>	reopotamalna	PHO_PHO	litofilna	da	da
20	<i>pisanka</i>	<i>Alburnoides bipunctata</i>	reopotamalna		litofilna	ne	da
21	<i>platnica</i>	<i>Rutilus virgo</i>	reopotamalna		fito-litofilna	ne	da
22	<i>ploščič</i>	<i>Abramis brama</i>	indiferentna/stagnofilna		fito-litofilna	ne	da
23	<i>podust</i>	<i>Chondrostoma nasus</i>	reopotamalna		litofilna	ne	da
24	<i>pohra</i>	<i>Barbus balcanicus</i>	reopotamalna	BAR_BAL	litofilna	da	da
25	<i>potočna postrv</i>	<i>Salmo trutta</i>	reoritralna		litofilna	ne	da
26	<i>potočna zlatovčica</i>	<i>Salvelinus fontinalis</i>	reoritralna		litofilna	ne	ne
27	<i>rdečeočka</i>	<i>Rutilus rutilus</i>	indiferentna/stagnofilna		fito-litofilna	ne	da
28	<i>rdečeperka</i>	<i>Scardinius erythrophthalmus</i>	indiferentna/stagnofilna		fitofilna	da	da
29	<i>sončni ostriž</i>	<i>Lepomis gibbosus</i>	indiferentna/stagnofilna		fito-litofilna	ne	ne

**Preglednica 4 . nadaljevanje**

Št.	Vrsta	Vrsta-latinsko ime	Habitat-cona	Koda	Reprodukcija	Autohtonost-jadransko porečje	Autohtonost- donavsko povodje
30	soška postrv	<i>Salmo marmorata</i>	reoritalna	SAL_MAR	litofilna	da	ne
31	sulec	<i>Hucho hucho</i>	reoritalna		litofilna	ne	da
32	šarenka	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	reoritalna		litofilna	ne	ne
33	štrkavec	<i>Squalius squalus</i>	reopotamalna	SQU-SQA	litofilna	da	ne
34	zelenika	<i>Alburnus alburnus</i>	indiferentna/stagnofilna		fito-litofilna	ne	da
35	zlata nežica	<i>Sabanajewia balcanica</i>	reopotamalna		pfitofilnac	ne	da
36	zvezdogled	<i>Romanogobio uranoscopus</i>	reopotamalna		litofilna	ne	da

2.5 Izračun slovenskega indeksa za vrednotenje ekološkega stanja rek na podlagi rib (SIFAIR)

Za izgradnjo multimetrijskega indeksa SIFAIR v subhidroekoregiji Alpe-donavsko povodje, smo uporabili iste metrike, kot jih uporabljamo za vrednotenje ekološkega stanja rek na podlagi rib v subhidroekoregiji Alpe-donavsko porečje (preglednica 5).

Preglednica 5. Metrike uporabljenih pri izračunu indeksa SIFAIR.

Metrika	Metrika-koda	Opis metrike	Enota
biomasa-reoritrane vrste (	RR_biomasa	biomasa reoritrane vrste	kg/ha
biomasa-vse vrste	Vse_biomasa	biomasa vseh vrst	kg/ha
delež abundance reoritrane vrste - stari	RR_stare_a_p	delež abundance reoritrane vrste starejših kot starostni razred I	% (abundanca)
reoritrane vrste	RR_n_p	delež reoritrane vrste	% (število)

Metrike smo testirali ločeno po ribjih tipih rek in skupinah ribjih tipov. Naredili smo dve razdelitvi ribjih tipov v skupine:

- razdelitev ribjih tipov v dve skupini; v skupino ribjih tipov »malo vrst« smo uvrstili ribje tipe E1, E2 in M1, v skupino »veliko vrst« pa ribji tip H.
- razdelitev ribjih tipov v tri skupine; ena vrsta (ribji tip E1), srednje veliko vrst (ribja tipa E2 in M1) in veliko vrst (ribji tip H). Kadar med ribjimi tipi na referenčnih mestih nismo ugotovili statistično značilnih razlik ($p > 0,05$) v vrednostih metrik, smo skupine tipov združili. Za vse skupine tipov rek smo uporabili enak postopek testiranja metrik in razvoja indeksa SIFAIR:

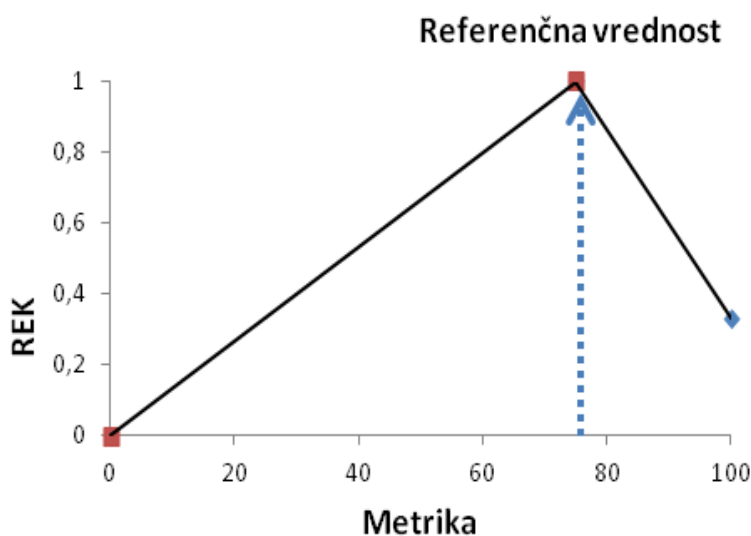
- Izračun soodvisnosti** (Spearmanov korelacijski koeficient) med gradientom obremenjenosti (preglednica 6) in posamezno biološko metriko.
- Normalizacija metrik:**
 - določitev referenčne vrednosti; vsem metrikam smo določili referenčno vrednost kot mediano vrednosti podatkov z referenčnih mest (preglednica 7).
 - določitev spodnje meje: pri metrikah, za katere smo ugotovili negativni odziv na obremenitev (padajoča metrika) smo spodnjo mejo določili kot najnižjo možno vrednost. Pri metriki »biomasa vseh vrst rib« smo spodnjo

mejo določili na podlagi kombinacije ekspertnega mnenja in opaženih vrednosti na najbolj obremenjenih mestih.

- c. Z izračunom razmerja med vrednostjo metrike in referenčno vrednostjo metrike dobimo razmerje ekološke kakovosti (REK), ki nam pove odstopanje od referenčne vrednosti. Razmerje ekološke kakovosti (REK) smo izračunali po enačbi (1):

$$REK = \frac{\text{vrednost metrike} - \text{spodnja meja}}{\text{referenčna vrednost} - \text{spodnja meja}} \quad \dots(1)$$

- d. Pri metrikah, za katere smo ugotovili, da se ob večanju obremenitve vrednost metrike lahko poveča (unimodalni vzorec odziva), smo vrednostim nad referenčno vrednostjo določili REK vrednosti <1 , pri čemer pomeni odklon $+0,01$ enako odstopanje od $REK=1$ kot odklon $-0,01$ (slika 11).



Slika 11. Grafični prikaz normalizacije metrik z unimodalnim odzivom; vrednosti metrike višje in nižje od referenčne vrednosti ustrezajo vrednosti $REK < 1$.

- e. Vsem REK vrednostim metrik, manjšim od 0, smo pripisali vrednost 0.

3. Določitev mejnih vrednosti med razredi ekološkega stanja za metriki biomasa vseh vrst rib in biomasa reoritrlnih vrst rib;

Mejne vrednosti med razredi ekološkega stanja za metriki biomasa vseh vrst rib in biomasa reoritrlnih vrst rib smo določili ločeno za skupine tipov »malo vrst« in »veliko vrst«. Meje smo določili na podlagi razporeditve podatkov o biomasah na referenčnih oz. nereferenčnih mestih. Za določitev mejnih vrednosti metrike biomasa vseh vrst rib smo uporabili naslednja pravila:

- a) mejna vrednost zelo dobro/dobro - 75-ti percentil vrednosti na referenčnih mestih (»malo vrst«) oz. 90-ti percentil vrednosti na referenčnih mestih (»veliko vrst«);
- b) mejna vrednost dobro/zmerno - 75-ti percentil vrednosti na nereferenčnih mestih (vsi ribji tipi);
- c) mejna vrednost zmerno/slabo - 90-ti percentil vrednosti na nereferenčnih mestih (vsi ribji tipi);
- d) mejna vrednost slabo/zelo slabo - 95-ti percentil vrednosti na nereferenčnih mestih (vsi ribji tipi).

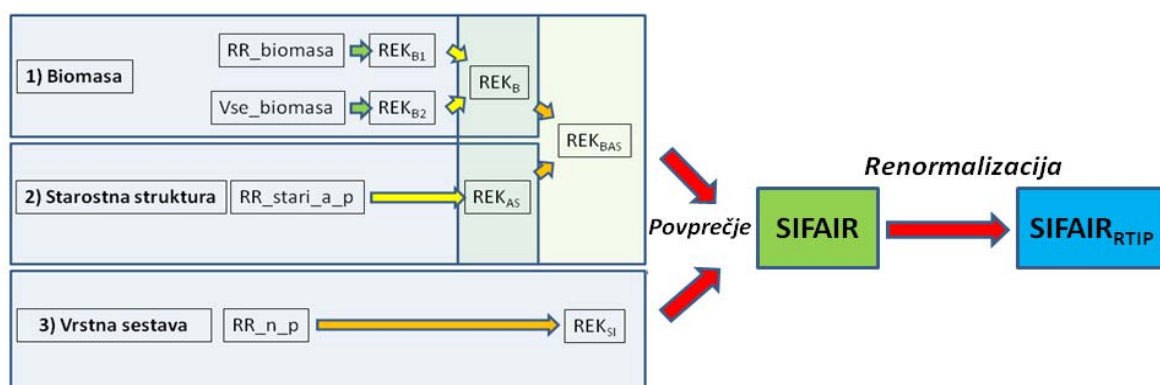
Za določitev mejnih vrednosti metrike biomasa reoritrlnih vrst rib smo uporabili naslednja pravila:

- e) mejna vrednost zelo dobro/dobro - 50-ti percentil vrednosti na nereferenčnih mestih (»malo vrst«);
- f) mejna vrednost dobro/zmerno - 25-ti percentil vrednosti na nereferenčnih mestih (»malo vrst«);
- g) mejna vrednost zmerno/slabo - 10-ti percentil vrednosti na nereferenčnih mestih (»malo vrst«);
- h) mejna vrednost slabo/zelo slabo - 5-ti percentil vrednosti na nereferenčnih mestih (»malo vrst«).

