

Poročilo o delu Inštituta za vode Republike Slovenije za leto
2012

PROGRAMSKI SKLOP: I. SKUPNA EU POLITIKA DO VODA

PROJEKT: I/1/2 EKOLOŠKO STANJE

NALOGA: I/1/2/1 Vrednotenje ekološkega stanja rek
Metodologija vrednotenja ekološkega stanja z bentoškimi
nevretenčarji po modulu trofičnost za nižinske tipe rek v
hidroekoregijah Panonska nižina in Padska nižina

Nosilec naloge:

Dr. Gorazd Urbanič, univ. dipl. biol.

Ljubljana, december 2012



PROGRAM: Program dela IzVRS za leto 2012

Poročilo o delu za leto 2012

NASLOV NALOGE: Vrednotenje ekološkega stanja rek.
Metodologija vrednotenja ekološkega stanja z
bentoškimi nevretenčarji po modulu trofičnost za
nižinske tipe rek v hidroekoregijah Panonska nižina
in Padska nižina

ŠIFRA NALOGE: I/1/2/1

NAROČNIK: REPUBLIKA SLOVENIJA
MINISTRSTVO ZA OKOLJE IN PROSTOR

IZVAJALEC: INŠTITUT ZA VODE REPUBLIKE SLOVENIJE
Hajdrihova 28c
1000, Ljubljana

NOSILEC NALOGE: Dr. Gorazd Urbanič, univ. dipl. biol.

AVTOR(JI): dr. Maja Pavlin, univ. dipl. biol.
dr. Gorazd Urbanič, univ. dipl. biol.

SODELAVCI:

DIREKTOR IZVRS Jernej Prevc

(žig)

KRAJ IN DATUM: LJUBLJANA, december 2012



KAZALO

KAZALO	I
KAZALO SLIK.....	III
KAZALO PREGLEDNIC	V
KAZALO PRILOG.....	VI
POVZETEK	1
1 UVOD.....	2
2 PREGLED IZHODIŠČ.....	3
2.1 Tipologija rek v Sloveniji.....	3
2.2 Referenčna mesta	5
2.3 Vzorčenje bentoških nevretenčarjev	7
3 METODE IN MATERIALI	10
3.1 Določitev gradienta evtrofikacije	12
3.2 Razvoj indeksov (metrik) za vrednotenje vpliva obremenjenosti rek s hranili v hidroekoregijah Panonska nižina in Padska nižina – trofični indeks rečne favne	14
3.3 Izbor referenčnih mest	15
3.4 Določitev za tip značilnih referenčnih razmer in spodnjih mej ter NORMALIZACIJA indeksov BIRTI-P in BIRTI-N.....	16
3.5 Razvoj multimetrijskega TROFIČNEGA indeksa REČNE FAVNE ZA nižinske REKE (M-BIRTI).....	17
3.6 Določitev mejnih vrednosti indeksov BIRTI (BIRTI-P, BIRTI-N) in multimetrijskega indeksa BIRTI (M-BIRTI) med razredi ekološkega stanja.	18
3.7 Transformacija mejnih vrednosti »REK« med razredi ekološkega stanja.....	19
4	19
5 REZULTATI	20
5.1 Gradient evtrofikacije	20
5.2 Trofična indeksa rečne favne (BIRTI-P in BIRTI-N)	22
5.3 Soodvisnosti med gradienti obremenitve in BIRTI-P oz. BIRTI-N	31
5.4 za tip značilne referenčne vrednosti in normalizacija indeksov birti-p in birti-n	34
5.5 Soodvisnosti med gradientom evtrofikacije in M-BIRTI	39



5.6	Multimetrijski indeks M-BIRTI _{LOW}	41
5.7	Določitev mejnih vrednosti indeksov BIRTI med razredi ekološkega stanja	43
6	RAZPRAVA	48
7	VIRI	50
8	PRILOGE	54



KAZALO SLIK

Slika 1. Bioregije in tipi rek v Sloveniji (Urbanič 2011a, b).....	3
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, 2007d).....	7
Slika 3. Mesta vzorčenja v rekah ekoregij Padska nižina in Panonska nižina. Rumeni trikotniki – nereferenčna mesta, modri kvadrati – referenčna mesta za BIRTI-P in BIRTI-N; modri krogi – referenčna mesta za BIRTI-P; vijolični krogi – referenčna mesta za BIRTI-N.....	10
Slika 4. Vrednosti spremenljivk evtrofikacije v vzorcih nižinskih rek ekoregij Padska nižina in Panonska nižina.	13
Slika 5. CCA ordinacijski diagram s spremenljivkami obremenjenosti s hranili (puščice).	20
Slika 6. Razporejanje podatkov vzdolž sestavljenega gradienta evtrofikacije.	22
Slika 7. Frekvenčna porazdelitev trofičnih vrednosti (Rt-P in Rt-N) in utežnih vrednosti (Tw-P in Tw-N) indikatorskih taksonov bentoških nevretenčarjev v nižinskih rekah (N = 85).....	29
Slika 8. Izračunane vrednosti BIRTI-P in BIRTI-N za vzorce nižinskih rek brez velikih rek v ekoregijah Panonska nižina in Padska nižina.	30
Slika 9. Diagram kvartilov razpona vrednosti indeksov BIRTI-P in BIRTI-N za nižinske reke brez velikih rek v ekoregijah Panonska nižina in Padska nižina. R –referenčna mesta, NR – nereferenčna mesta.....	30
Slika 10. Soodvisnosti med vrednostmi indeksa BIRTI-P in gradienti obremenitve za nižinske reke v ekoregijah Panonska nižina in Padska nižina brez velikih rek ter pojasnjena variabilnost (R^2 Linear). T_Ptot – transformirana vrednost koncentracije celotnega fosforja, T_NO2_N – transformirana vrednost koncentracije nitritnega dušika	31
Slika 11. Soodvisnosti med vrednostmi indeksa BIRTI-N in gradienti obremenitve za nižinske reke v ekoregijah Panonska nižina in Padska nižina brez velikih rek ter pojasnjena variabilnost (R^2 Linear). T-NO3_N – transformirana vrednost koncentracije nitratnega dušika, Urb_s [%] – delež urbanih površin v skupnem prispevnem območju.....	32
Slika 12. Soodvisnosti med vrednostmi Saprobnege indeksa-slovenska različica (SIG3) in indeksov BIRTI-P in BIRTI-N za nižinske reke v ekoregijah Panonska nižina in Padska nižina brez velikih rek ter pojasnjena variabilnost (R^2 Linear).....	33
Slika 13. Diagram kvartilov razpona vrednosti indeksa BIRTI-P po posameznih razredih velikostne prispevne površine (VPP) in razreda obremenitve nižinskih rek v ekoregijah Panonska nižina in Padska nižina.	34
Slika 14. Soodvisnosti med transformiranimi vrednostmi koncentracije celotnega fosforja (T_Ptot) in vrednostmi indeksa BIRTI-P po posameznih razredih velikostne prispevne površine (VPP) nižinskih rek v ekoregijah Panonska nižina in Padska nižina (R^2 Linear).....	35
Slika 15. Diagram kvartilov razpona vrednosti indeksa BIRTI-P po razredih obremenitve za gradient fosforja v nižinskih rekah ekoregij Panonska nižina in Padska nižina.....	35



Slika 16. Diagram kvartilov razpona vrednosti indeksa BIRTI-N po posameznih razredih velikostne prispevne površine (VPP) in razreda obremenitve nižinskih rek v ekoregijah Panonska nižina in Padska nižina.	36
Slika 17. Soodvisnosti med transformiranimi vrednostmi koncentracije nitratnega dušika (T_NO3_N) in vrednostmi indeksa BIRTI-N po posameznih razredih velikostne prispevne površine (VPP) nižinskih rek v ekoregijah Panonska nižina in Padska nižina (R^2 Linear).....	37
Slika 18. Diagram kvartilov razpona vrednosti indeksa BIRTI-N po skupinah razredov velikostne prispevne površine (VPP) in razreda obremenitve gradienta dušika nižinskih rek v ekoregijah Panonska nižina in Padska nižina.	37
Slika 19. Soodvisnosti med transformiranimi vrednostmi koncentracije nitratnega dušika (T_NO3_N) in vrednostmi indeksa BIRTI-N po posameznih skupinah razredov velikostne prispevne površine (VPP) nižinskih rek v ekoregijah Panonska nižina in Padska nižina (R^2 Linear). VPP23 - VPP2 in VPP3.	38
Slika 20. Soodvisnosti med vrednostmi multimetrijskega indeksa BIRTI-M in gradienti obremenitve za nižinske reke v ekoregijah Panonska nižina in Padska nižina brez velikih rek ter pojasnjena variabilnost (R^2 Linear). T_Ptot – transformirana vrednost koncentracije celotnega fosforja, T-NO2_N – transformirana vrednost koncentracije nitritnega dušika, T-NO3_N – transformirana vrednost koncentracije nitratnega dušika.	40
Slika 21. Soodvisnosti med vrednostmi Saprobnega indeksa-slovenska različica (SIG3) in multimetrijskega indeksa M-BIRTI za nižinske reke v ekoregijah Panonska nižina in Padska nižina brez velikih rek ter pojasnjena variabilnost (R^2 Linear).	41
Slika 22. Diagram kvartilov razpona vrednosti multimetrijskega indeksa BIRTI (M-BIRTI) na referenčnih (1) in nereferenčnih mestih (0) nižinskih rek v ekoregijah Panonska nižina in Padska nižina.....	42
Slika 23. Povezava med transformirano vrednostjo celotnega fosforja in vrednostjo indeksa BIRTI-M_LOW za nižinske vodotoke hidroekoregij Panonska in Padska nižina.....	42
Slika 24. Soodvisnost deleža občutljivih in deleža tolerantnih taksonov v odvisnosti od razmerja ekološke kakovosti indeksa BIRTI-P za nižinske reke hidroekoregij Panonske in Padske nižine v Sloveniji.	43
Slika 25. Soodvisnost deleža občutljivih in deleža tolerantnih taksonov v odvisnosti od razmerja ekološke kakovosti indeksa BIRTI-N za nižinske reke hidroekoregij Panonske in Padske nižine v Sloveniji.	44
Slika 26. Soodvisnost deleža občutljivih in deleža tolerantnih taksonov v odvisnosti od razmerja ekološke kakovosti multimetrijskega indeksa M-BIRTI za nižinske reke hidroekoregij Panonske in Padske nižine v Sloveniji.....	45



KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1. Seznam ekoloških tipov rek v hidroekoregijah Panonska nižina in Padska nižina v Sloveniji (Urbanič, 2007c; 2011). Za pojasnila kod glej prilogo B.....	4
Preglednica 2. Kategorije anorganskih substratov.....	8
Preglednica 3. Kategorije organskih substratov v rekah.....	8
Preglednica 4. Kategorije tipov tokov	9
Preglednica 5. Število vzorcev v hidroekoregijah Panonska nižina in Padska nižina, ki so bili uporabljeni pri razvoju Indeksov trofičnosti na podlagi rečne favne (BIRTI), razvrščeni po skupinah ekoloških tipov rek.....	11
Preglednica 6. Mediana, povprečje in razpon vrednosti spremenljivk evtrofikacije.	12
Preglednica 7. Mejne vrednosti razredov in ustrezna vrednost razmerja ekološke kakovosti (REK) po transformaciji vrednosti.....	19
Preglednica 8. CCA z izbiranjem spremenljivk obremenjenosti s hranili.....	20
Preglednica 9. Vrednosti zgornje in spodnje meje za normalizacijo parametrov, uporabljene pri izračunu sestavljenega gradienta evtrofikacije.....	21
Preglednica 10. Trofične indikatorske vrednosti ($Rt-P_i$ in $Rt-N_i$) in teže indikacije (uteži) ($Tw-P_i$ in $Tw-N_i$) taksonov za izračun trofičnih indeksov rečne favne ($BIRTI-P_{low}$ in $BIRTI-N_{low}$) za male, srednje velike in srednje velike do velike reke v ekoregijah Panonska nižina in Padska nižina.	23
Preglednica 11. Skupine tipov nižinskih rek, razvrščeni v trofične tipe nižinskih rek.....	38
Preglednica 12. Za tip značilne referenčne vrednosti in spodnje meje indeksov BIRTI-P in BIRTI-N.....	39
Preglednica 13. Za tip značilne referenčne vrednosti in spodnje meje indeksa M-BIRTI za nižinske tipe rek v hidroekoregijah Panonska in Padska nižina v Sloveniji ($M-BIRTI_{LOW}$).....	41
Preglednica 14. Mejne vrednosti in transformirane mejne vrednosti razmerja ekološke kakovosti (REK) za razrede ekološkega stanja indeksov BIRTI.....	45
Preglednica 15. Enačbe za izračun transformiranih REK vrednosti indeksa BIRTI- P_{LOW}	45
Preglednica 16. Enačbe za izračun transformiranih REK vrednosti indeksa BIRTI- N_{LOW}	45
Preglednica 17. Enačbe za izračun transformiranih REK vrednosti indeksa M-BIRTI- LOW	46
Preglednica 18. Povezanost (R^2 - koeficient determinacije) indeksov BIRTI in SIG3 ter parametrov evtrofikacije; koncentracija celotnega fosforja (transformirana vrednost) – $T_{P_{tot}}$, koncentracija nitritnega dušika (transformirana vrednost) – T_{NO2_N} , koncentracija nitratnega dušika (transformirana vrednost) – T_{PO4} , koncentracija rtofosfatnega fosforja (transformirana vrednost) T_{NO3_N} in sestavljen gradient evtrofikacije glede na razred velikosti prispevne površine (VPP).....	47



KAZALO PRILOG

Priloga A. Deskriptorji in kratice deskriptorjev uporabljene za opis tipov rek v Sloveniji za ekoregiji Panonska nižina in Padska nižina (Urbanič, 2006b).	54
Priloga B. Seznam okoljskih spremenljivk s kodami.	55
Priloga C. Statistično značilne ($p < 0,05$) korelacije (r_{sp} - Spearmanov korelacijski koeficient).56	
Priloga D. Statistično značilne ($p < 0,05$) korelacije (r_{sp} - Spearmanov korelacijski koeficient). med M-BIRTI in ostalimi spremenljivkami.	58



POVZETEK

Bentoški nevretenčarji so eden od bioloških elementov za vrednotenje ekološkega stanja rek v skladu z Vodno direktivo. Za vrednotenje vpliva obremenjenosti rek s hranili smo za nižinske reke na podlagi bentoških nevretenčarjev razvili tri indekse trofičnosti rek: BIRTI-P_{low}, BIRTI-N_{low} in M-BIRTI_{low}, ki vključuje taksonomsko sestavo in številčnost taksonov. BIRTI-P in BIRTI-N smo razvili na podlagi rezultatov kanonične korespondenčne analize (CCA). BIRTI-P smo razvili na podlagi odziva taksonov predvsem na obremenitev s celotnim fosforjem in nitritom, BIRTI-N pa na podlagi odziva taksonov na obremenitev z nitratom. M-BIRTI je multimetrijski indeks s katerim vrednotimo predvsem vpliv obremenitve s celotnim fosforjem. Indekse smo razvili za vse nižinske reke, razen za kategorijo velike reke. Za vse indekse smo določili referenčne vrednosti in meje med petimi razredi ekološkega stanja. Meje med razredi ekološkega stanja smo določili na podlagi sprememb v razmerju med deležem občutljivih in tolerantnih taksonov. Za vse razvite indekse smo določili postopek za pravilno ovrednotenje vpliva obremenitve s hranili na podlagi bentoških nevretenčarjev oz. ovrednotenje ekološkega stanja po modulu trofičnost. Postopek vključuje naslednje korake:

- 1. Kvantitativno vzorčenje** bentoških nevretenčarjev po metodi vzorčenja mikrohabitatnih tipov (Urbanič in sod., 2005a; MOP, 2009)
- 2. Obdelava bioloških vzorcev;** pregled 1/4 vzorca (0,3125 m²) in določitev taksonov v skladu z razvito metodologijo (Urbanič in sod., 2005b; 2008)
- 3. Izračun indeksov BIRTI-P, BIRTI-N.**
- 4. Normalizacija indeksov BIRTI-P, BIRTI-N oz. izračun razmerja ekološke kakovosti (REK)** z uporabo za tip reke značilnih referenčnih vrednosti in spodnjih mej
- 5. Izračun in normalizacija M-BIRTI.**
- 6. Transformacija vrednosti REK izbranega indeksa (BIRTI-P_{low}, BIRTI-N_{low} M-BIRTI_{low})** glede na mejne vrednosti REK s transformacijskimi krivuljami, značilnimi za posamezen tip reke.
- 7. Uvrstitev** vzorčnega mesta v razred ekološke kakovosti.



1 UVOD

Vodna direktiva (Direktiva 2000/60/EC) zavezuje države članice Evropske unije sprejetje novega pristopa v vrednotenju površinskih voda. Nov pristop vključuje upoštevanje bioloških elementov kakovosti in podpornih hidromorfoloških in fizikalno-kemijskih elementov kakovosti. Benetoški nevretenčarji so eden od bioloških elementov kakovosti. V skladu z Uredbo o stanju površinskih voda (Uradni list 14/09) v Sloveniji bentoške nevretenčarje uporabljamo za vrednotenje ekološkega stanja rek po modulu saprobnost in hidromorfološka spremenjenost/splošna degradiranost. Po modulu trofičnost vrednotimo ekološko stanje rek le fitobentosom in makrofiti. Bentoški nevretenčarji so lahko dober pokazatelj vpliva obremenitve rek s hranili (oblike fosforja in dušika) (Pavlin in sod. 2011, Pavlin 2012). Ker s fitobentosom in makrofiti vrednotimo predvsem vpliv obremenjenosti rek s fosforjem (Rott in sod. 1999), ne pa tudi z dušikom, je smiselno bentoške nevretenčarje uporabiti tudi kot indikatorje trofičnosti.

Osnovni namen tega dela je:

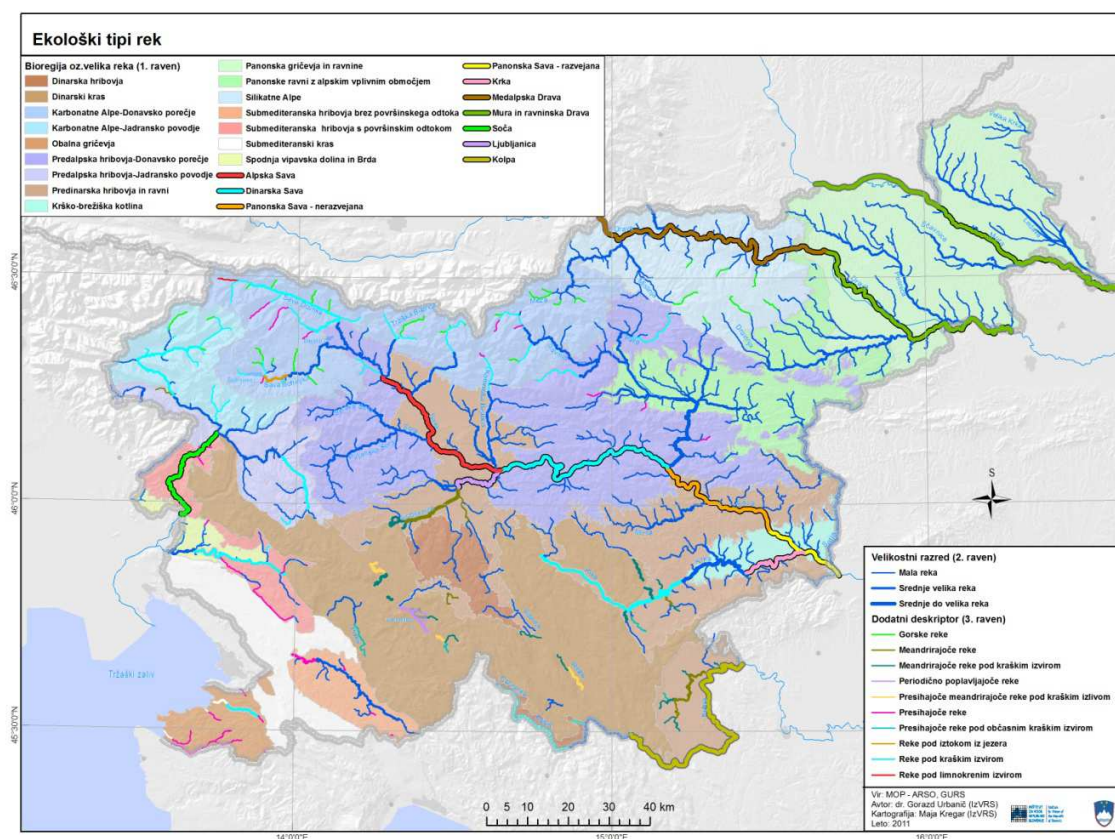
- i) razviti indeks trofičnosti rek za vrednotenje vpliva obremenitve rek s hranili v nižinskih ekoregijah Slovenije,
- ii) razviti indeksa trofičnosti s katerim bomo lahko vrednotili vpliv obremenitve s fosforjem oz. obremenitve z dušikom,
- iii) razviti multimetrijski indeks za vrednotenje vpliva obremenitve rek s hranili
- iv) določiti za tip značilne referenčne vrednosti v nižinskih ekoregijah v Sloveniji;
- v) na podlagi indeksov trofičnosti določiti meje med razredi ekološkega stanja za ekološke tipe rek,
- vi) mejnim vrednostim določiti ustrezne vrednosti razmerja ekološke kakovosti (REK).



2 PREGLED IZHODIŠČ

2.1 TIPOLOGIJA REK V SLOVENIJI

Predlog nacionalne tipologije rek v Sloveniji je pripravljen po sistemu B Vodne direktive. Izhodišče je v 4 hidroekoregijah (Urbanič 2005b, 2006a, 2007a, 2008a), ki jih je Urbanič (2006a, 2007b, 2008b) razdelil na 16 bioregij in 9 posebnih kategorij »velike reke«, v vsaki bioregiji pa uporabil še različne kombinacije dodatnih atributov (Urbanič 2006b, 2007c, 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 11a,b).



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



Preglednica 1. Seznam ekoloških tipov rek v hidroekoregijah Panonska nižina in Padska nižina v Sloveniji (Urbanič, 2007c; 2011). Za pojasnila kod glej prilogo B.

Št. tipa	Hidroekoregija	Bioregija -koda	Ekološki tip reke-koda	Ekološki tip reke - kratka koda
1	Padska nižina	Vip-Brda	R_SI_3_Vip-Brda_1	Brda1
2		Vip-Brda	R_SI_3_Vip-Brda_2	Brda2
3	Panonska nižina	PN-gric	R_SI_11PN-gric_1	PNgric1
4		PN-gric	R_SI_11PN-gric_2	PNgric2
5		PN-zALvpliv	R_SI_11PN-zALvpliv_1	PNzAL1
6		PN-zALvpliv	R_SI_11PN-zALvpliv_2	PNzAL2
7		PN-zALvpliv	R_SI_11PN-zALvpliv_3	PNzAL3
8		KrBr-kotl	R_SI_11PN-KrBr-kotl_1	KrBr1
9		KrBr-kotl	R_SI_11PN-KrBr-kotl_2	KrBr2
10		KrBr-kotl	R_SI_11PN-KrBr-kotl_3	KrBr3



2.2 REFERENČNA MESTA

Urbanič in Smolar-Žvanut (2005) sta določila kriterije za izbor referenčnih mest na rekah. Urbanič (2007d) 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 kriterij 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 2005a)
- 5000 m, za vse »velike reke« (po Urbanič 2005a)

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

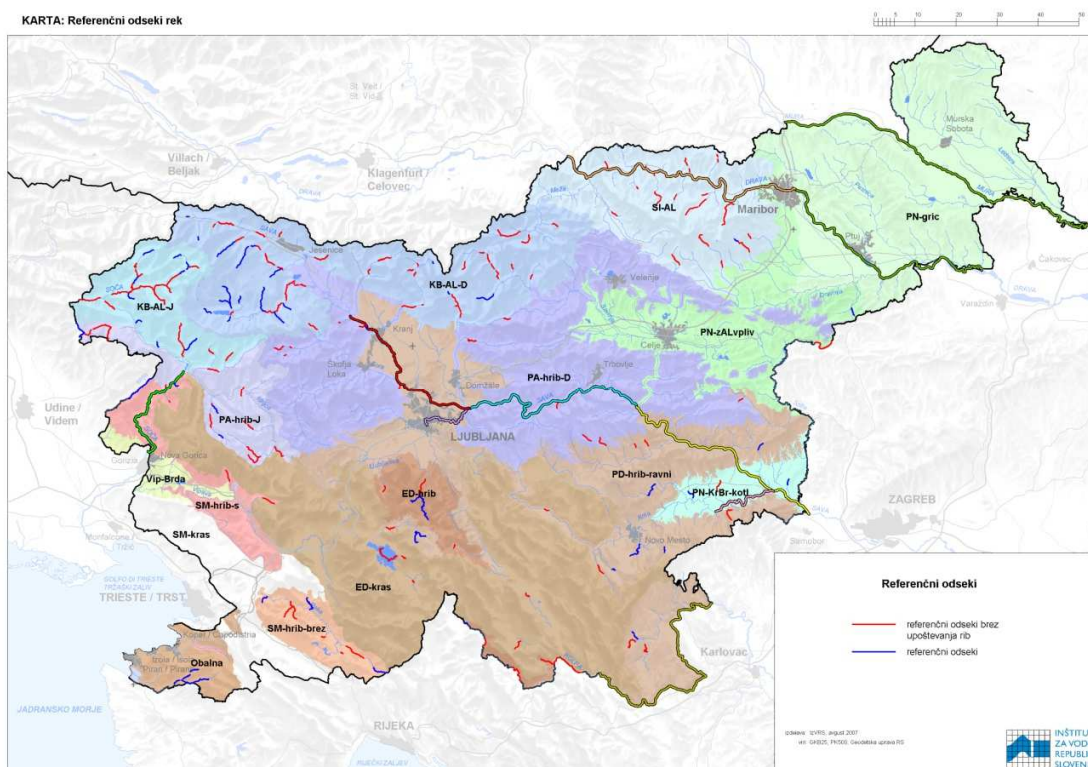
- A) Hidroekoregija Alpe: $\leq 1,8$
- B) Hidroekoregija Dinaridi:
 - če je naklon terena $> 1^\circ$, mora biti vrednost saprobnega indeksa $\leq 1,8$
 - če je naklon terena $< 1^\circ$, mora biti vrednost saprobnega indeksa $\leq 2,0$
- C) Hidroekoregija Panonska nižina: $\leq 2,0$
- D) Hidroekoregija 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, 2007d)