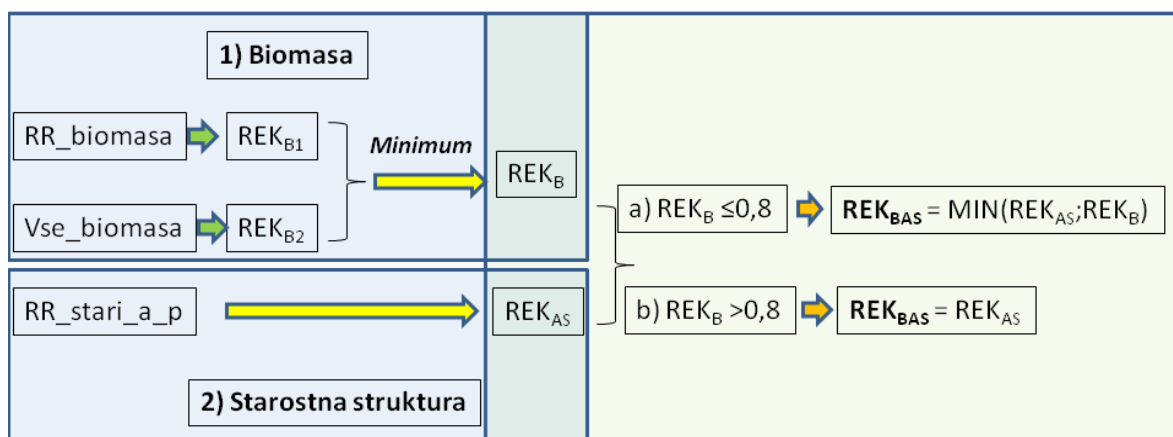
Za metriko biomasa reoritrlnih vrst rib za skupino »veliko vrst«, mej med razredi ekološkega stanja nismo določali. Uporabili smo le normalizirane vrednosti, kot tudi za metrike, ki ne odražajo biomase rib. Normalizirane vrednosti biomase vseh vrst rib in biomase reoritrlnih vrst rib (skupina malo vrst) smo pred izračunom indeksa SIFAIR transformirali – naredili smo t.i. linearno transformacijo po odsekih (angl. piecewise linear transformation). To pomeni, da smo s transformacijo iz

normaliziranih mejnih vrednosti dobili naslednje transformirane mejne vrednosti: 0,8, 0,6, 0,4 in 0,2.

4. **Izračun indeksa SIFAIR_{RTIP}**; indeks SIFAIR smo izračunali po enakem postopku kot jih uporabljamo za vrednotenje ekološkega stanja rek na podlagi rib v subhidroekoregiji Alpe-donavsko porečje (Urbanič in Podgornik 2011) (sliki 12-13).



Slika 12. Diagram za izračun slovenskega indeksa za vrednotenje ekološkega stanja rek na podlagi rib (SIFAIR) v subhidroekoregiji Alpe-jadransko povodje. SIFAIR_{RTIP} – za tip značilni SIFAIR. Za kode metrik glej preglednico 5.



Slika 13. Algoritem za izračun razmerja ekološke kakovosti (REK) na podlagi metrik biomase in starostne strukture pri izračunu slovenskega indeksa za vrednotenje ekološkega stanja rek na podlagi rib (SIFAIR) v subhidroekoregiji Alpe-jadransko povodje. Za kode metrik glej preglednico 5.

Preglednica 6. Mediana in razpon vrednosti gradienta obremenitve po posameznih ribjih tipih.

Ribji tip	Mediana	Minimum	Maksimum
E1	4,56	0	8,35
E2	15,80	0	43,97
M1	10,73	4,55	22,53
H	17,57	4,88	30,11

Preglednica 7. Število vzorcev, referenčnih vzorcev in nereferenčnih vzorcev vključenih v analize po skupinah ribjih tipov rek.

Ribji tip	Število vzorcev	Število referenčnih vzorcev	Število nereferenčnih vzorcev
E1	17	10	7
E2	30	3	27
M1	45	11	34
H	43	5	38

2.6 Določitev mejnih vrednosti indeksa SIFAIR med razredi ekološkega stanja

Mejne vrednosti indeksa SIFAIR smo določili za vsako skupino ribjih tipov posebej. V vseh primerih smo uporabili postopek v treh korakih:

1. Določitev za tip značilnih referenčnih vrednosti multimetrijskega indeksa – normalizacija indeksa SIFAIR. Referenčno vrednost indeksa SIFAIR smo za vse ribje tipe umerili na razmerje ekološke kakovosti (REK) = 1. Vrednosti indeksa SIFAIR smo delili z mediano vrednosti indeksa SIFAIR na referenčnih mestih:

$$SIFAIR_{RTIP} = \frac{SIFAIR}{MedianaSIFAIR_{REF}} \quad \dots(2)$$

2. Določitev mejnih vrednosti za stanja zelo dobro/dobro in dobro/zmerno ekološko stanje. Mejne vrednosti smo določili na podlagi razporeditve podatkov indeksa $SIFAIR_{RTIP}$ v treh razredih gradienta obremenitve:
 - a) mejna vrednost zelo dobro/dobro stanje smo določili kot mediano razreda



- obremenitve 2;
- b) mejna vrednost dobro/zmerno stanje smo določili kot mediano razreda obremenitve 3.
3. Določitev mejnih vrednosti za stanja zmerno/slabo in slabo/zelo slabo ekološko stanje. Mejne vrednosti smo določili z ekvidistančno razdelitvijo razpona vrednosti indeksa $SIFAIR_{RTIP}$ med spodnjo mejo in mejo dobro/zmerno stanje na tri dele.

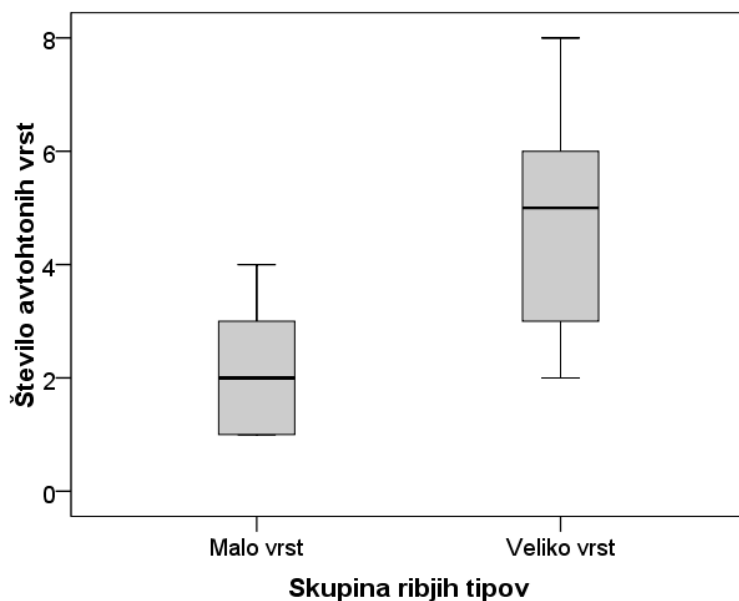
2.7 Transformacija mejnih vrednosti »REK« indeksa $SIFAIR_{RTIP}$ med ekološkimi stanji

Zaradi lažje neposredne primerjave vrednosti REK (razmerje ekološke kakovosti) med različnimi ribjimi tipi in tipi rek v Sloveniji smo mejne vrednosti indeksa $SIFAIR_{RTIP}$ transformirali tako, da smo vsem ribjim tipom uskladili mejne vrednosti (preglednica 8). Za vsak razred ekološkega stanja smo določili transformacijsko enačbo.

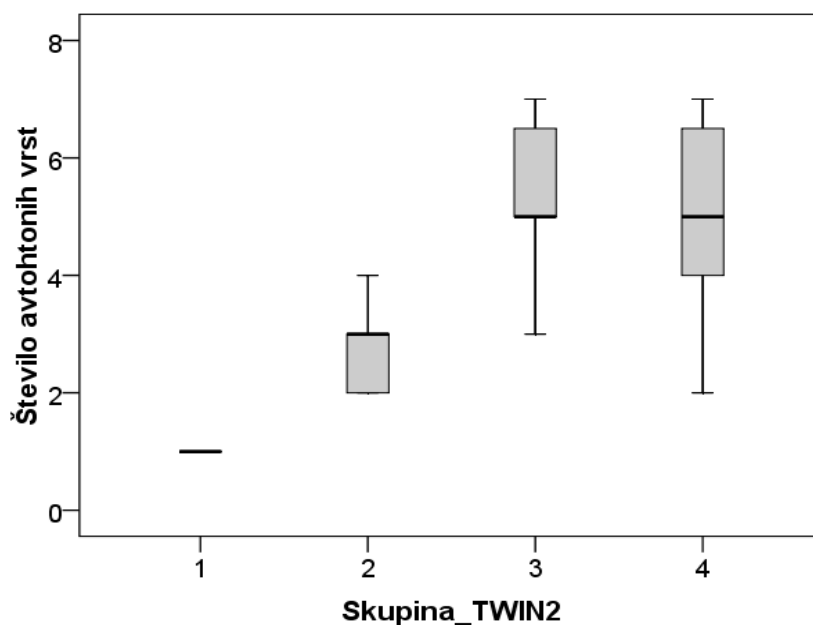
Preglednica 8. Mejne vrednosti razredov in ustrezna vrednost razmerja ekološkega kakovosti (REK) indeksa $SIFAIR_{RTIP}$ po transformaciji vrednosti.

$SIFAIR_{RTIP_trans}$	Mejna vrednost
1	referenčna vrednost
0,8	mejna vrednost zelo dobro/dobro stanje
0,6	mejna vrednost dobro/zmerno stanje
0,4	mejna vrednost zmerno/slabo stanje
0,2	mejna vrednost slabo/zelo slabo stanje
0,0	spodnja meja

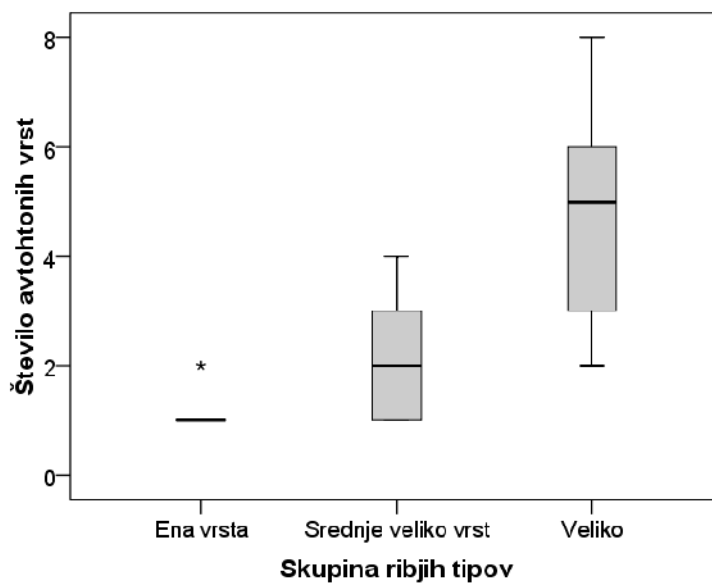
Slika 14. Rezultati analize TWINSPAN s kvalitativnimi podatki o vrstah rib z upoštevanjem »dobrih mest«. Za razlago kod vrst rib glej preglednico 4.