2.3 VZORČENJE BENTOŠKIH NEVREtenčARJEV

Urbanič in sod. (2005a) so razvili metodologijo za vzorčenje bentoških nevretenčarjev v plitvih rekah. Poleg metodologije vzorčenja so Urbanič in sod. (2005b, 2008) določili tudi postopek za podvzorčenje in obdelavo bioloških vzorcev. Postopek za pridobitev bioloških podatkov o bentoških nevretenčarjih rek, ki so bili razviti za vrednotenje ekološkega stanja rek v Sloveniji, je povzet v naslednjih korakih:

1) Popis značilnosti vzorčnega mesta

Popis značilnosti vzorčnega mesta z izpolnitvijo 4 delovnih protokolov v skladu s podanimi navodili in uporabljenimi kategorijami substratov in razredi globin (preglednice 2-4).



Preglednica 2. Kategorije anorganskih substratov

Kategorija	Opis	Premer delcev
Megalital	Skale, živa skala	>40 cm
Makrolital	Veliki kamni	20-40 cm
Mezolital	Majhni kamni	6 -20 cm
Mikrolital	Prod	2 -6 cm
Akal	Gramoz	0,2-2 cm
Psamal	Pesek	6 ·m-2 mm
Psamopelal	Pesek z muljem	<0,2 mm
Pelal	Mulj (organski)	<0,006 ·m
Argilal	Ilovica, glina	<0,006 ·m

Preglednica 3. Kategorije organskih substratov v rekah

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



Preglednica 4. Kategorije tipov tokov

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

2) Vzorčenje bentoških nevretenčarjev

Kvantitativno vzorčenje rek po metodi vzorčenja multimikrohabitatnih tipov (Urbanič in sod., 2005a):

- Izbor 20 podvzorčnih enot (na posameznem vzorčnem mestu) velikosti 25 x 25 cm v skladu z izpolnjenimi delovnimi protokoli.
- Združitev 20 podvzorčnih enot z enega vzorčnega mesta v vzorec.

3) Podvzorčenje

- Razdelitev vzorca nabranega na enem vzorčnem mestu na 4 podenote.
- Naključni izbor dveh podenot.
- Ločena obdelava obeh podenot.

4) Sortiranje in determinacija osebkov

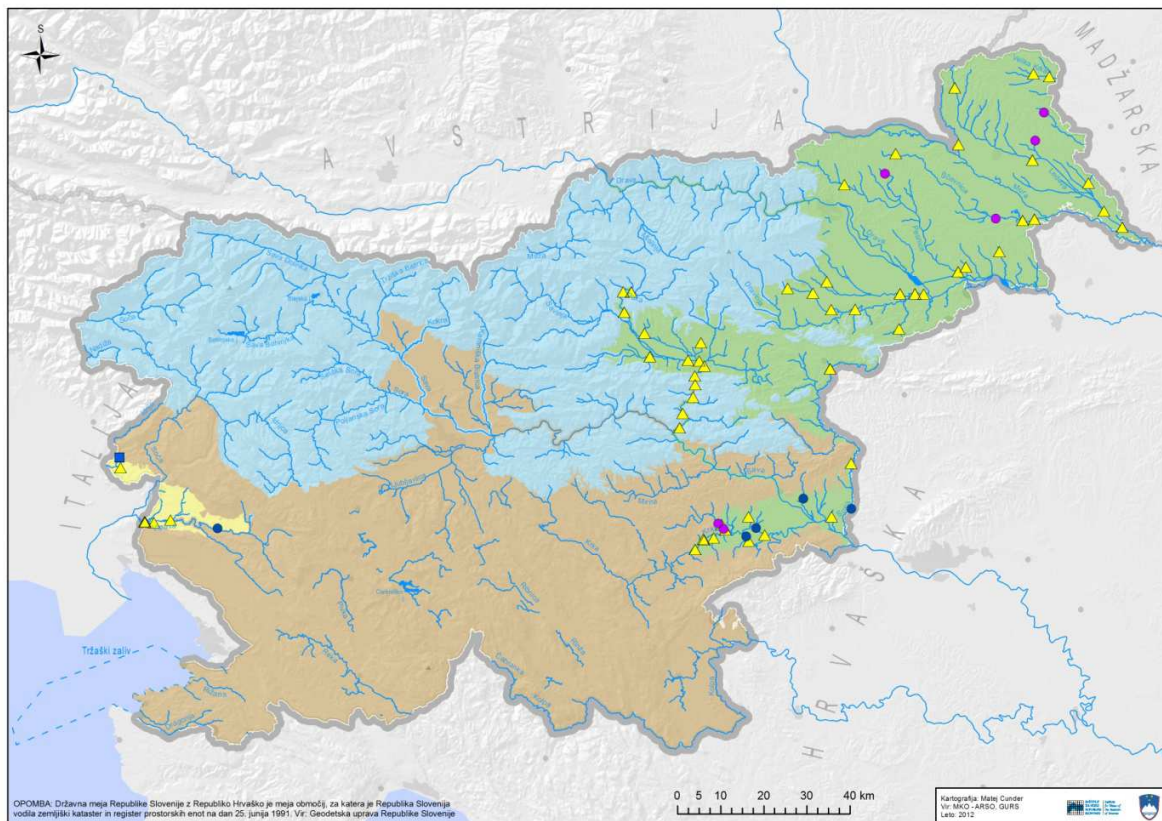
- Izbor vseh bentoških nevretenčarjev ločeno za obe podenoti.
- Določitev vseh izbranih osebkov bentoških nevretenčarjev do stopnje determinacije, ki je predlagana za določanje ekološkega stanja rek v Sloveniji (Urbanič in sod., 2008; MOP, 2009).

Biološke podatke za razvoj metodologij vrednotenja in oceno stanja vodotokov predstavljajo podatki o združbah bentoških nevretenčarjev, pridobljeni s pregledom 1/4 vzorca, t.j. vzorca, pobranega s površine 0,3125 m².



3 METODE IN MATERIALI

Za razvoj metode vrednotenja in razvrščanja vodnih teles rek v hidroekoregijah Panonska nižina in Padska nižina smo uporabili 85 vzorcev pridobljenih na 68 vzorčnih mestih (Preglednica 5). Z istih mest so bili pridobljeni podatki o vrednostih fizikalno-kemijskih spremenljivk in biološki podatki. Za tipe velikih rek hidroekoregije Panonska nižina za zdaj nismo imeli dovolj podatkov ali dovolj dolgih gradientov obremenjenosti s hranili, zato za velike reke metodologija ni bila razvita.



Slika 3. Mesta vzorčenja v rekah ekoregij Padska nižina in Panonska nižina. Rumeni trikotniki – nereferenčna mesta, modri kvadrati – referenčna mesta za BIRTI-P in BIRTI-N; modri krogi – referenčna mesta za BIRTI-P; vijolični krogi – referenčna mesta za BIRTI-N.



Preglednica 5. Število vzorcev v hidroekoregijah Panonska nižina in Padska nižina, ki so bili uporabljeni pri razvoju Indeksov trofičnosti na podlagi rečne favne (BIRTI), razvrščeni po skupinah ekoloških tipov rek.

Ekološki tip reke-koda	Ekološki tip reke- kratka koda	Število vzorcev
R_SI_3_Vip-Brda_1	Vip1	4
R_SI_3_Vip-Brda_2	Vip2	6
R_SI_11PN-gric_1	PNgric1	11
R_SI_11PN-gric_2	PNgric2	20
R_SI_11PN-zALvpliv_1	PNzAL1	9
R_SI_11PN-zALvpliv_2	PNzAL2	8
R_SI_11PN-zALvpliv_3	PNzAL3	8
R_SI_11PN-KrBr-kotl_1	KrBr1	6
R_SI_11PN-KrBr-kotl_2	KrBr2	7
R_SI_11PN-KrBr-kotl_3	KrBr3	6

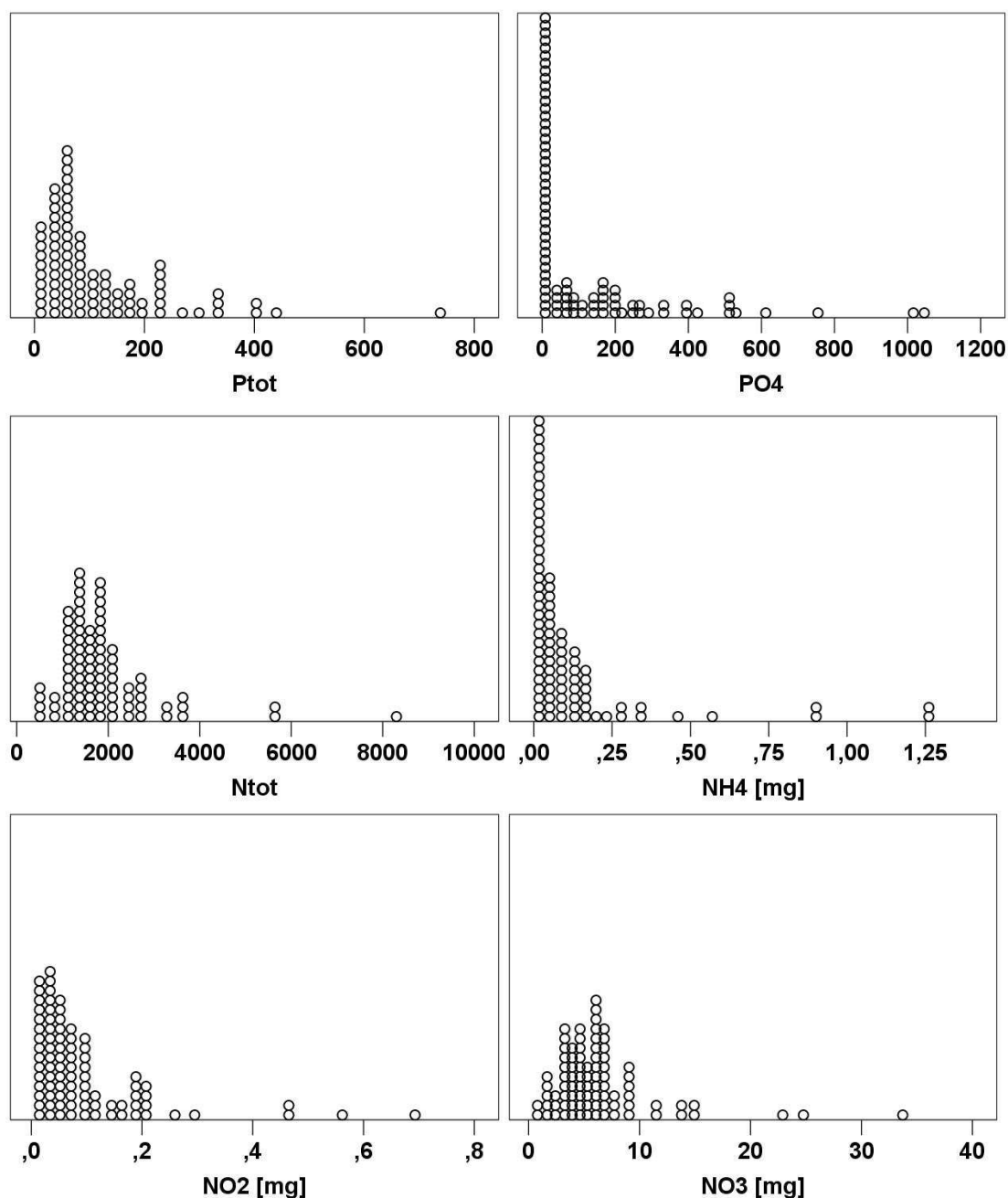


3.1 DOLOČITEV GRADIENTA EVTROFIKACIJE

Za oceno obremenitve vodotokov s hranili (eutrofikacije) smo uporabili podatke o fizikalno-kemijskih spremenljivkah, izmerjenih na vzorčnih mestih (Preglednica 6).

Preglednica 6. Mediana, povprečje in razpon vrednosti spremenljivk eutrofikacije.

Parameter	Koda	Enota	Minimum	Maksimum	Povprečje	Mediana
Celotni fosfor	Ptot	µg P/l	4	738	118	72
Ortofosfat	PO4	µg PO ₄ /l	2	1046	147	48
Celotni dušik	Ntot	mg N/l	466	8300	1891	1629
Amonij	NH4	mg NH ₄ /l	0,002	1,261	0,133	0,051
Nitrit	NO2	mg NO ₂ /l	0,007	0,693	0,099	0,059
Nitrat	NO3	mg NO ₃ /l	0,6	33,7	6,4	5,3



Slika 4. Vrednosti spremenljivk eutrofikacije v vzorcih nižinskih rek ekoregij Padska nižina in Panonska nižina.

Sestavljen gradient obremenitve smo določili na podlagi rezultatov kanonične korespondenčne analize (CCA) z upoštevanjem vseh 85 vzorcev. CCA smo izvedli z uporabo kvantitativnih podatkov o združbah bentoških nevretenčarjev v rekah ekoregij Panonska nižina in Padska nižina in fizikalno-kemijskih parametrov izmerjenih v vodi (Preglednica 6).



Sestavljen gradient evtrofikacije smo izračunali iz vrednosti spremenljivk s katerimi smo statistično značilno ($p < 0,05$) in neodvisno ($\lambda_A > 0$) pojasnili deleže variabilnosti združb BN v ekoregijah Panonska nižina in Padska nižina (Preglednica 6). 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) vrednost spremenljivke izmerjeno v vodotokih Slovenije, medtem ko smo spodnjo mejo določili kot najslabšo izmerjeno vrednost spremenljivke. Gradient obremenitve smo izračunali kot utežno povprečje normaliziranih vrednosti okoljskih spremenljivk 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.

3.2 RAZVOJ INDEKSOV (METRIK) ZA VREDNOTENJE VPLIVA OBREMENJENOSTI REK S HRANILI V HIDROEKOREGIJAH PANONSKA NIŽINA IN PADSKA NIŽINA – TROFIČNI INDEKS REČNE FAVNE

Za vrednotenje vpliva obremenjenosti vodotokov s hranili v rekah ekoregij Panonska nižina in Padska nižina smo razvili dva enometrijska indeksa: BIRTI-P in BIRTI-N.

Število referenčnih in nereferenčnih vzorcev po skupinah ter setih podatkov je predstavljeno v preglednici 5.

Indeksa smo razvili po naslednjem postopku:

1. CCA analiza s spremenljivkami evtrofikacije in kvantitativnimi podatki o številčnosti taksonov bentoških nevretenčarjev.
2. Izbor CCA osi, ki sta z izbranimi spremenljivkami evtrofikacije najboljše korelirani. Izbrali smo dve osi, ki sta bili močno korelirani s spremenljivkami evtrofikacije.
3. Določitev trofičnih indikatorskih vrednosti (Rt_i) posameznim taksonom; kot trofične vrednosti smo uporabili vrednosti taksonov prve kanonične osi (BIRTI-P) oz. druge kanonične osi (BIRTI-N). Trofične vrednosti smo umerili tako, da smo vse vrednosti delili z absolutno največjo vrednostjo.
4. Določitev teže trofične indikacije (uteži) (Tw_i) posameznim taksonom. Težo indikacije (utež) (1-5) smo posameznemu taksonu določili glede na ekološko valenco pojavljanja taksona, ki je v rezultatih CCA analize izražena kot toleranca taksona. Vrednosti uteži smo določili po pravilu:

Toleranca-T (CCA analiza)	Indikatorska vrednost (utež) (Tw_i)
----------------------------------	---



Toleranca-T (CCA analiza)	Indikatorska vrednost (utež) (Twi)
$T_i < 0,2$	5
$0,2 < T_i < 0,4$	4
$0,4 < T_i < 0,6$	3
$0,6 < T_i < 0,8$	2
$T_i > 0,8$	1

5. Določitev enačb in izračun vrednosti enometrijskih trofičnih indeksov (BIRTI).
6. Testiranje soodvisnosti med BIRTI in gradienti obremenitve s hranili.

Za vsak vzorec smo izračunali vrednosti Saprobnege indeksa – slovenska verzija (SIG3) na podlagi bentoških nevretenčarjev (Urbanič in sod., 2006). Pri izračunu smo upoštevali le podatke o bioloških podatkih, pridobljenih z metodologijo vzorčenja in laboratorijske obdelave, ki je bila pripravljena v skladu z Vodno direktivo (Direktiva 2000/60/ES) (Urbanič in sod., 2005a, b).

3.3 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 ekoregijah Panonska nižina in Padska nižina je tem kriterijem ustrezalo le eno vzorčno mesto. Zaradi pomanjkanja referenčnih mest na nižinskih tipih rek in ker v predstavljenem delu obravnavamo le obremenjenost rek s hranili, smo za izbor parcialnih referenčnih mest oz. najmanj obremenjenih mest izbrali predvsem tiste kriterije, ki odražajo obremenjenost rek s hranili.

Uporabili smo naslednje kriterije:

1. Sestavljen gradient evtrofikacije < 36 .
2. Transformirana vrednost celotnega fosforja (T_{Ptot}) $< 3,5$.
3. Transformirana vrednost nitritnega dušika (T_{NO2_N}) < 2 .
4. Transformirana vrednost nitratnega dušika (T_{NO3_N}) < 7 .
5. Delež urbanih površin v skupnem prispevnem območju $< 1\%$.

Poleg tega smo za določitev parcialnih referenčnih mest upoštevali kriterij, ki sta ga Urbanič in Smolar-Žvanut (2005) uporabila za hidromorfološko spremenjenost, tj. 1. ali 1.-2. razred po klasifikaciji VGI (2002).

Določili smo dve skupini kriterijev za izbor referenčnih mest glede na obremenjenost s hranili. Pri razvoju indeksa BIRTI-P, ki odraža obremenjenost voda s fosforjem in z nitritom, smo za izbor referenčnih mest uporabili kriterije 1, 2 in 3. Pri razvoju indeksa



BIRTI-N, ki odraža predvsem obremenjenost voda z nitratom in vpliv urbanih površin na vodotoke, smo za izbor referenčnih mest uporabili kriterije 1, 4 in 5.

Vzorčna mesta smo glede na vrednosti izbranih parametrov obremenitve s hranili razdelili v tri razrede obremenitve. Za indeks BIRTI-P smo mesta razdelili v razrede obremenitve (TR1) na podlagi naslednjih kriterijev:

- a) Razred 1 – referenčna mesta po kriterijih za BIRTI-P
- b) Razred 2 – ni referenčno mesto in sestavljen gradient evτροφikacije <36
- c) Razred 3 – sestavljen gradient evτροφikacije 36-55
- d) Razred 4 – sestavljen gradient evτροφikacije >55

Za indeks BIRTI-N smo mesta razdelili v razrede obremenitve (TR2) na podlagi naslednjih kriterijev:

- a) Razred 1 – referenčna mesta po kriterijih za BIRTI-N
- b) Razred 2 – ni referenčno mesto in transformirana vrednost nitratnega dušika (T_{NO3_N}) <7
- c) Razred 3 – transformirana vrednost nitratnega dušika (T_{NO3_N}) 7-7,5
- d) Razred 4 – transformirana vrednost nitratnega dušika (T_{NO3_N}) >7,5

3.4 DOLOČITEV ZA TIP ZNAČILNIH REFERENČNIH RAZMER IN SPODNJIH MEJ TER NORMALIZACIJA INDEKSOV BIRTI-P IN BIRTI-N

Pred določanjem za tip značilnih referenčnih razmer in spodnjih mej smo podatke vzorcev bentoških nevretenčarjev iz različnih ekoloških tipov rek združili v skupine. Skupine smo določili glede na razred velikosti prispevne površine (VPP1, VPP2, VPP3) vzorčnega mesta in dobili tri skupine ekoloških tipov: LOW1, LOW2 in LOW3. Za vsako skupino ekoloških tipov smo testirali povezavo med indeksom BIRTI in gradientom obremenitve. Testirali smo povezave med posameznim indeksom in gradientom obremenitve, pri katerem smo v celotnem setu podatkov ugotovili najboljšo korelacijo s tem indeksom BIRTI. Povezave smo testirali med parametrom celotni fosfor in BIRTI-P ter med parametrom nitrat in BIRTI-N. Z analizo covariance (ANCOVA) smo testirali razlike v odzivih indeksa na gradient med skupinami ekoloških tipov. Za analizo ANCOVA smo uporabili programski paket PAST 2.08 (Hammer in sod. 2001). Na podlagi rezultatov ANCOVA smo skupine ekoloških tipov združili in za združene skupine ekoloških tipov določili referenčne vrednosti in spodnje meje za indeks BIRTI-i.



Normalizacijo posameznega indeksa BIRTI smo izvedli za vsako skupino ekoloških tipov, ki smo jo odoločili na podlagi rezultatov ANCOVA. Za skupine ekoloških tipov značilne referenčne vrednosti smo izračunali kot 5-ti percentil vseh vrednosti indeksa BIRTI-P oz. 95-ti percentil vseh vrednosti indeksa BIRTI-N. Spodnje meje smo določili kot maksimum (BIRTI-P) oz. minimum (BIRTI-N) vseh opaženih vrednosti izbranega indeksa BIRTI v posamezni skupini ekoloških tipov.

Posamezno vrednost indeksa $BIRTI_i$ smo normalizirali po enačbi (1):

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

Kjer je:

REK- razmerje ekološke kakovosti indeksa

Z normalizacijo posamezne vrednosti indeksa BIRTI dobimo razmerje ekološke kakovosti (REK), ki nam pove odstopanje od referenčnih razmer.

3.5 RAZVOJ MULTIMETRIJSKEGA TROFIČNEGA INDEKSA REČNE FAVNE ZA NIŽINSKE REKE (M-BIRTI)

Za izgradnjo multimetrijskega indeksa BIRTI (M-BIRTI) smo uporabili indeksa BIRTI-P in BIRTI-N. Uporabili smo normalizirane vrednosti indeksov pri čemer smo vsem $REK < 0$ pripisali vrednost 0 in vsem $REK > 1$ vrednost 1. Indeks smo izračunali po naslednji enačbi:

$$M - BIRTI = \frac{BIRTI - P + BIRTI - N}{2} \quad \dots (2)$$

Kjer je:

BIRTI-P – za tip značilna normalizirana vrednost indeksa BIRTI-P

BIRTI-N – za tip značilna normalizirana vrednost indeksa BIRTI-N

Indeks M-BIRTI smo normalizirali. Kot referenčno vrednost smo določili 95-ti percentil vseh vrednosti indeksa BIRTI-M iz obeh nižinskih ekoregij. Posamezno vrednost indeksa M-BIRTI smo normalizirali po enačbi (1):

$$M - BIRTI_{LOW} = \frac{M - BIRTI_i}{M - BIRTI_{REF}} \quad \dots (3)$$

Kjer je:

$M - BIRTI_{LOW}$ – vrednost indeksa M-BIRTI za vodotoke nižinske ekoregije

$M - BIRTI_{REF}$ – referenčna vrednost indeksa M-BIRTI za vodotoke nižinske ekoregije



3.6 DOLOČITEV MEJNIH VREDNOSTI INDEKSOV BIRTI (BIRTI-P, BIRTI-N) IN MULTIMETRIJSKEGA INDEKSA BIRTI (M-BIRTI) MED RAZREDI EKOLOŠKEGA STANJA

Mejne vrednosti indeksov BIRTI-P in BIRTI-N smo določili za posamezne skupine ekoloških tipov. Mejne vrednosti multimetrijskega indeksa BIRTI (M-BIRTI) smo določili enotno za vse ekološke tipe nižinskih ekoregij (**Error! Reference source not found.**). Mejne vrednosti med razredi ekološkega stanja smo določili na podlagi odziva občutljivih oz. tolerantnih taksonov vzdolž ekološkega gradienta z uporabo metode parnih metrik:

- 1) Za vsako vzorčno mesto smo izračunali delež občutljivih ($Rt-P_i < 0$) taksonov in delež tolerantnih taksonov ($Rt-P_i > 0$) indeksa BIRTI-P oz. delež občutljivih ($Rt-N_i > 0$) taksonov in delež tolerantnih taksonov ($Rt-N_i < 0$) indeksa BIRTI-N. Za indeks M-BIRTI smo občutljive taksone določili tiste, ki so občutljivi glede na indeksa BIRTI-P ($Rt-P_i < 0$) in BIRTI-N ($Rt-P_i > 0$), kot tolerantne pa tiste, ki so tolerantni glede na indeksa BIRTI-P ($Rt-P_i > 0$) in BIRTI-N ($Rt-N_i < 0$). Delež taksonov, ki so občutljivi le glede na en indeks, pri določitvi mej indeksa M-BIRTI nismo upoštevali.
- 2) Med vrednostjo izbranega indeksa BIRTI in deležem občutljivih oz. tolerantnih taksonov smo določili regresijski krivulji.
- 3) Mejne vrednosti med razredi ekološkega stanja smo določili na podlagi sprememb v razmerju med deleži občutljivih in tolerantnih taksonov.