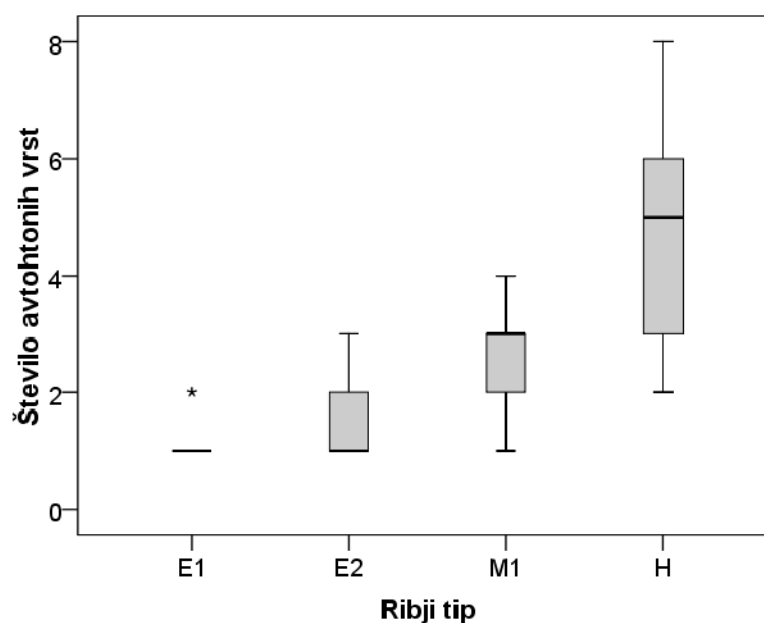
Slika 15. Število avtohtonih ribjih vrst v posameznem vzorcu glede na skupino ribjih tipov po prvi delitvi v analizi TWINSpan z upoštevanjem »dobrih mest« v subhidroekoregiji Alpe-jadransko povodje.



Slika 16. Število avtohtonih ribjih vrst v posameznem vzorcu glede na skupino ribjih tipov po drugi delitvi v analizi TWINSpan (Skupina_TWIN2) z upoštevanjem »dobrih mest« v subhidroekoregiji Alpe-jadransko povodje.



Slika 17. Število avtohtonih ribjih vrst v posameznem vzorcu glede na skupino ribjih tipov po drugi delitvi v analizi TWINSpan z upoštevanjem »dobrih mest« v subhidroekoregiji Alpe-jadransko povodje.

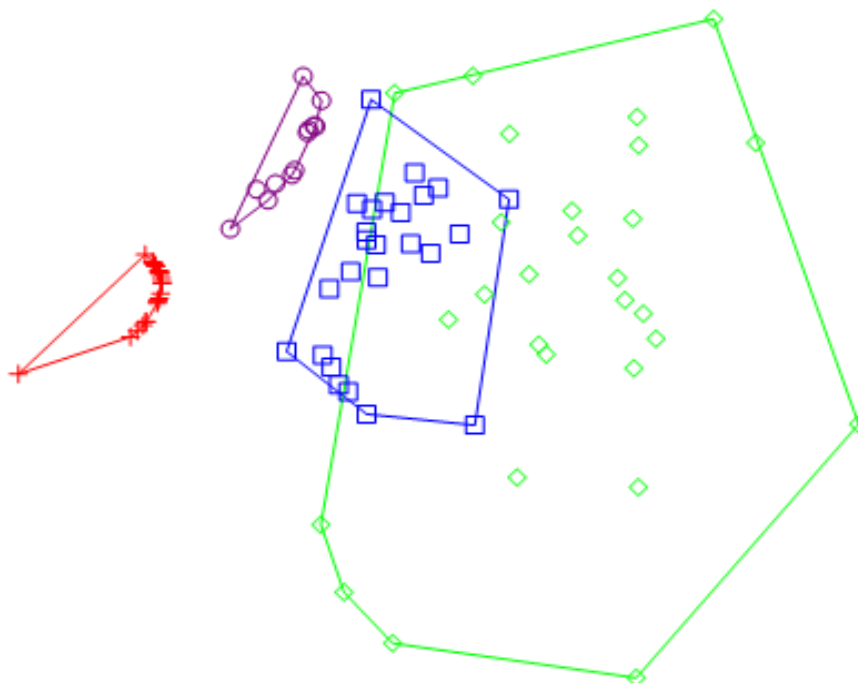


Slika 18. Število avtohtonih ribjih vrst v posameznem vzorcu glede na ribji tip z upoštevanjem »dobrih mest« v subhidroekoregiji Alpe-jadransko povodje.



Zaporedna številka	Ime vrste	Latinsko ime	Ribji tip			
			E1	E2	M1	H
1	soška postrv	<i>Salmo marmorata</i>	x	x	x	x
2	kapelj	<i>Cottus gobio</i>		x	x	x
3	lipan	<i>Thymallus thymallus</i>			x	x
4	blistavec	<i>Telestes souffia</i>				x
5	pisanec	<i>Phoxinus phoxinus</i>				x
6	pohra	<i>Barbus balcanicus</i>				x
7	štrkavec	<i>Squalius squalus</i>				x
8	grba	<i>Barbus plebejus</i>				x

Na podlagi analize NMS smo ugotovili, da se vzorčna mesta prepoznanih ribjih tipov dobro razlikujejo na podlagi vrstnega sestava in številčnosti (slika 20). Ustreznost razdelitve vzorčnih mest v štiri ribje tipe smo potrdili tudi z analizo ANOSIM (Globalni $R = 0,62$, $p < 0,0001$). S primerjavo podobnosti ribjih združb med pari posameznih ribjih tipov smo ugotovili, da se ribje združbe med vsemi pari ribjih tipov statistično značilno razlikujejo ($R = 0,42-0,92$, $p < 0,0001$).

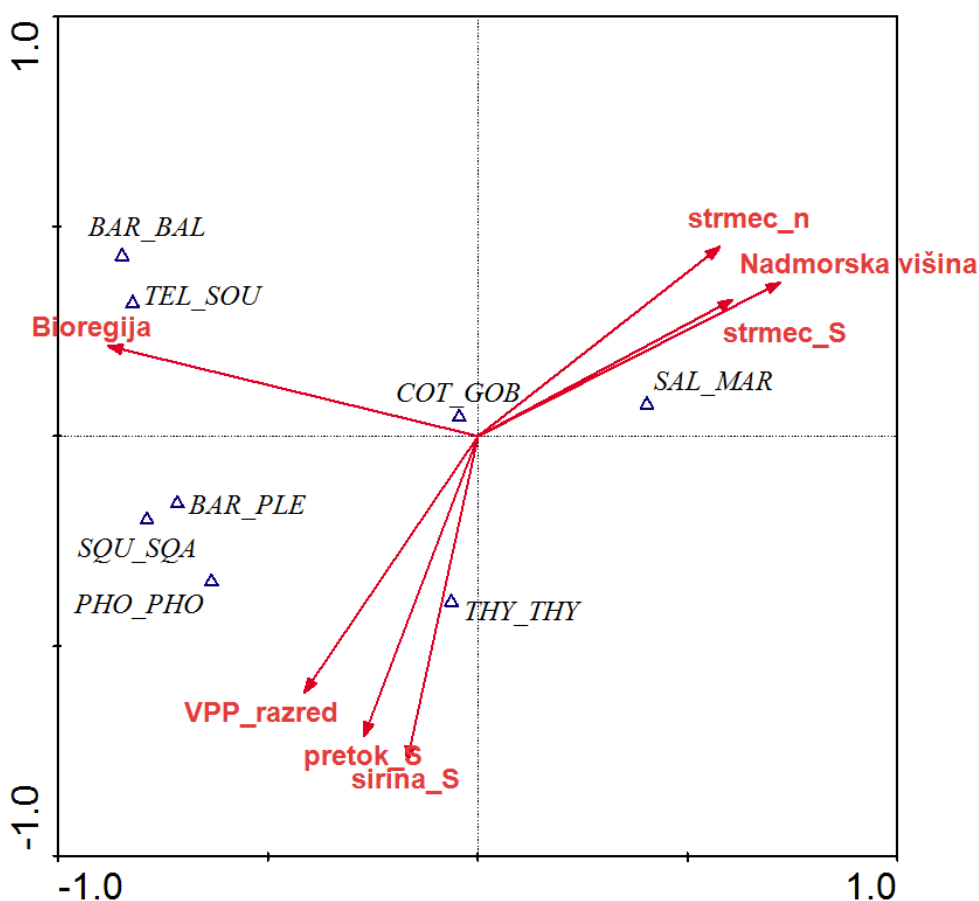


Slika 20. NMS ordinacijski diagram na podlagi vrstne sestave in številčnosti rib z upoštevanjem »dobrih mest«. Oznake označujejo štiri ribje tipe: rdeča – E1, vijolična – E2, modra – M1, zelena – H.

S spremenljivkami naravnih značilnosti smo v analizi CCA pojasnili 32% variabilnosti združb rib (skupna variabilnost = 0,988). Največ variabilnosti smo pojasnili s premenljivko bioregija (ca. 18%, $\lambda_1 = 0,17$) (preglednica 10). Po izbiranju smo statistično značilno ($p < 0,05$) pojasnili variabilnost združb rib s petimi spremenljivkami: bioregija, pretok, širina struge, nadmorska višina in strmec (preglednica 10). Vz dolž prve CCA osi smo prepoznali gradient topografskih značilnosti (bioregija, naklon in nadmorska višina), vzdolž druge CCA osi pa gradient velikosti vodotoka (slika 21).

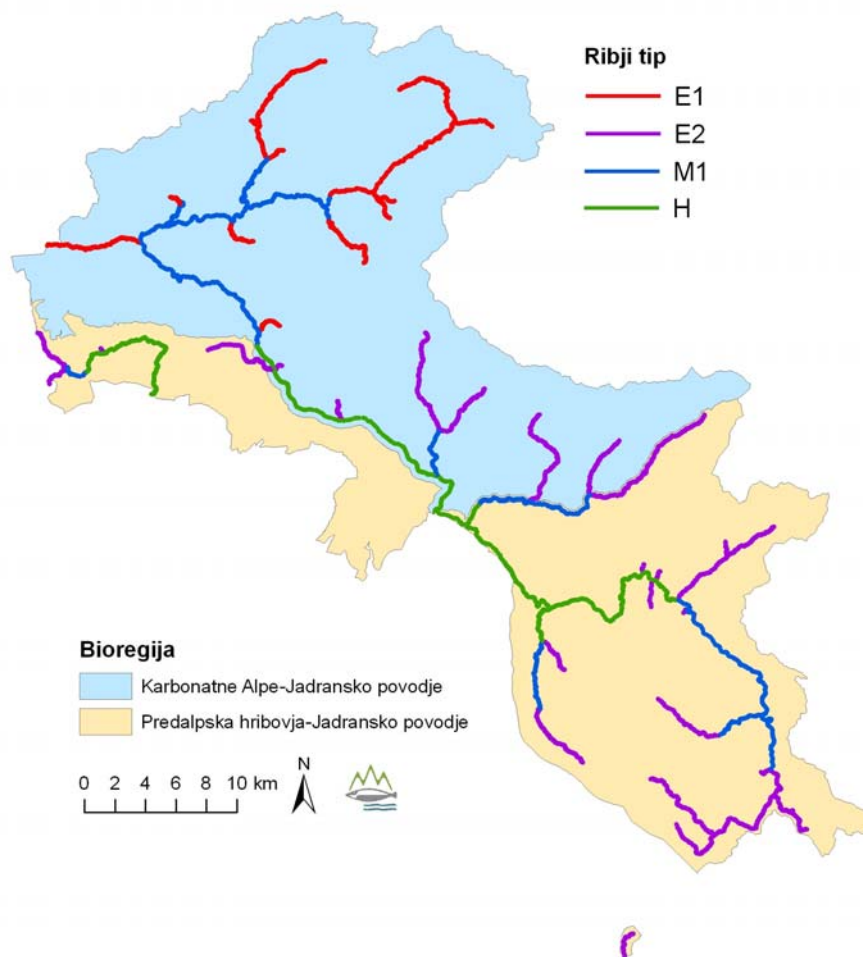
Preglednica 10. Pojasnjena variabilnost združbe rib v rekah subhidroekoregije Alpe-jadransko povodje pred (Lambda1) in po (LambdaA) izbiranju spremenljivk naravnih značilnosti v kanonični korespondenčni analizi (CCA).