Vzdolž gradienta obremenitve smo določili štiri mejne vrednosti, prei katerih smo opazili značilne spremembe v združbi bentoških nevretenčarjev:

- a. mejo zelo dobro/dobro stanje smo določili pri tisti vrednosti, kjer smo opazili povečanje deleža tolerantnih taksonov (tolerantni < občutljivi):
- b. mejo dobro/zmerno stanje smo določili pri tisti vrednosti, kjer je delež tolerantnih taksonov dosegel delež občutljivih taksonov (tolerantni $\approx$ občutljivi)
- c. mejo zmerno/slabo stanje smo določili pri tisti vrednosti, kjer je delež tolerantnih taksonov presegel delež občutljivih taksonov (tolerantni > občutljivi)
- d. mejo slabo/zelo slabo smo določili pri tisti vrednosti, kjer je delež tolerantnih taksonov začel prevladovati (tolerantni >> občutljivi).



3.7 TRANSFORMACIJA MEJNIH VREDNOSTI »REK« MED RAZREDI EKOLOŠKEGA STANJA

Zaradi lažje neposredne primerjave vrednosti REK (razmerje ekološke kakovosti) med različnimi tipi rek v Sloveniji smo mejne vrednosti indeksov transformirali tako, da smo vsem tipom uskladili mejne vrednosti (Preglednica 7). Za vsak razred ekološkega stanja smo določili transformacijsko enačbo.

Preglednica 7. Mejne vrednosti razredov in ustrezna vrednost razmerja ekološke kakovosti (REK) po transformaciji vrednosti.

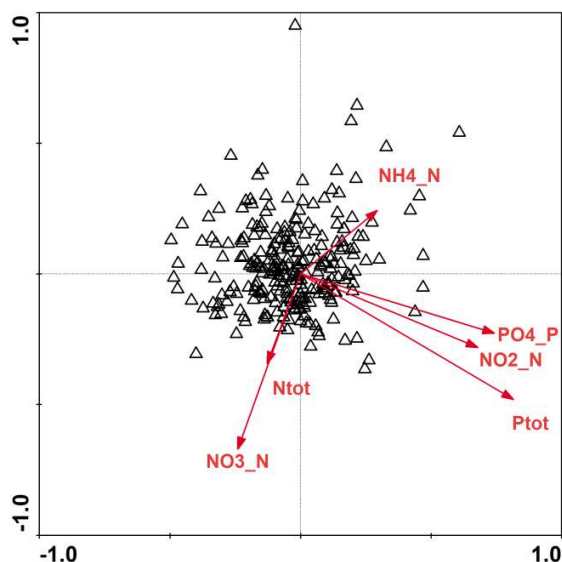
4	Mejna vrednost
1	Referenčna vrednost
0,8	Mejna vrednost zelo dobro/dobro stanje
0,6	Mejna vrednost dobro/zmerno stanje
0,4	Mejna vrednost zmerno/slabo stanje
0,2	Mejna vrednost slabo/zelo slabo stanje
0,1	Spodnja meja



5 REZULTATI

5.1 GRADIENT EVTROFIKACIJE

S spremenljivkami obremenitve smo v analizi CCA pojasnili 9% variabilnosti združb bentoških nevretenčarjev (celotna variabilnost = 3,129). Največ variabilnosti smo pojasnili s spremenljivko celotni fosfor (3,2%, $\lambda_1 = 0,10$) (Preglednica 8). Po izbiranju smo statistično značilno ($p < 0,05$) pojasnili variabilnost združb bentoških nevretenčarjev s štirimi spremenljivkami: celotni fosfor, ortofosfat, nitrit in nitrat (Preglednica 8). Vzduž prve osi CCA smo prepoznali predvsem gradient spreminjanja koncentracije celotnega fosforja, ortofosfata in nitrata, vzdolž druge osi CCA pa gradient spreminjanja koncentracije nitrata in celotnega dušika (Slika 5).



Slika 5. CCA ordinacijski diagram s spremenljivkami obremenjenosti s hranili (puščice).

Preglednica 8. CCA z izbiranjem spremenljivk obremenjenosti s hranili.

Spremenljivka	λ_1	λ_A	P	F
Ptot	0,1	0,1	0,001	2,91
PO4_P	0,08	0,05	0,003	1,73
Ntot	0,04	0,03	0,292	1,09
NO2_N	0,07	0,06	0,004	1,69
NO3_N	0,05	0,05	0,011	1,65
NH4_N	0,04	0,04	0,178	1,17



Za izračun sestavljenega gradienta smo parametre obremenjenosti s hranili (X_i) normalizirali po enačbi:

$$X_{i_nor} = \frac{X_i - X_{i_spodnja\ meja}}{X_{i_zgornja\ meja} - X_{i_spodnja\ meja}} \quad \dots (4)$$

Kjer je:

X_i – s funkcijo $\ln(x+1)$ transformirana vrednost posameznega parametra obremenjenosti s hranili.

Vrednosti spodnje in zgornje meje so prikazane v preglednici 9. Sestavljen gradient evtrofikacije (E_{sest}) smo izračunali po enačbi:

$$E_{sest} = \frac{P_{tot} * 0,07 + PO_4_P * 0,006 + N_{tot} * 0,04 * NO_3_N * 0,05}{0,22} * 100 \quad \dots (5)$$

P_{tot} – normalizirana vrednost celotnega fosforja

PO_4_P – normalizirana vrednost ortofosfatnega fosforja

N_{tot} – normalizirana vrednost celotnega dušika

NO_3_N – normalizirana vrednost nitratnega dušika

Preglednica 9. Vrednosti zgornje in spodnje meje za normalizacijo parametrov, uporabljene pri izračunu sestavljenega gradienta evtrofikacije.

Parameter	Spodnja meja	Zgornja meja
P_{tot}	7,08	0,97
PO_4_P	5,84	0,50
N_{tot}	9,02	5,99
NH_4_N	7,61	0,77
NO_2_N	5,36	0,14
NO_3_N	8,94	3,78

Izračunane vrednosti sestavljenega gradienta smo transformirali (E_{sest_trans}) po enačbi:

$$E_{sest_trans} = \frac{E_{sest} - E_{sest_spodnja\ meja}}{E_{sest_zgornja\ meja} - E_{sest_spodnja\ meja}} \quad \dots (6)$$

Kjer je:

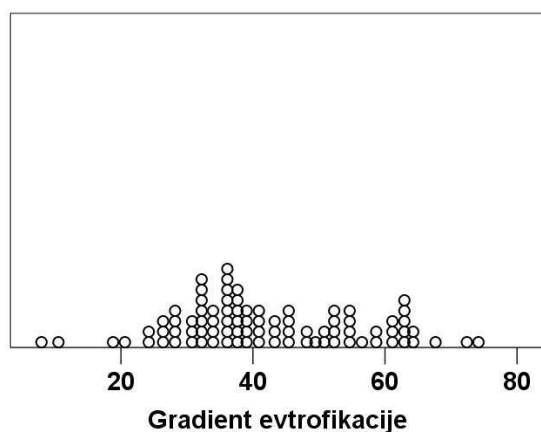
E_{sest} – vrednost sestavljenega gradienta.

$E_{sest_zgornja\ meja}$ – zgornja meja sestavljenega gradienta.

$E_{sest_spodnja\ meja}$ – spodnja meja sestavljenega gradienta.



Zgornjo mejo sestavljenega gradienta smo določili kot minimalno opaženo vrednost gradienta evtrofikacije v Sloveniji in je znašala 11, spodnjo mejo (najslabša vrednost) smo določili kot maksimalno možno vrednost gradienta evtrofikacije, t.j. 100. Vrednosti gradienta obremenitve v vodotokih ekoregij Panonska in Padska nižina so znašale med 0 in ca. 80. To pomeni, da smo imeli na voljo podatke vzdolž velikega dela gradienta evtrofikacije rek v Sloveniji (Slika 6).



Slika 6. Razporejanje podatkov vzdolž sestavljenega gradienta evtrofikacije.

5.2 TROFIČNA INDEKSA REČNE FAVNE (BIRTI-P IN BIRTI-N)

Trofična indeksa rečne favne (BIRTI) izračunamo po enačbah (7 in 8):

$$BIRTI - P = \frac{\sum_{i=1}^n (RtP_i * TwP_i * \ln(A_i + 1))}{\sum_{i=1}^n (TwP_i * \ln(A_i + 1)_i)} \quad \dots (7)$$

in

$$BIRTI - N = \frac{\sum_{i=1}^n (RtN_i * TwN_i * \ln(A_i + 1))}{\sum_{i=1}^n (TwN_i * \ln(A_i + 1)_i)} \quad \dots (8)$$

kjer je:

Rt-P_i – trofična indikatorska vrednost taksona *i* indeksa BIRTI-P

Rt-N_i – trofična indikatorska vrednost taksona *i* indeksa BIRTI-N



Tw-P_i – teža indikacije taksona (utež) / indeksa BIRTI-P

Tw-N_i – teža indikacije taksona (utež) / indeksa BIRTI-N

A_i – številčnost (abundanca) taksona / v ¼ vzorca

Preglednica 10. Trofične indikatorske vrednosti (Rt-P_i in Rt-N_i) in teže indikacije (uteži) (Tw-P_i in Tw-N_i) taksonov za izračun trofičnih indeksov rečne favne (BIRTI-P_{low} in BIRTI-N_{low}) za male, srednje velike in srednje velike do velike reke v ekoregijah Panonska nižina in Padska nižina.

Takson	Šifra_taksona	BIRTI-P _{low}		BIRTI-N _{low}	
		Rt-P _i	Tw-P _i	Rt-N _i	Tw-N _i
<i>Dendrocoelum lacteum</i>	1401002	-0,11	2	-0,17	5
<i>Dugesia lugubris/polychroa</i>	1402002	0,19	1	-0,10	1
<i>Dugesia tigrina</i>	1402004	-0,27	2	0,19	1
<i>Polycelis felina</i>	1403016	0,50	5	0,06	5
<i>Polycelis tenuis/nigra</i>	1403019	0,15	1	-0,06	3
Nematoda	1601001	-0,05	1	-0,03	2
Enchytraeidae	1801001	0,20	1	-0,02	2
<i>Haplotaxis gordioides</i>	1802001	-0,03	1	0,22	1
<i>Eiseniella tetraedra</i>	1803001	-0,16	1	0,05	1
Lumbriculidae-z enostavnimi ščetinami	1804001	-0,15	2	0,02	3
<i>Lumbriculus variegatus</i>	1804006	0,16	1	0,04	1
<i>Rhynchelmis</i> sp.	1804011	-0,49	2	-0,09	2
<i>Styiodrilus heringianus</i>	1804016	-0,09	1	-0,02	1
<i>Styiodrilus</i> sp.	1804020	0,00	2	-0,19	4
<i>Dero</i> sp.	1805016	0,25	5	0,04	5
<i>Nais</i> sp.	1805026	-0,07	2	0,13	1
<i>Ophidonais serpentina</i>	1805031	0,33	1	0,08	1
<i>Pristina</i> sp.	1805042	0,04	5	-0,20	5
<i>Slavina appendiculata</i>	1805052	0,12	5	-0,25	5
<i>Stylaria lacustris</i>	1805062	0,31	1	0,10	2
<i>Uncinais unciata</i>	1805067	-0,05	5	0,14	5
<i>Propappus volki</i>	1806001	-0,46	4	-0,11	5
<i>Aulodrilus pluriseta</i>	1807001	-0,10	1	0,14	1
<i>Branchiura sowerbyi</i>	1807006	-0,14	1	0,14	1
<i>Pelosclex</i> sp.	1807011	-0,25	1	-0,08	3
Tubificidae-brez lasastih ščetin	1807021	0,19	1	0,02	1
Tubificidae-z lasastimi ščetinami	1807022	0,15	1	0,05	1
<i>Dina krasensis</i>	1901002	-0,01	5	-0,14	4
<i>Dina punctata</i>	1901004	0,24	2	0,33	1
<i>Erpobdella octoculata</i>	1901011	0,31	1	-0,01	1
<i>Erpobdella testacea</i>	1901013	-0,04	1	-0,15	3
<i>Trocheta bykowskii</i>	1901019	-0,27	5	0,05	5
<i>Trocheta bykowskii/Dina krasensis</i>	1901020	-0,23	2	0,02	1
<i>Alboglossiphonia heteroclita</i>	1902001	0,54	5	0,51	5
<i>Alboglossiphonia hyalina</i>	1902002	0,77	5	0,07	5
<i>Glossiphonia complanata</i>	1902007	-0,01	1	-0,01	2
<i>Glossiphonia concolor</i>	1902008	0,54	5	0,51	5
<i>Glossiphonia nebulosa</i>	1902010	-0,10	1	0,03	2
<i>Glossiphonia paludosa</i>	1902011	-0,36	1	-0,17	4