Spremenljivka	Spremenljivka-koda	Lambda1	LambdaA	P	F
Bioregija	Bioregija	0,17	0,17	0,001	18,39
Nadmorska višina	Nadmorska višina	0,12	0,02	0,012	2,96
Strmec-razred	strmec_S	0,09	0,02	0,042	2,18
Strmec	strmec_n	0,08	0,01	0,136	1,68
Velikost prispevne površine-razred	vpp razred	0,05	0,01	0,359	1,07
Pretok-razred	pretok_S	0,04	0,05	0,001	6,42
Širina struge-razred	sirina_S	0,04	0,03	0,010	2,61



21. CCA ordinacijski diagram z vrstami rib (trikotniki) in okoljskimi spremenljivkami (puščice). Za razlago kod rib glej preglednico 4, za okoljske spremenljivke preglednico 10.

Razširjenost ribjih tipov v subhidroekoregiji Alpe-jadransko povodje je prikazano na sliki 22.



Slika 22. Razširjenost ribjih tipov v subhidroekoregiji Alpe-jadransko povodje v Sloveniji.

3.2 Gradient obremenitve

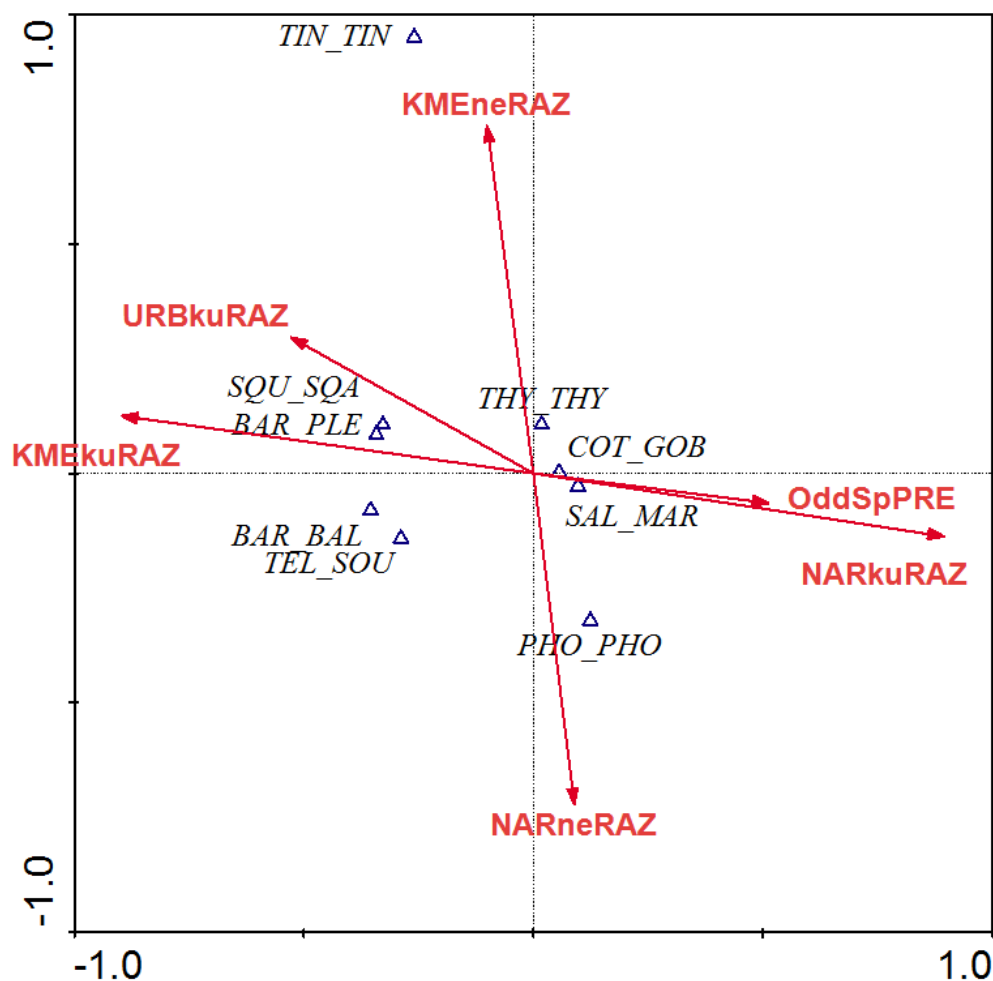
S spremenljivkami obremenitev smo v analizi CCA pojasnili 22% variabilnosti združb rib (skupna variabilnost = 1,353). Največ variabilnosti smo pojasnili s s premenljivkama delež naravnih površin ter delež kmetijskih površin v prispevnem območju (ca. 11%,

lambda1 = 0,15) (preglednica 11). Po izbiranju smo statistično značilno ($p < 0,05$) pojasnili variabilnost združb rib s štirimi spremenljivkami: delež naravnih površin v prispevnem območju, delež kmetijskih površin v neposrednem prispevnem območju, hidromorfološki razred spremenjenosti in število malih hidroelektrarn v neposrednem prispevnem območju (preglednica 11). Vzdolž prve CCA osi smo prepoznali gradient spreminjanja rabe zemljišč v prispevnem območju, vzdolž druge CCA osi pa gradient spreminjanja rabe v neposrednem prispevnem območju (slika 23).

Preglednica 11. Pojasnjena variabilnost združbe rib v rekah subhidroekoregije Alpe-jadransko povodje pred (Lambda1) in po (LambdaA) izbiranju spremenljivk obremenitve v kanonični korespondenčni analizi (CCA). HM-hidromorfološki. CPO – celotno prispevno območje. NPO – neposredno prispevno območje. KČN – komunalne čistilne naprave. MHE – male hidroelektrarne.

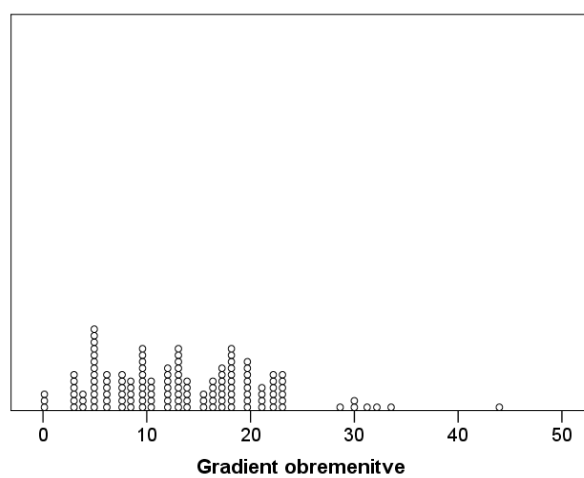
Spremenljivka	Spremenljivka-koda	Lambda1	LambdaA	P	F
delež naravnih površin v CPO	NARkuRAZ	0,15	0,15	0,001	16,75
delež kmetijskih površin v CPO	KMEkuRAZ	0,15	0,01	0,152	1,59
delež urbanih površin v CPO	URBkuRAZ	0,06	-	-	-
oddaljenost od dolvodne pregrade	OddSpPRE	0,05	0	0,69	0,68
število MHE v NPO	mHE07NEP	0,04	0,03	0,024	3,24
delež kmetijskih površin v NPO	KMEneRAZ	0,03	0,03	0,006	3,48
delež naravnih površin v NPO	NARneRAZ	0,03	0,01	0,369	0,84
dolžina odseka brez pregrad	prosti odsek	0,03	-	-	-
število aglomeracij NPO	Ag50NEP	0,02	0,01	0,481	0,92
HM razred spremenjenosti	HM_raz7	0,01	0,04	0,004	4,1
število industrijskih iztokov v NPO	IND04NEP	0,01	0	0,975	0,22
oddaljenost od gorvodne pregrade	OddZgPRE	0,01	0,01	0,099	1,73
delež urbanih površin v NPO	URBneRAZ	0,01	-	-	-
število KČN v NPO	KCN04NEP	0,01	0,01	0,461	0,74

- neizbrane spremenljivke

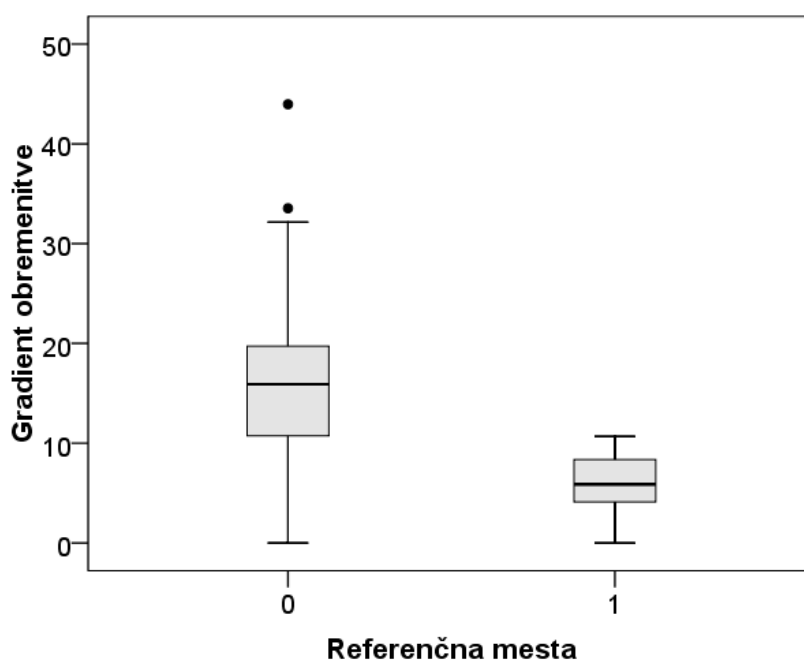


Slika 23. CCA ordinacijski diagram z vrstami rib (trikotniki) in izbranimi (Pearson $r > 0,5$) okoljskimi spremenljivkami (puščice). Za razlago kod rib glej preglednico 4, za okoljske spremenljivke preglednico 11.