Takson	Šifra_taksona	BIRTI-P _{low}		BIRTI-N _{low}	
		Rt-P _i	Tw-P _i	Rt-N _i	Tw-N _i
<i>Glossiphonia</i> sp.	1902012	-0,81	5	0,14	5
<i>Helobdella stagnalis</i>	1902018	0,26	1	0,13	1
<i>Hemiclepsis marginata</i>	1902023	-0,07	2	0,11	2
<i>Haemopsis sanguisuga</i>	1903001	-0,15	5	-0,15	5
<i>Piscicola geometra</i>	1905006	-0,02	1	-0,12	2
<i>Acroloxus lacustris</i>	2101001	-0,23	1	-0,10	2
<i>Ancylus fluviatilis</i>	2101002	-0,07	1	-0,10	3
<i>Bythinia tentaculata</i>	2102002	-0,12	1	0,02	1
<i>Bythinia tentaculata/leachi</i>	2102003	-0,52	5	-0,13	5
<i>Lithoglyphus naticoides naticoides</i>	2103016	-0,38	3	0,06	3
<i>Sadleriana fluminensis</i>	2103028	-0,61	5	-0,14	5
<i>Lymnaea stagnalis</i>	2104001	0,50	5	0,06	5
<i>Radix auricularia</i>	2104007	0,11	5	-0,24	5
<i>Radix balthica/labiata</i>	2104008	-0,55	1	-0,12	3
<i>Radix balthica</i>	2104009	-0,20	1	0,06	2
<i>Radix labiata</i>	2104010	0,32	1	0,62	1
<i>Galba truncatula</i>	2104015	-0,63	5	0,33	5
<i>Esperiana daudebartii acicularis</i>	2105001	-0,28	3	0,02	3
<i>Esperiana (Fagotia) esperi</i>	2105002	-0,25	2	0,09	3
<i>Holandriana (Amphimelania) holandri</i>	2105007	-0,14	1	-0,01	1
<i>Theodoxus danubialis</i>	2106001	-0,25	2	0,03	2
<i>Theodoxus fluviatilis</i>	2106002	-0,09	3	-0,08	4
<i>Physa fontinalis</i>	2107006	0,45	2	0,21	2
<i>Physella (Physa) acuta</i>	2107011	-0,10	1	-0,13	1
<i>Anisus spirorbis</i>	2108002	0,34	5	0,01	5
<i>Gyraulus albus</i>	2108013	0,00	1	-0,04	1
<i>Gyraulus crista</i>	2108014	1,00	5	0,57	5
<i>Hippeutis complanatus</i>	2108019	-0,24	1	0,00	1
<i>Planorbis planorbis</i>	2108026	-0,66	5	-0,32	5
<i>Valvata piscinalis</i> (2 podvrsti)	2109002	0,34	1	0,10	1
<i>Viviparus viviparus</i>	2109008	-0,01	1	0,09	5
<i>Musculium lacustre</i>	2202001	-0,05	5	0,14	5
<i>Pisidium</i> sp.	2202006	-0,12	1	0,10	1
<i>Sphaerium corneum</i>	2202011	0,17	1	-0,05	3
<i>Pseudanodonta complanata</i>	2203007	-0,77	5	-0,06	5
<i>Unio crassus</i> (3 podvrste)	2203012	-0,02	3	-0,01	4
<i>Unio pictorum</i> (2 podvrsti)	2203013	-0,44	2	0,48	4
<i>Hydrachnidia</i> (Hydracarina)	2301001	0,00	1	-0,02	1
<i>Synurella ambulans</i>	2401001	-0,08	1	0,06	3
<i>Gammarus fossarum</i>	2402002	-0,05	1	-0,01	1
<i>Gammarus roeselii</i>	2402004	0,18	2	-0,09	2
<i>Niphargus</i> sp.	2403001	-0,50	2	-0,16	4
<i>Asellus aquaticus</i>	2501001	0,13	1	0,04	1
<i>Proasellus</i> sp.	2501006	-0,27	2	0,40	1
<i>Astacus astacus</i>	2601001	0,05	4	0,09	1
<i>Baetis buceratus</i>	2702007	0,33	1	-0,04	2
<i>Baetis digitatus</i>	2702008	-0,77	5	-0,06	5
<i>Baetis fuscatus</i>	2702009	0,02	2	-0,06	2



Takson	Šifra_taksona	BIRTI-P _{low}		BIRTI-N _{low}	
		Rt-P _i	Tw-P _i	Rt-N _i	Tw-N _i
<i>Baetis fuscatus/scambus</i>	2702010	0,06	1	-0,11	2
<i>Baetis liebenauae</i>	2702011	-0,42	2	-0,05	3
<i>Baetis lutheri</i>	2702012	-0,40	3	-0,24	3
<i>Baetis muticus</i>	2702014	-0,69	4	-0,11	4
<i>Baetis rhodani</i>	2702016	-0,19	1	-0,09	1
<i>Baetis scambus</i>	2702017	0,06	1	-0,20	3
<i>Baetis vardarensis</i>	2702019	-0,21	2	-0,17	4
<i>Baetis vernus</i>	2702020	0,17	2	-0,04	1
<i>Baetis buceratus/vernus</i>	2702021	0,21	1	-0,07	1
<i>Centroptilum luteolum</i>	2702025	-0,29	2	0,16	1
<i>Centroptilum</i> sp.	2702026	-0,36	3	0,07	1
<i>Cloeon dipterum</i>	2702031	0,27	1	0,18	1
<i>Procleon bifidum</i>	2702038	0,36	1	0,68	1
<i>Procleon</i> sp.	2702039	-0,13	3	-0,03	1
<i>Caenis</i> sp.	2703001	-0,02	1	0,02	1
<i>Ephemerella ignita</i>	2704001	-0,06	1	-0,11	2
<i>Ephemerella major</i>	2704005	0,15	1	-0,08	3
<i>Ephemera danica</i>	2705001	-0,24	1	-0,06	2
<i>Ephemera</i> sp.	2705002	-0,74	5	0,20	1
<i>Ephemera vulgata</i>	2705003	-0,49	1	0,07	2
<i>Ecdyonurus</i> sp.	2706001	-0,26	2	-0,08	2
<i>Electrogena</i> sp.	2706006	-0,40	1	-0,08	2
<i>Epeorus sylvicola</i>	2706013	-0,62	5	0,13	5
<i>Heptagenia longicauda</i>	2706019	-0,18	5	0,08	5
<i>Heptagenia</i> sp.-juv.	2706020	0,36	2	-0,26	2
<i>Heptagenia sulphurea</i>	2706021	-0,23	1	-0,18	3
<i>Rhithrogena</i> sp.	2706026	-0,07	4	-0,18	3
<i>Habroleptoides confusa</i>	2707001	-0,53	3	0,12	1
<i>Habrophlebia fusca</i>	2707006	-0,05	2	0,01	1
<i>Habrophlebia lauta</i>	2707007	-0,51	1	-0,12	3
<i>Paraleptophlebia submarginata</i>	2707012	-0,29	1	-0,10	3
<i>Potamanthus luteus</i>	2710001	0,10	1	-0,21	4
<i>Leuctra</i> sp.	2803001	-0,19	2	0,00	1
<i>Nemoura</i> sp.	2804006	-0,13	4	-0,22	2
<i>Perla</i> sp.	2805007	-0,35	4	-0,19	2
<i>Isoperla</i> sp.	2806012	-0,27	5	0,05	5
<i>Perlodes</i> sp.	2806017	-0,08	3	-0,23	5
<i>Anax imperator</i>	2901019	-0,12	5	0,14	5
<i>Calopteryx virgo</i>	2902001	-0,29	1	0,05	1
<i>Calopteryx(Agrion) splendens</i>	2902002	0,18	1	0,07	1
<i>Cercion lindenii</i>	2903001	0,01	4	0,05	3
<i>Ischnura elegans</i>	2903034	-0,01	1	0,26	3
<i>Pyrrhosoma nymphula</i>	2903041	0,50	5	0,06	5
Coenagrionidae-juv.	2903046	0,33	3	-0,07	3
<i>Cordulegaster heros</i>	2904002	-0,62	5	0,13	5
<i>Somatochlora meridionalis</i>	2905014	0,15	4	0,30	3
<i>Somatochlora metallica</i>	2905015	0,14	3	0,15	4
<i>Gomphus vulgatissimus</i>	2906002	-0,17	1	0,01	1



Takson	Šifra_taksona	BIRTI-P _{low}		BIRTI-N _{low}	
		Rt-P _i	Tw-P _i	Rt-N _i	Tw-N _i
<i>Onychogomphus forcipatus</i>	2906012	-0,08	1	0,11	1
<i>Ophiogomphus cecilia</i>	2906017	0,72	5	-0,15	5
<i>Libellula fulva</i>	2908016	0,54	5	0,51	5
<i>Platycnemis pennipes</i>	2909001	0,03	1	0,16	1
<i>Aphelocheirus aestivalis</i>	3001001	0,01	1	-0,10	3
Corixinae	3002001	0,35	1	0,38	2
<i>Micronecta</i> sp.	3002011	0,39	1	0,15	1
<i>Gerris</i> sp.	3003006	0,01	1	0,37	3
<i>Nepa cinerea</i>	3008001	0,27	1	0,18	2
<i>Sialis fuliginosa</i>	3101001	-0,15	2	0,18	3
<i>Sialis lutaria</i>	3101002	-0,16	1	0,12	2
<i>Sialis nigripes</i>	3101003	-0,24	1	0,20	1
<i>Sialis</i> sp.	3101004	-0,07	5	-0,10	5
<i>Sisyra</i> sp.	3203001	0,30	3	0,00	5
<i>Pomatinus substriatus</i>	3402012	-0,45	1	0,12	2
<i>Ilybius fuliginosus</i>	3403209	-0,08	5	0,30	5
<i>Ilybius</i> sp.	3403210	0,50	5	0,06	5
<i>Ilybius</i> sp. - larve	3403211	0,24	3	-0,01	4
<i>Laccophilus</i> sp.	3403232	-0,36	3	0,14	2
<i>Laccophilus</i> sp.-larve	3403233	-0,07	2	0,17	2
<i>Platambus maculatus</i>	3403265	-0,03	2	0,18	3
<i>Platambus maculatus</i> -larve	3403266	-0,03	1	-0,03	1
<i>Elmis</i> sp.	3404001	-0,29	2	-0,07	2
<i>Elmis</i> sp.-larve	3404002	-0,16	2	0,01	1
<i>Esolus</i> sp.	3404012	-0,32	2	0,03	1
<i>Esolus</i> sp.-larve	3404013	-0,31	2	0,04	1
<i>Limnius</i> sp.	3404023	-0,13	1	-0,07	1
<i>Limnius</i> sp. - larve	3404024	-0,16	1	-0,03	1
<i>Macronychus quadrituberculatus</i> - larve	3404035	-0,37	3	0,26	1
<i>Oulimnius</i> sp.	3404056	-0,18	1	0,01	1
<i>Oulimnius</i> sp.-larve	3404057	-0,17	1	0,03	1
<i>Potamophilus acuminatus</i>	3404067	-0,58	5	0,23	5
<i>Potamophilus acuminatus</i> - larve	3404068	-0,51	3	0,26	1
<i>Riolus</i> sp.	3404078	-0,30	2	0,20	1
<i>Riolus</i> sp.-larve	3404079	-0,31	2	0,30	1
<i>Stenelmis canaliculata</i>	3404089	-0,33	5	-0,05	5
<i>Orectochilus villosus</i>	3405023	-0,16	5	0,07	5
<i>Orectochilus villosus</i> - larve	3405024	-0,21	2	-0,17	3
<i>Haliphus</i> sp.	3406013	0,33	3	0,23	1
<i>Haliphus</i> sp.-larve	3406014	0,13	1	0,11	1
<i>Peltodytes caesus</i> -larve	3406025	0,10	5	-0,06	5
<i>Hydraena</i> sp.	3408001	-0,17	1	0,02	1
<i>Anacaena</i> sp.	3410001	0,23	5	0,25	5
<i>Laccobius</i> sp.	3410144	0,75	3	0,31	1
<i>Laccobius</i> sp. - larve	3410145	1,00	5	0,57	5
<i>Megasternum obscurum</i>	3410159	0,50	5	0,06	5
<i>Noterus clavicornis</i>	3412001	0,50	5	0,06	5
<i>Hydrocyphon</i> sp.-larve	3414024	-0,56	4	0,14	1



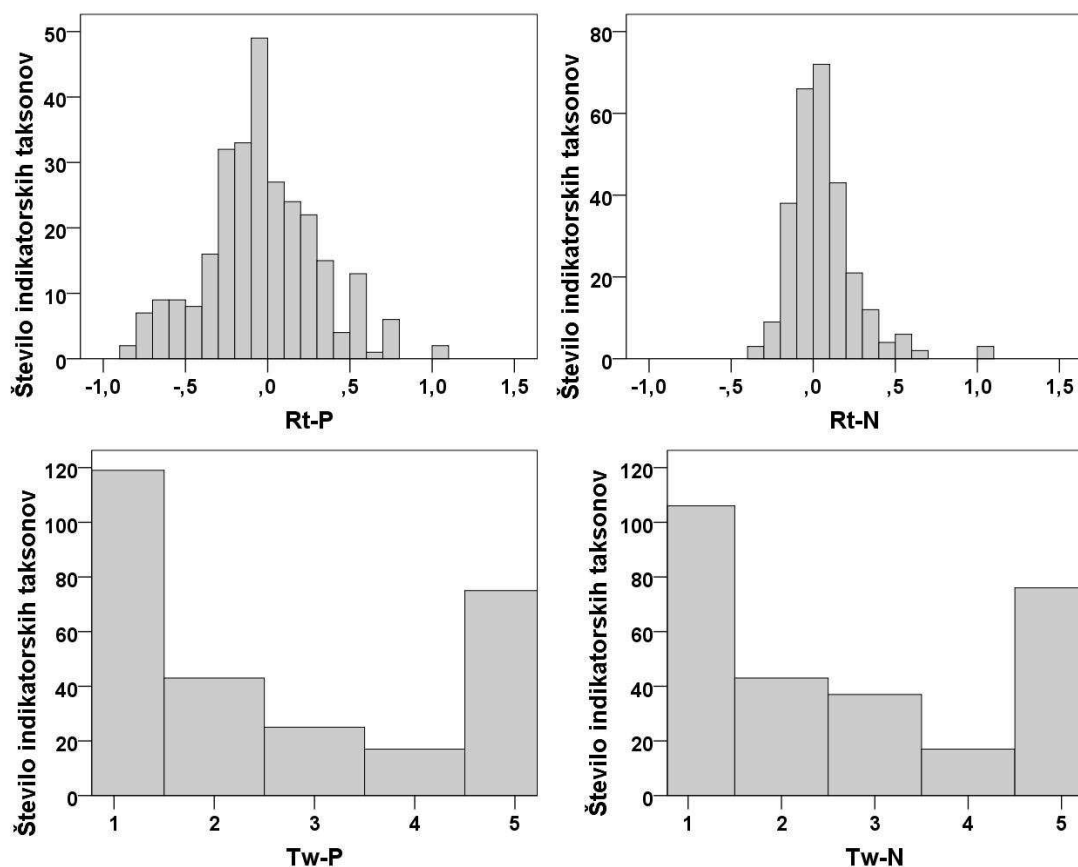
Takson	Šifra_taksona	BIRTI-P _{low}		BIRTI-N _{low}	
		Rt-P _i	Tw-P _i	Rt-N _i	Tw-N _i
<i>Beraea maurus</i>	3502002	0,43	5	-0,35	5
<i>Beraeamyia</i> sp.	3502008	-0,63	5	0,33	5
<i>Beraeodes minutus</i>	3502013	-0,37	1	0,13	1
<i>Goera pilosa</i>	3506001	0,20	2	-0,11	1
<i>Lithax obscurus</i>	3506007	0,09	2	0,17	1
<i>Silo nigricornis</i>	3506012	-0,16	5	0,07	5
<i>Silo pallipes</i>	3506017	-0,38	4	-0,15	2
<i>Silo piceus</i>	3506018	-0,09	4	-0,06	4
<i>Cheumatopsyche lepida</i>	3507001	-0,08	1	-0,10	1
<i>Hydropsyche angustipennis</i>	3508001	0,28	1	-0,02	1
<i>Hydropsyche bulbifera</i>	3508002	0,15	1	-0,06	1
<i>Hydropsyche contubernalis</i>	3508004	0,03	1	-0,17	3
<i>Hydropsyche incognita</i>	3508006	-0,22	3	-0,17	4
<i>Hydropsyche modesta</i>	3508009	0,14	1	-0,04	1
<i>Hydropsyche pellucidula</i>	3508011	0,03	1	-0,10	1
<i>Hydropsyche saxonica</i>	3508013	-0,28	2	-0,03	1
<i>Hydropsyche siltalai</i>	3508014	-0,54	4	-0,02	2
<i>Hydropsyche</i> sp.-juv.	3508015	0,01	1	-0,10	1
<i>Hydroptila</i> sp. Sesteto	3509013	0,25	1	0,09	1
<i>Lepidostoma hirtum</i>	3510007	-0,30	2	0,02	1
<i>Athripsodes albifrons</i>	3511008	-0,03	5	1,00	5
<i>Athripsodes bilineatus</i>	3511011	-0,04	3	-0,14	3
<i>Athripsodes cinereus</i>	3511012	-0,15	1	-0,05	3
<i>Ceraclea dissimilis</i>	3511019	-0,03	3	-0,08	2
<i>Leptocerus interruptus</i>	3511025	0,23	5	0,42	5
<i>Leptocerus tineiformis</i>	3511026	-0,34	2	0,29	1
<i>Mystacides azurea/nigra</i>	3511031	-0,63	5	0,33	5
<i>Mystacides azurea</i>	3511032	0,09	1	0,09	1
<i>Mystacides nigra</i>	3511034	-0,30	1	0,28	1
<i>Oecetis notata</i>	3511042	0,72	5	-0,15	5
<i>Setodes</i> sp.	3511050	-0,16	5	0,07	5
<i>Anabolia furcata</i>	3512013	0,01	1	0,29	1
<i>Chaetopteryx major</i>	3512028	-0,20	5	0,27	5
<i>Chaetopteryx</i> sp.	3512031	0,21	5	-0,18	5
<i>Halesus digitatus</i>	3512073	-0,80	5	-0,01	5
<i>Halesus tessellatus</i>	3512077	-0,12	1	0,03	2
Limnephilinae-juv.	3512097	0,02	5	-0,13	2
<i>Potamophylax rotundipennis</i>	3512174	0,02	3	0,05	2
<i>Cyrnus trimaculatus</i>	3516002	-0,08	1	0,04	1
<i>Plectrocnemia conspersa</i>	3516019	-0,80	5	-0,01	5
<i>Polycentropus flavomaculatus</i>	3516027	-0,44	3	-0,07	2
<i>Polycentropus irroratus</i>	3516028	-0,54	5	-0,17	5
<i>Lype reducta</i>	3517002	-0,22	1	0,25	1
<i>Psychomyia pusilla</i>	3517008	0,03	1	-0,13	2
<i>Tinodes</i> sp.	3517016	-0,03	5	1,00	5
<i>Rhyacophila sensu stricto</i>	3518011	-0,28	1	-0,05	2
<i>Notidobia ciliaris</i>	3519001	-0,62	4	0,02	1
<i>Sericostoma</i> sp.	3519007	-0,18	5	0,09	5



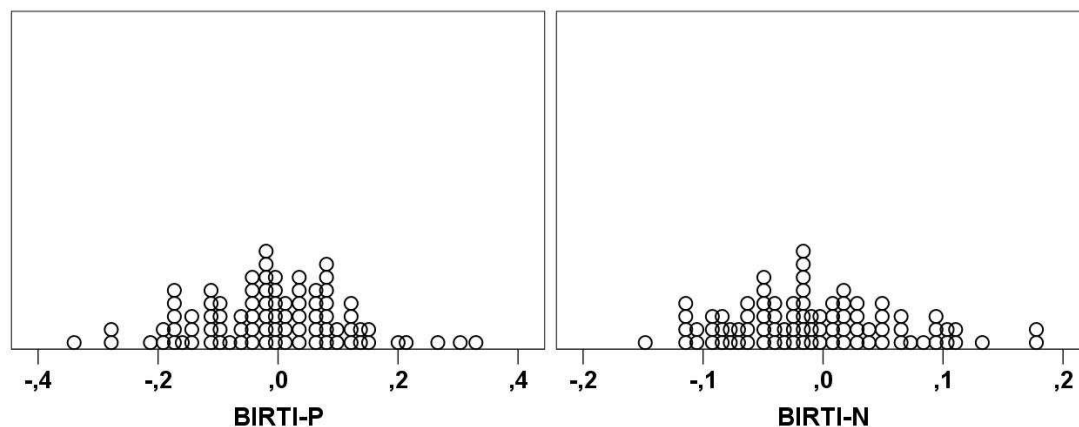
Takson	Šifra_taksona	BIRTI-P _{low}		BIRTI-N _{low}	
		Rt-P _i	Tw-P _i	Rt-N _i	Tw-N _i
<i>Limnophora</i> sp.	3601001	-0,25	1	0,19	1
<i>Atherix ibis</i>	3602001	-0,05	1	-0,13	2
<i>Ibisia (Atherix) marginata</i>	3602011	-0,37	1	0,14	3
<i>Atrichopogon</i> sp.	3604001	-0,03	5	1,00	5
Ceratopogoninae	3604006	-0,10	1	0,17	1
<i>Brillia bifida</i>	3606001	0,21	1	0,04	1
Chironomini	3606011	0,11	1	0,01	1
<i>Chironomus</i> sk. <i>obtusidens</i>	3606016	0,20	1	0,34	1
<i>Chironomus</i> sk. <i>plumosus</i>	3606017	0,77	5	-0,05	5
<i>Chironomus</i> sk. <i>thummi</i>	3606018	0,27	1	0,11	1
<i>Chironomus</i> sp.	3606020	0,54	5	0,51	5
<i>Corynoneura</i> sp.	3606023	-0,16	3	-0,12	3
Corynoneurinae	3606028	0,22	2	-0,08	4
Diamesinae	3606033	0,07	1	-0,07	1
<i>Epoicocladus ephemerae</i>	3606038	-0,81	5	0,14	5
<i>Monodiamesa</i> sp.	3606043	0,23	5	0,20	5
Orthoclaadiinae	3606053	0,03	1	0,00	1
<i>Potthastia</i> sk. <i>gaedii</i>	3606063	0,77	5	-0,05	5
<i>Potthastia</i> sk. <i>longimana</i>	3606064	0,00	1	-0,08	2
<i>Prodiamesa olivacea</i>	3606069	0,20	1	0,07	1
Prodiamesinae	3606075	-0,05	5	0,14	5
Tanypodinae	3606080	0,10	1	0,06	1
Tanytarsini	3606085	0,13	1	0,03	1
<i>Anopheles</i> sp.	3607001	-0,03	4	0,22	3
<i>Coquillettidia</i> sp.	3607006	0,50	5	0,06	5
<i>Culex</i> sp.	3607011	0,36	4	0,15	4
<i>Dixa</i> sp.	3608001	0,50	5	0,06	5
Dolichopodidae	3609001	-0,10	5	0,19	2
Clinocerinae	3610001	0,08	1	0,28	1
Empidinae	3610006	0,40	5	-0,38	5
Hemerodromiinae	3610011	-0,11	1	-0,04	3
<i>Antocha</i> sp.	3612001	-0,02	1	0,04	1
<i>Hexatoma</i> sp.	3612021	0,28	2	-0,27	4
Limnophilinae	3612026	-0,02	1	-0,11	1
Limoniinae	3612036	0,41	4	0,05	5
<i>Pseudolimnophila</i> sp.	3612051	0,05	4	0,20	3
<i>Dicranota</i> sp.	3613001	-0,04	2	0,00	1
<i>Pedicia</i> sp.	3613006	0,23	5	0,13	5
Psychodidae	3614016	-0,80	5	-0,01	5
Pericomini	3614026	-0,24	1	0,42	1
Psychodini	3614031	0,50	5	0,06	5
<i>Ptychoptera</i> sp.	3615001	0,06	5	-0,29	5
Scatophagidae	3617006	0,69	3	0,26	1
<i>Simulium</i> sp.	3619002	0,12	1	-0,08	1
<i>Oxycera</i> sp.	3620021	-0,77	5	0,04	3
<i>Chrysops</i> sp.	3622006	-0,22	1	0,16	1
<i>Tabanus</i> sp.	3622011	-0,22	1	0,32	1
<i>Tipula</i> sp.	3624021	-0,02	1	0,08	1



Indikatorski taksoni, njihove trofične indikatorske vrednosti (Rt_i) in teže indikacije (Tw_i) so določeni za nižinske reke Panonske in Padske ekoregije brez velikih rek (Slika 7).