Gradient obremenitve je zajemal vrednosti med 0 in 44 (slika 24). Na referenčnih vzorčnih mestih smo ugotovili statistično značilno nižje vrednosti obremenitev kot na nereferenčnih mestih (Mann-Whitney $U = 333$, $p < 0,0001$) (slika 25).



Slika 24. Razporejanje podatkov vzdolž gradienta obremenitve.



Slika 25. Razporeditev podatkov obremenitve na referenčnih (1) in nerefrenčnih (0) vzorčnih mestih.

3.3 Odziv metrik indeksa SIFAIR na obremenitve v subhidroekoregiji Alpe-jadransko povodje

Statistično značilni odziv ($p < 0,05$) metrik na gradient obremenitve smo ugotovili za vse metrike razen za metriko biomasa reoritrlnih vrst (preglednica 12). V Indeksu SIFAIR sta metriki biomasa vseh vrst in biomasa reoritrlnih vrst kombinirani in odražata značilnosti biomase ribjih vrst. Za to kombinirano metriko smo ugotovili statistično značilni ($p < 0,05$) odziv na gradient obremenitve. Za metriko delež abundance reoritrlnih vrst starejših od starostnega razreda I smo ugotovili statistično značilni odziv šele, ko smo metriko normalizirali. To pomeni, da se vrednosti spreminjajo v odvisnosti od ribjega tipa, poleg tega je za to metriko bil ugotovljen unimodalni odziv na obremenitev.

Preglednica 12. Spearmanovi in Pearsonovi korelacijski koeficienti med gradientom obremenitve in metrikami oz. kombinacijo metrik na osnovi rib v subhidroekoregiji Alpe-jadransko povodje. Za razlago kod glej slike 12-13 in preglednico 12.

Metrika	Originalni podatki (Spearman rho)	Normalizirane vrednosti (Spearman rho)	Normalizirane vrednosti (Pearson r)
biomasa-rheoritrlnne vrste	0,07	0,12	0,03
biomasa-vse vrste	0,27**	-0,30**	-0,33**
delež abundance reoritrlnih vrst -stari (REK_AS)	0,11	-0,39**	-0,40**
rheoritrlnne vrste (REK_SI)	-0,48**	-0,43**	-0,35**
REK_B	-	-0,22**	-0,31**
REK_BAS	-	-0,28**	-0,36**

Referenčne vrednosti in spodnje meje posameznih metrik uporabljeni za normalizacijo metrik so v preglednici 13. Mejne vrednosti med razredi ekološkega stanja za metriki biomasa vseh vrst rib in biomasa reoritrlnih vrst rib so v preglednicah 14-15. Transformacijske enačbe za normalizirane vrednosti teh dveh metrik so v preglednicah 16-17.



Preglednica 13. Za ribji tip značilne referenčne vrednosti (RV) in spodnje meje (SM) metrik indeksa SIFAIR v subhidroekoregiji Alpe-jadransko povodje. Za razlago kod glej sliko 9.

Metrika	Ribji tip	E1		E2		M1		H	
		RV	SM	RV	SM	RV	SM	RV	SM
biomasa-rheoritralne vrste (kg/ha)		76	0	76	0	76	0	40	0
biomasa-vse vrste (kg/ha)		77	900	77	900	77	900	64	900
delež abundance reoritrlnih vrst - stari (%)		94	0*	75	0*	75	0*	67	0*
rheoritralne vrste (%)		100	33	100	33	100	33	59	0*

* - vrednosti metrike > referenčne vrednosti imajo REK<1

Preglednica 14. Meje med razredi ekološkega stanja za metriki biomasa vseh vrst rib (vse_biomasa) in biomasa reoritrlnih vrst rib (RR_biomasa) za skupino ribjih »malo vrst« v subhidroekoregiji Alpe-jadransko povodje. Za razlago kod glej sliko 12.

Mejna vrednost	RR_biomasa (kg/ha)	RR_biomasa (REK)	Vse_biomasa (kg/ha)	Vse_biomasa (REK)
zelo dobro/dobro	50	0,93	138	0,66
dobro/zmerno	25	0,87	188	0,33
zmerno/slabo	9	0,67	351	0,12
slabo/zelo slabo	4	0,33	625	0,05

Preglednica 15. Meje med razredi ekološkega stanja za metriki biomasa vseh vrst rib (vse_biomasa) in biomasa reoritrlnih vrst rib (RR_biomasa) za skupino ribjih »veliko vrst« v subhidroekoregiji Alpe-jadransko povodje. Za razlago kod glej sliko 12.

Mejna vrednost	RR_biomasa (kg/ha)	RR_biomasa (REK)	Vse_biomasa (kg/ha)	Vse_biomasa (REK)
zelo dobro/dobro	27	0,8	117	0,93
dobro/zmerno	20	0,6	195	0,84
zmerno/slabo	14	0,4	344	0,66
slabo/zelo slabo	7	0,2	607	0,35

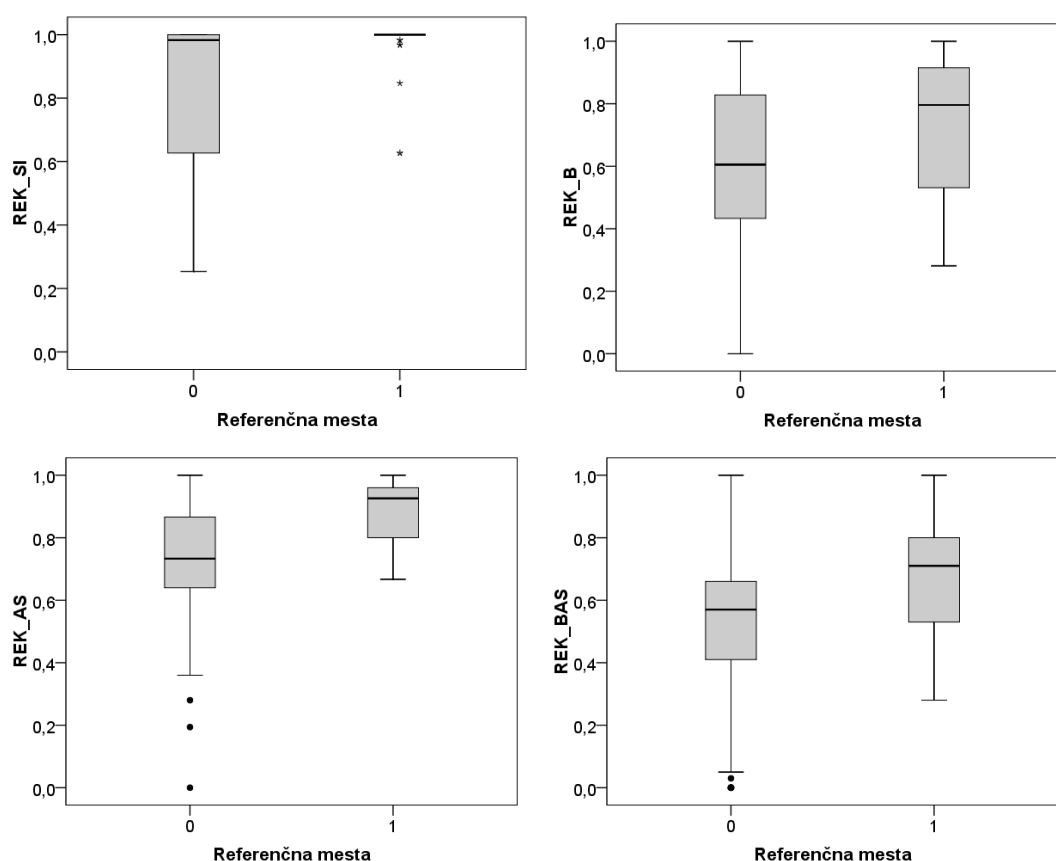
Preglednica 16. Enačbe za linearno transformacijo po odsekih za normalizirane vrednosti metrik biomasa reoritrlnih vrst rib (RR_biomasa_REK) in biomasa vseh vrst rib (vse_biomasa_REK) za skupino tipov »malo vrst« v indeksu SIFAIR v subhidroekoregiji Alpe-jadransko povodje.

Ekološko stanja	RR_biomasa_REK	REKB1	vse_biomasa_REK	REKB2
zelo dobro	≥ 0.66	$0,8+0,2*(RR_biomasa_REK-0,66)/(1,00-0,66)$	≥ 0.93	$0,8+0,2*(vse_biomasa_REK-0,93)/(1,00-0,93)$
dobro	0.33-0.66	$0,6+0,2*(RR_biomasa_REK-0,33)/(0,66-0,33)$	0.87-0.93	$0,6+0,2*(vse_biomasa_REK-0,87)/(0,93-0,87)$
zmerno	0.12-0.33	$0,4+0,2*(RR_biomasa_REK-0,12)/(0,33-0,12)$	0.67-0.87	$0,4+0,2*(vse_biomasa_REK-0,67)/(0,87-0,67)$
slabo	0.05-0.12	$0,2+0,2*(RR_biomasa_REK-0,05)/(0,12-0,05)$	0.33-0.67	$0,2+0,2*(vse_biomasa_REK-0,33)/(0,67-0,33)$
zelo slabo	0.00-0.05	$0,2*(RR_biomasa_REK)/(0,05)$	0.00-0.33	$0,2*(vse_biomasa_REK)/(0,33)$

Preglednica 17. Enačbe za linearno transformacijo po odsekih za normalizirane vrednosti metrik biomasa reoritrlnih vrst rib (RR_biomasa_REK) in biomasa vseh vrst rib (vse_biomasa_REK) za skupino tipov »veliko vrst« v indeksu SIFAIR v subhidroekoregiji Alpe-jadransko povodje.

Ekološko stanja	vse_biomasa_REK	REKB2
zelo dobro	≥ 0.93	$0,8+0,2*(vse_biomasa_REK-0,931)/(1,00-0,93)$
dobro	0.84-0.93	$0,6+0,2*(vse_biomasa_REK-0,84)/(0,93-0,84)$
zmerno	0.66-0.84	$0,4+0,2*(vse_biomasa_REK-0,66)/(0,84-0,66)$
slabo	0.35-0.66	$0,2+0,2*(vse_biomasa_REK-0,35)/(0,66-0,35)$
zelo slabo	0.00-0.35	$0,2*(vse_biomasa_REK)/(0,35)$

Med normaliziranimi vrednostmi posamezne metrike indeksa SIFAIR smo ugotovili statistično značilne razlike med referenčnimi in nereferenčnimi mesti (Mann-Whitney U test, $U = 674-1163$, $p < 0,05$) (slika 26).

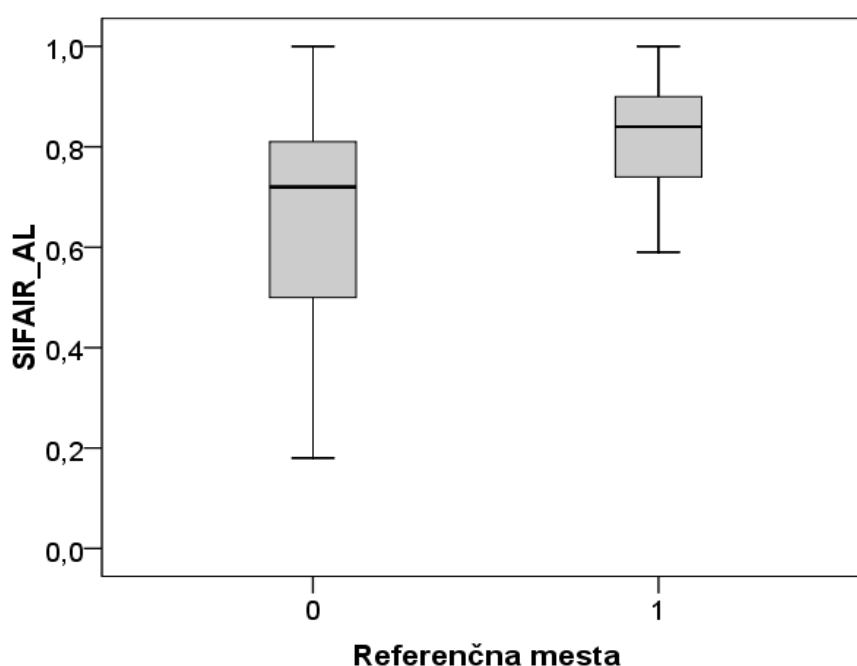


Slika 26. Diagrami kvartilov razpona vrednosti metrik indeksa SIFAIR na referenčnih (1) in nereferenčnih (0) mestih. Mann-Whitney $U = 674-1163$, $p < 0,05$. Za razlage kod metrik glej slike 12-13.

3.4 Multimetrijski indeksi SIFAIR

Za multimetrijski indeks SIFAIR smo ugotovili, da so vrednosti indeksa na nereferenčnih mestih statistično značilno manjše (Mann-Whitney U test, $U = 778$, $p < 0,0001$) kot na referenčnih mestih (slike 27-28). Tudi ko smo vrednosti med referenčnimi in nereferenčnimi

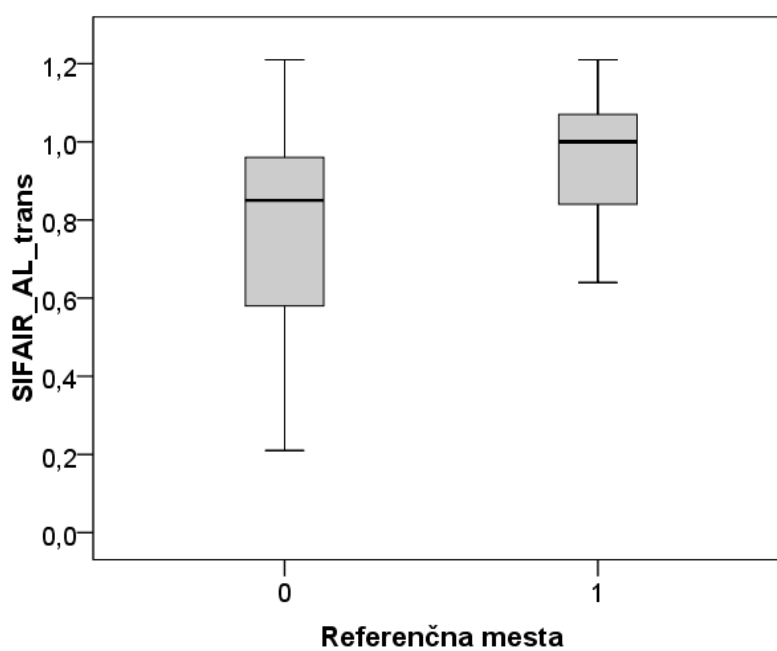
mesti primerjali po skupinah tipov, smo za obe skupini tipov ugotovili statistično značilno nižje vrednosti na nereferenčnih mestih v primerjavi z referenčnimi mesti (Mann-Whitney U test, $U = 43-450$, $p < 0,05$) (slika 29). Med gradientom obremenitve in indeksom SIFAIR smo v subhidroekoregiji Alpe-jadransko povodje ugotovili statistično značilno povezavo, z vrednostmi koeficientov determinacije (R^2) blizu 0,25 (slika 30). Ko smo upoštevali le mesta Z razdelitvijo na skupine ribjih tipov sta povezavi še vedno statistično značilni, vendar je koeficient determinacije v skupini „veliko vrst“ $< 0,1$. Vzrok je v kratkem gradientu obremenitve, ki ga imamo za to skupino tipov, saj smo za večino vzorčnih mest tega ribjega tipa ugotovili zmerno spremenjenost. Z upoštevanjem podatkov s celotne hidroekoregije Alpe v kateri imamo podatke razporejene vzdolž celotnega gradienta obremenitve, smo ugotovili bistveno višje vrednosti R^2 , ki so presegali vrednosti 0,4 (sliki 31-32). Dober odziv indeksa SIFAIR na gradient obremenitve smo ugotovili za vse skupine ribjih tipov in posamezne ribje tipe rek v hidroekoregiji Alpe (sliki 33-34).



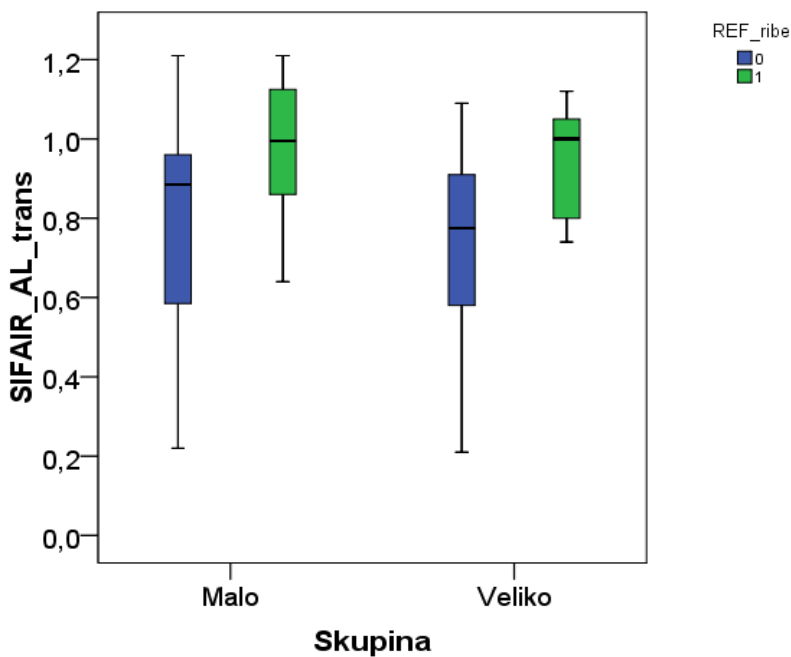
Slika 27. Diagrami kvartilov razpona vrednosti metrik indeksa SIFAIR na referenčnih (1) in nereferenčnih (0) mestih. Mann whitney $U = 778$, $p < 0,0001$.

Koeficienti za normalizacijo indeksa SIFAIR so:

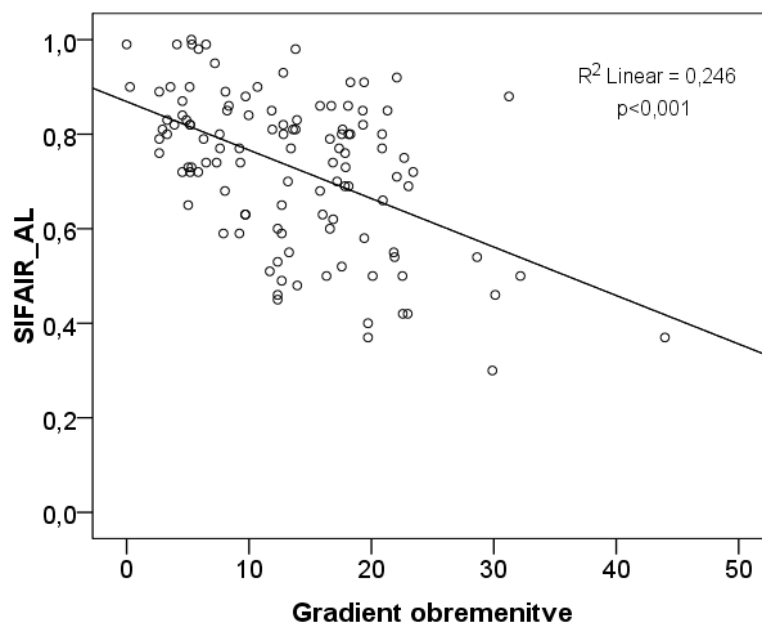
- a) skupina malo vrst: 0,83,
- b) skupina »veliko vrst«: 0,85.



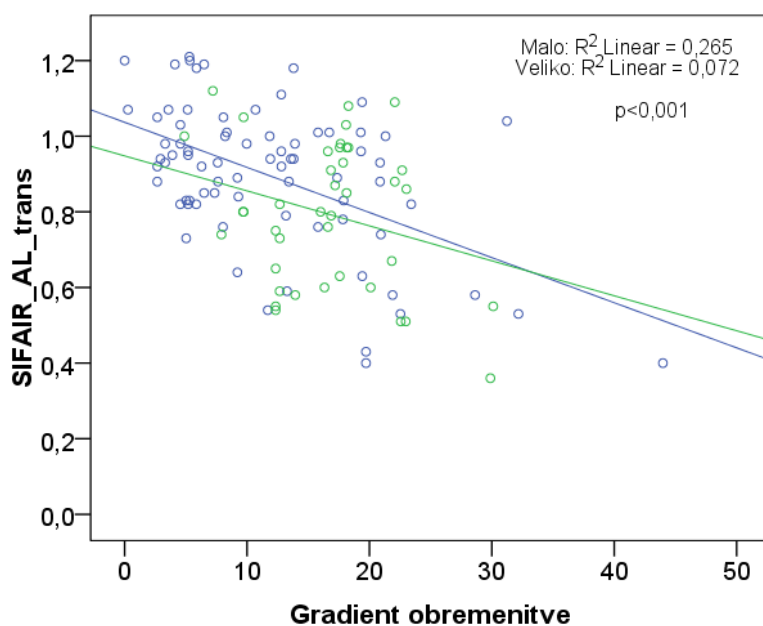
Slika 28. Diagrami kvartilov razpona vrednosti metrik transformiranega indeksa SIFAIR na referenčnih (1) in nereferenčnih (0) mestih. Mann whitney U = 778, p < 0,0001.



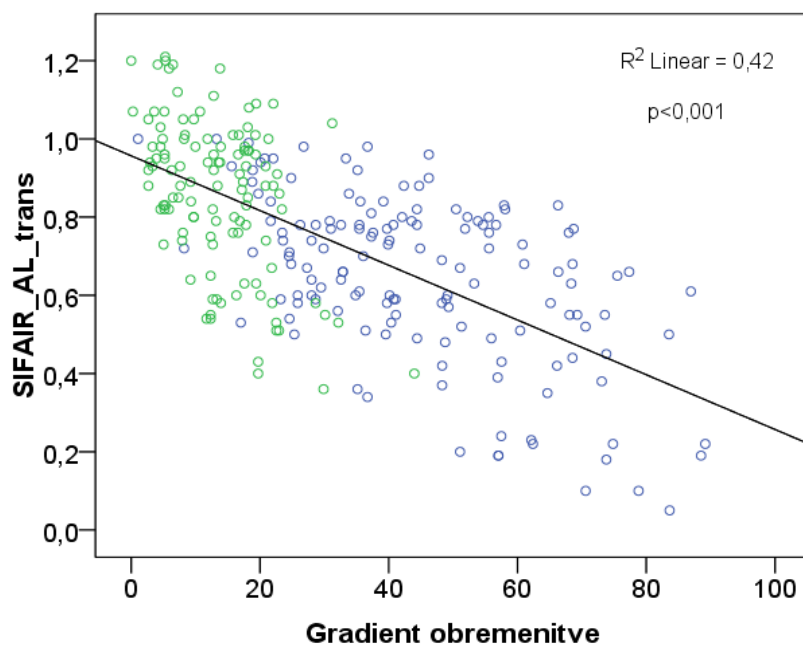
Slika 29. Diagrami kvartilov razpona vrednosti metrik indeksa SIFAIR na referenčnih (1) in nerefrenčnih (0) mestih glede na skupino ribjih tipov. Mann whitney U = 43-450, p < 0,05.



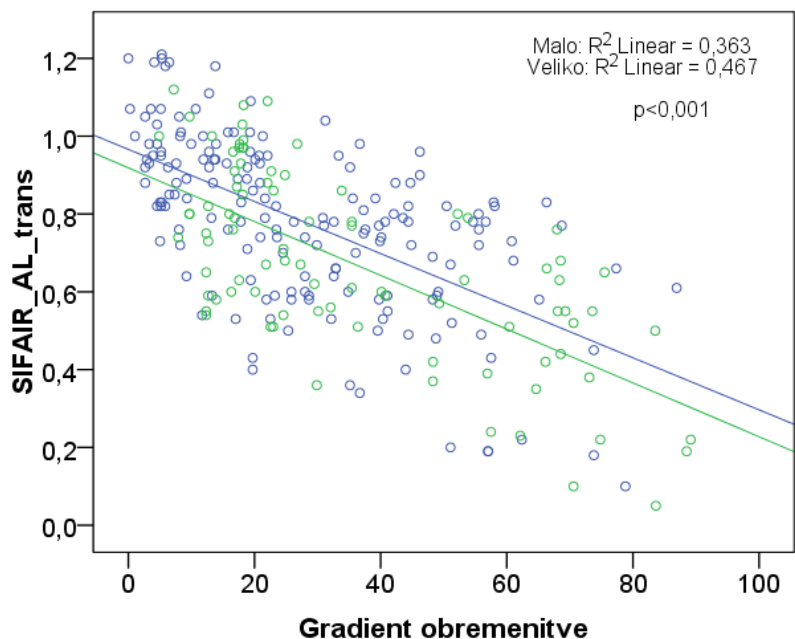
Slika 30. Povezava med gradientom obremenitve in transformiranimi vrednostmi indeksa SIFAIR. Upoštevani so samo podatki z mest



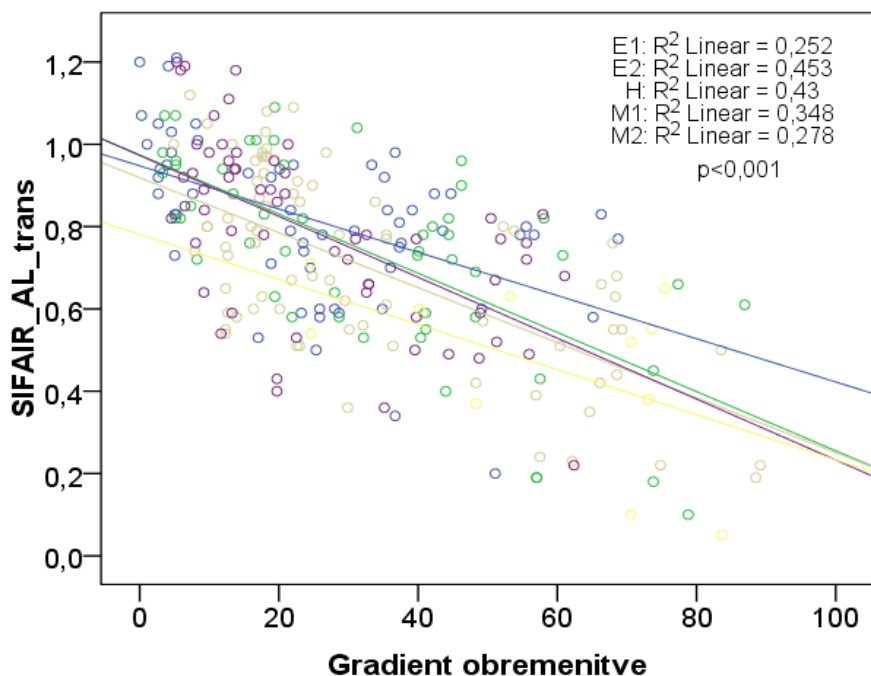
Slika 31. Povezava med gradientom obremenitve in transformiranimi vrednostmi indeksa SIFAIR glede na skupino ribjih tipov.



Slika 32. Povezava med gradientom obremenitve in transformiranimi vrednostmi indeksa SIFAIR v ekoregiji Alpe. zeleni krožji –subhidroekoregija Alpe-jadransko povodje, modri krožji – subhidroekoregija Alpe-donavsko porečje.



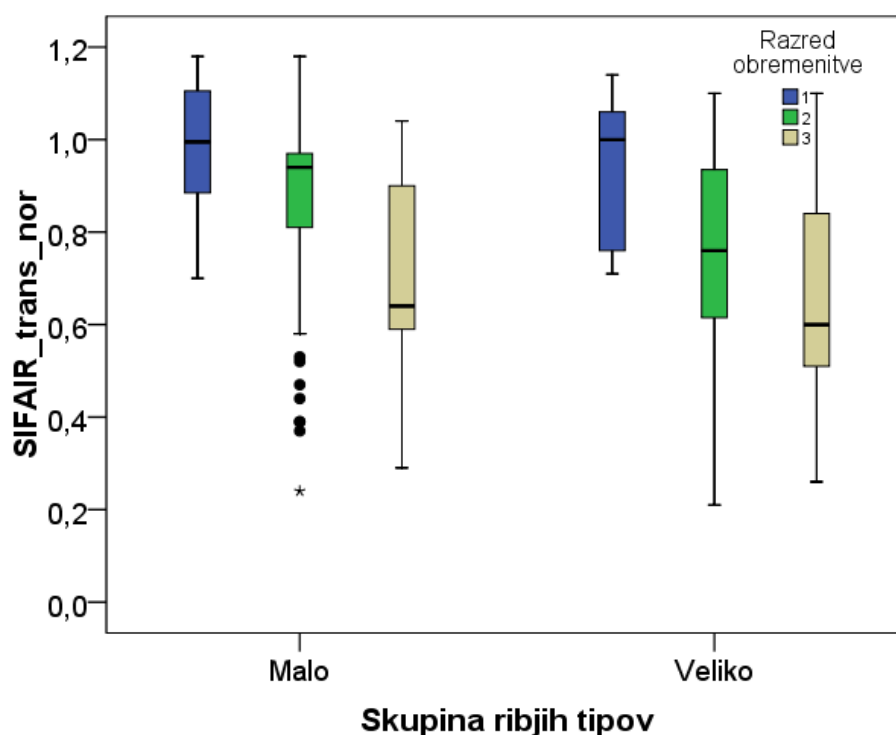
Slika 33. Povezava med gradientom obremenitve in transformiranimi vrednostmi indeksa SIFAIR glede na skupino ribjih tipov v hidroekoregiji Alpe.



Slika 34. Povezava med gradientom obremenitve in transformiranimi vrednostmi indeksa SIFAIR glede na ribji tip v hidroekoregiji Alpe.

3.5 Določitev mejnih vrednosti multimetrijskih indeksov med razredi ekološkega stanja

Mejne vrednosti normaliziranega indeksa SIFAIR za posamezno skupino ribjih tipov so bile podane glede na razporeditev vrednosti indeksa v treh razredih obremenitve (slika 35) in so podane v preglednicah 18-19. Enačbe za izračun transformiranih vrednosti indeksa SIFAIR za posamezne skupine ribjih tipov so podane v preglednicah 20-21.



Slika 35. Diagrami kvartilov razpona vrednosti normaliziranega indeksa SIFAIR glede na razred obremenitve in skupino ribjih tipov.

Preglednica 18. Mejne vrednosti in transformirane mejne vrednosti razmerja ekološke kakovosti (REK) za 5 razredov ekološkega stanja multimetrijskega indeksa SIFAIR za skupino ribjih tipov »malo vrst« (E1, E2, M1) (SIFAIR_{AL-JM}).

Meja	Mejna REK vrednost normaliziranega indeksa SIFAIR _{AL-JM}	Transformirana REK mejna vrednost indeksa SIFAIR _{AL-JM}
Referenčna vrednost	1	1
Zelo dobro/dobro stanje	0,83	0,80
Dobro/zmerno stanje	0,66	0,60
Zmerno/slabo stanje	0,44	0,40
Slabo/zelo slabo stanje	0,22	0,20
Spodnja meja	0	0

Preglednica 19. Mejne vrednosti in transformirane mejne vrednosti razmerja ekološke kakovosti (REK) za 5 razredov ekološkega stanja multimetrijskega indeksa SIFAIR za skupino ribjih tipov »veliko vrst« (H) (SIFAIR_{AL-JV}).

Meja	Mejna REK vrednost normaliziranega indeksa SIFAIR _{AL-JV}	Transformirana REK mejna vrednost indeksa SIFAIR _{AL-JV}
Referenčna vrednost	1	1
Zelo dobro/dobro stanje	0,76	0,80
Dobro/zmerno stanje	0,60	0,60
Zmerno/slabo stanje	0,40	0,40
Slabo/zelo slabo stanje	0,20	0,20
Spodnja meja	0	0

Preglednica 20. Enačbe za izračun transformiranih REK vrednosti multimetrijskega indeksa SIFAIR_{AL-JM}

SIFAIR _{AL-JM}	Transformiran SIFAIR _{AL-JM}
≥0,83	$0,8+0,2*(SIFAIR_{AL-JM}-0,83)/(1,00-0,83)$
0,66-0,83	$0,6+0,2*(SIFAIR_{AL-JM}-0,66)/(0,83-0,66)$
0,44-0,66	$0,4+0,2*(SIFAIR_{AL-JM}-0,44)/(0,66-0,44)$
0,22-0,44	$0,2+0,2*(SIFAIR_{AL-JM}-0,22)/(0,44-0,22)$
<0,22	$0,2*(SIFAIR_{AL-JM})/(0,22)$

Preglednica 21. Enačbe za izračun transformiranih REK vrednosti multimetrijskega indeksa SIFAIR_{AL-JV}

SIFAIR _{AL-JV}	Transformiran SIFAIR _{AL-JV}
≥0,76	$0,8+0,2*(SIFAIR_{AL-JV}-0,76)/(1,00-0,76)$
0,6-0,76	$0,6+0,2*(SIFAIR_{AL-JV}-0,6)/(0,76-0,6)$
0,4-0,6	SIFAIR _{AL-JV}
0,2-0,4	SIFAIR _{AL-JV}
<0,20	SIFAIR _{AL-JV}

4 RAZPRAVA

Za razvoj za tip značilnega indeksa SIFAIR v subhidroekoregiji Alpe-jadransko povodje smo uporabili iste metrike in enak algoritem izračuna indeksa kot za reke v subhidroekoregiji Alpe-donavsko porečje (Urbanič in Podgornik 2011). Pri izračunu večine metrik so upoštevane le za jadransko povodje avtohtone vrste rib, pri izračunu biomase vseh vrst pa tudi alohtone vrste (npr. šarenka in potočna postrv). Za jadransko povodje je značilna vrsta tudi jegulja (*Anguilla anguilla*), ki je v naših vzorcih, pridobljenih v subhidroekoregiji Alpe-jadransko povodje nismo našli. Znani so zgodovinski podatki o prisotnosti vrste v Soči do Kobarida (Gridelli 1936) in v Idrijci do Idrije (Franke 1892). Številne pregrade na porečju reke Soče, ki so bile izgrajene v 1. polovici 20. stoletja, onemogočajo migracijo osebkov vrste v reko Sočo in njene pritoke. Verjetno tudi zaradi tega vrsta v zadnjih 30 letih na tem območju ni bila najdena. Pri določitvi referenčnih razmer in vrednotenju stanja jegulja ni bila upoštevana. Ker je jegulja katadromna vrsta, bi bilo morda smiselno razviti poseben indeks, ki bi vrednotil le vpliv pregrad na njeno populacijo in ekološko stanje vodotokov.

V naravi ponavadi obstajajo zvezne spremembe v ekoloških značilnosti vodotokov in združb (Vannote in sod. 1980; koncept rečnega kontinuuma). Tipologija v skladu z Vodno direktivo predvideva conacijo združb, kot so jo razvili različni avtorji (npr. Huet in sod. 1949; Illies in Botosaneanu 1963). V naši raziskavi smo opazili največjo zveznost v ribjih združbah na sotočjih rek, ki pripadajo različnim ekološkim tipom. Zaradi tega predlagamo, da se za vrednotenje ekološkega stanja ne vzorči rib na sotočjih in v njihovi neposredni bližini. Ocena ekološkega stanja takih odsekov je manj zanesljiva oz. je lahko tudi napačna.

Indeks SIFAIR je bil razvit za vrednotenje ekološkega stanja vodotokov v subhidroekoregiji Alpe-donavsko porečje. S podatki iz jadranskega povodja smo indeks testirali z neodvisnim setom podatkov in ugotovili ustreznost razvitega indeksa za vrednotenje ekološkega stanja. Da dolžina gradienta obremenitve lahko vpliva na opaženo soodvisnost med biotskim indeksom in gradientom obremenitve smo potrdili tudi v naši raziskavi. Z združitvijo podatkov iz jadranskega povodja in donavskega porečja smo ugotovili boljše soodvisnosti med indeksom SIFAIR in gradientom obremenitve, kot kadar smo upoštevali le podatke posameznega podseta. Z obravnavo skupnega seta podatkov smo zajeli daljši gradient

obremenitve; v jadranskem povodju smo imeli velik delež vzorčnih mest z nizko obremenitvijo, medtem ko so v donavskem porečju prevladovala zmerno in močno obremenjena vzorčna mesta.

Indeks SIFAIR je multimetrijski indeks tipa indeksa biotske integritete (IBI), kot ga je prvi razvil Karr (1981). SIFAIR upošteva različne značilnosti ribje združbe vendar ima nižje število metrik in ne vključuje redundantnih metrik. Odziv indeksov na gradient obremenitve je z vidika upravljanja voda ena najpomembnejših značilnosti. V naši raziskavi smo ugotovili, da z indeksom SIFAIR v Alpah v Sloveniji lahko relativno dobro vrednotimo ekološko stanje v vseh ribjih tipih, čeprav smo najnižje vrednosti povezave med obremenitvijo in značilnostmi združbe opazili v tipu E1, ki ga označuje le ena ribja vrsta (slika 34). Enovrstne združbe so najmanj kompleksne, zato lahko spremembe v združbi opazimo predvsem kot spremembe biomase ali sprememb v starostni strukturi, teže pa v sami številčnosti vrst ali v vrstni sestavi za tip značilnih vrst.

V indeksu SIFAIR smo mejne vrednosti za 5 razredov ekološkega stanja transformirali, da so vse mejne vrednosti enake za vse ekološke tipe rek (0,2, 0,4, 0,6 in 0,8). Pri izračunu metrik in ovrednotenju ekološkega stanja rek na območju, ki je obravnavano v tem delu, je treba slediti povsem enakemu postopku, kot je uporabljen tukaj.

5 VIRI

- Bertok, M., Budihna, M., Zabric, D. (2000). Kategorizacija voda z vidika sladkovodnega ribištva – jadransko povodje. (Naročnik: Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano) Zavod za ribištvo Slovenije, Ljubljana.
- Bertok, M., Budihna, M., Zabric, D. (2003). Kategorizacija voda z vidika sladkovodnega ribištva – donavsko povodje. (Naročnik: Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano) Zavod za ribištvo Slovenije, Ljubljana, 359 str.
- DeLury, D. B. (1947). On the estimation of biological populations. *Biometrics* 3:145–167.
- Direktiva 2000/60/ES evropskega parlamenta in sveta z dne 23. oktobra 2000. Bruselj, 72 str., 11 prilog
- Dusling, U., Berg, R., Klinger, H., Wolter, C. (2004): Assessing the ecological status of river systems using fish assemblages. *Handbuch Angewandte Limnologie* 12/04 (20. Erg. Lfg.): 1-84.
- Franke, J. (1892): Die Gewässer in Krain und ihre nutzbare Fauna, Ljubljana.
- Gridelli, E. (1936). I pesci d'acqua dolce della Venezia Giulia. *Bollettino della Società Adriatica di Scienze Naturali in Trieste* **35**: 7-140,
- Heckel, H., Knerr, K. (1858). Die Susswasserfische der Osterreichischen Monarchie mit Rucksicht auf die angrenzenden Landen. W. Engelmann, Leipzig.
- Hill, M.O., Šmilauer, P. (2005). WinTWINS version 2.3.
- Huet, M. (1949) Aperçu des relations entre la pente et les populations des eaux courantes. *Schweizerische Zeitschrift für Hydrologie* 11, 333-351.
- Hughes, R.M., Oberdorf, T. (1999). Applications of IBI concepts and metrics to waters outside the United States and Canada. In: Simon, T.P. (Ed.), *Assessing the Sustainability and Biological Integrity of Water Resources Using Fish Communities*. CRC Press, Boca Raton, FL, pp. 79-96.
- Illies, J., Botosaneanu L. (1963). Problemes et methodes de la classification et de la zonation ecologique des eaux courantes, considerées sur-tout du point de vue faunistique. *Mitteilungen der Internationalen Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie* 12:1-57. e la classification
- Karr, J.R., Chu, W. (1999). *Restoring life in running waters: Better biological monitoring*. Island Press, Washington, DC 200 str.
- Kottelat, M., Freyhof, J. (2007). *Handbook of European freshwater fishes*. Kottelat, Cornol, Switzerland and Freyhof, Berlin, Germany.

- Leps, J., Smilauer, P. (2003): Multivariate analysis of ecological data using CANOCO. Cambridge University Press
- MOP, 2009. Metodologija vzorčenja in laboratorijske obdelave vzorcev za vrednotenje ekološkega stanja rek z ribami. Ministrstvo za okolje in prostor, Ljubljana, 24 str.
- Podgornik, S. (2006) Metodologija vzorčenja in laboratorijske obdelave rib za vrednotenje ekološkega stanja voda na podlagi rib v skladu z zahtevami Vodne direktive (Direktiva 2000/60/ES). Končno poročilo o projektni nalogi. Zavod za ribištvo Slovenije. Ljubljana.
- Pont D., Hugueny B., Beier U., Goffaux D., Melcher A., Noble R., Rogers C., Roset N., Schmutz S. (2006) Assessing river biotic condition at a continental scale: a European approach using functional metrics and fish assemblages. *Journal of Applied Ecology* 43, 70–80.
- Povž, M., Sket, B. (1990). Naše sladkovodne ribe. Založba Mladinska knjiga. Ljubljana.
- Seber, G.A., Le Cren, E.D. (1967). Estimating population parameters from catches large relative to the population. *J. Anim. Ecol.* 36, 631–643.
- ter Braak, C.J.F., Šmilauer, P. (2002) CANOCO Reference Manual and CanoDraw for Windows User's Guide: Software for Canonical Community Ordination (version 4.5). Ithaca, NY, USA (www.canoco.com): Microcomputer Power.
- Urbanič, S., Podgornik (2011). Sodelovanje v evropskem procesu Interkalibracije. Slovenian fish-based assessment index for rivers (SIFAIR). Inštitut za vode Republike Slovenije, Ljubljana, 23 str.
- Urbanič, G. (2005). Tipske regije tekočih voda Slovenije. V: Urbanič, G. (ur.). Program dela Inštituta za vode Republike Slovenije za leto 2005. Inštitut za vode RS, Ljubljana, str. 11-14.
- Urbanič, G. (2007a). Tipologija rek v Sloveniji. V: Urbanič, G. (ur.). Dopolnitev tipologije. Končno poročilo o delu v letu 2007. Inštitut za vode RS, Ljubljana, str. 15-22.
- Urbanič, G. (2007b). Tipologija rek v Sloveniji. V: Urbanič, G. (ur.). Dopolnitev referenčnih razmer. Končno poročilo o delu v letu 2007. Inštitut za vode RS, Ljubljana, str. 4-13.
- Urbanič, G. (2008a). Inland water sub-ecoregions and bioregions of Slovenia. *Natura Sloveniae* 10: 5-19.
- Urbanič, G. (2008b). Redelineation of European Inland water Ecoregions in Slovenia. *Review of Hydrobiology* 1: 17-25.
- Urbanič, G. (2011a). Ecological status assessment of rivers in Slovenia – an overview. *Natura Sloveniae* 13: 5-16.
- Urbanič, G. (2011b). Ekološki tipi rek - dopolnitev. Inštitut za vode Republike Slovenije, Ljubljana. 7 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.
- Vannote, R.L., Minshall G.W., Cummins K.W., Sedell J.R., Cushing C.E. (1980). The river continuum concept. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 37: 130-137.
- Veenvliet, P., Veenvliet, J.K. (2006). Ribe slovenskih celinskih voda. Priročnik za določanje. Zavod Symbiosis.Grahovo.
- VGI (2002). Kategorizacija pomembnejših slovenskih vodotokov po naravovarstvenem pomenu. Poročilo Vodnogospodarskega inštituta, C-274, Ljubljana.