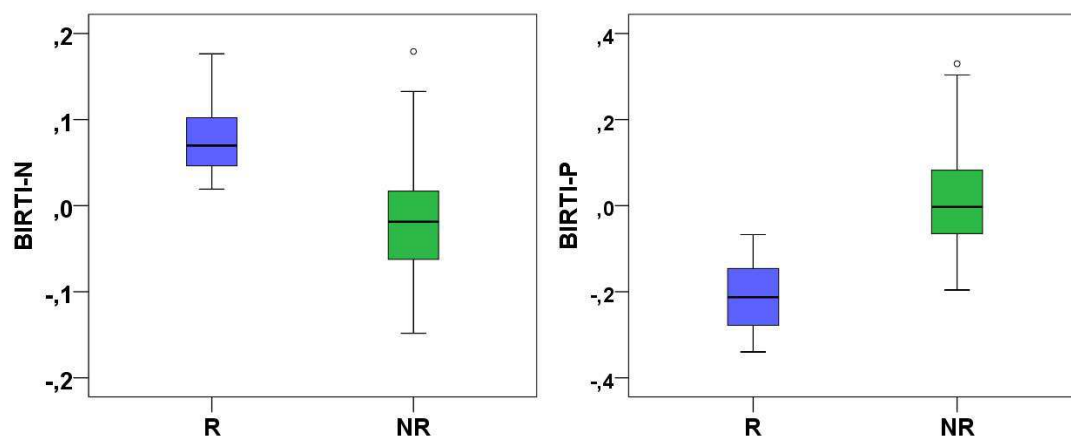


Slika 7. Frekvenčna porazdelitev trofičnih vrednosti (Rt_P in Rt_N) in utežnih vrednosti (Tw_P in Tw_N) indikatorskih taksonov bentoških nevretenčarjev v nižinskih rekah ($N = 85$).



Slika 8. Izračunane vrednosti BIRTI-P in BIRTI-N za vzorce nižinskih rek brez velikih rek v ekoregijah Panonska nižina in Padska nižina.

Slika 9 prikazuje razporeditev vrednosti trofičnih indeksov rečne favne (BIRTI-P in BIRTI-N) za referenčna in nereferenčna mesta.

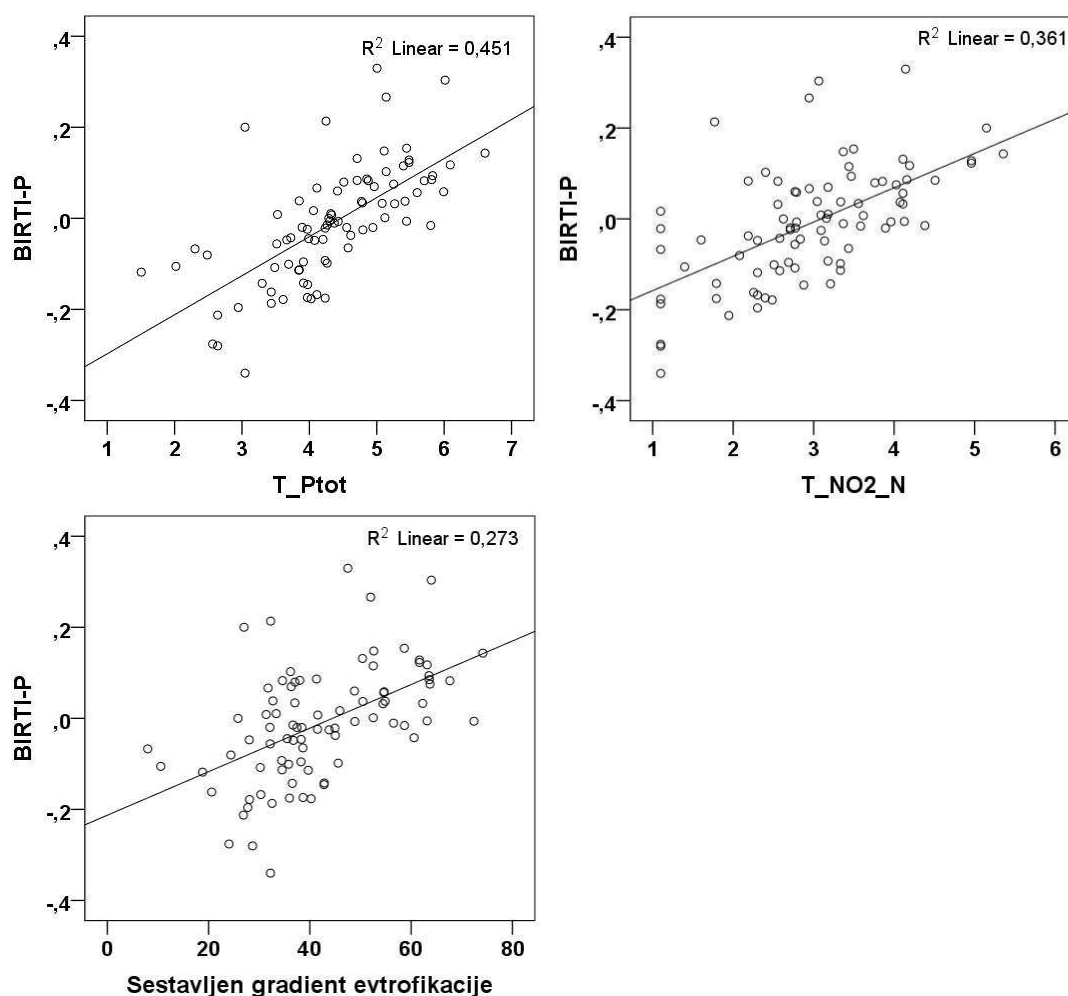


Slika 9. Diagram kvartilov razpona vrednosti indeksov BIRTI-P in BIRTI-N za nižinske reke brez velikih rek v ekoregijah Panonska nižina in Padska nižina. R –referenčna mesta, NR – nereferenčna mesta.



5.3 SOODVISNOSTI MED GRADIENTI OBREMENITVE IN BIRTI-P OZ. BIRTI-N

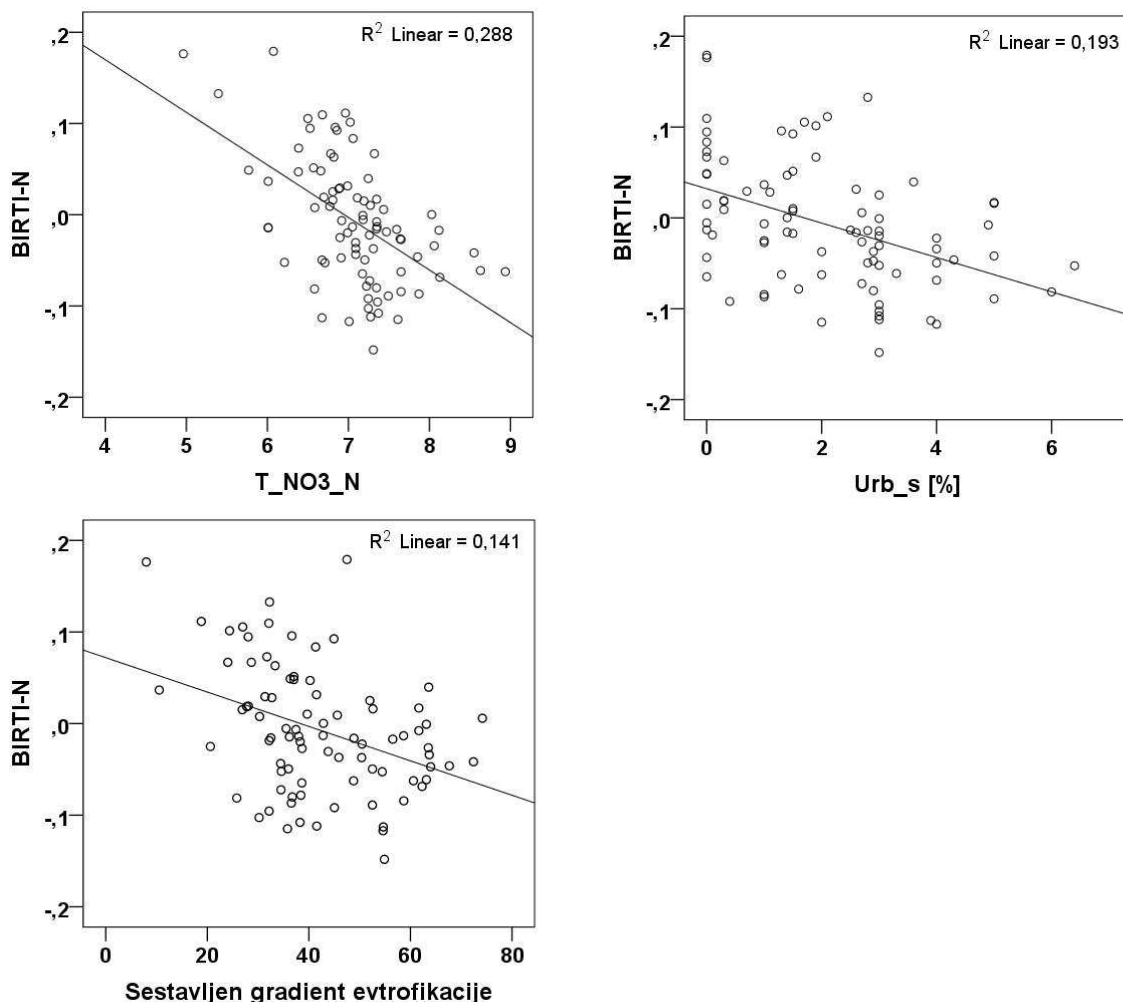
Na sliki 10 so prikazane soodvisnosti med BIRTI-P in parametri evtrofikacije, s katerimi je indeks najbolj soodvisen. Soodvisnosti med ostalimi okoljskimi spremenljivkami in razvitima indeksom BIRTI-P so prikazane v prilogi A.



Slika 10. Soodvisnosti med vrednostmi indeksa BIRTI-P in gradienti obremenitve za nižinske reke v ekoregijah Panonska nižina in Padska nižina brez velikih rek ter pojasnjena variabilnost (R^2 Linear). T_{Ptot} – transformirana vrednost koncentracije celotnega fosforja, T_{NO2_N} – transformirana vrednost koncentracije nitritnega dušika

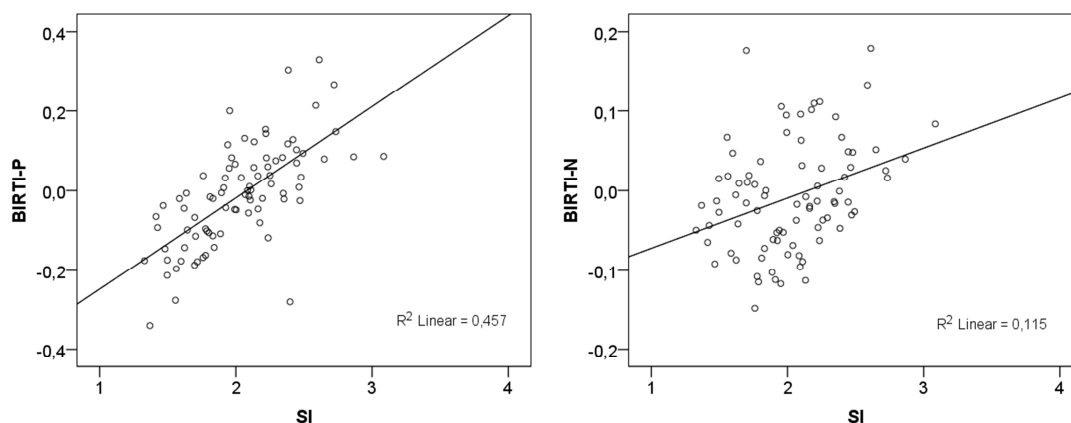


Na sliki 11 so prikazane soodvisnosti med BIRTI-N in parametri evtrofikacije, s katerimi je indeks najbolj soodvisen. Soodvisnosti med ostalimi okoljskimi spremenljivkami in razvitim indeksoma BIRTI-N so prikazane v prilogi A.



Slika 11. Soodvisnosti med vrednostmi indeksa BIRTI-N in gradienti obremenitve za nižinske reke v ekoregijah Panonska nižina in Padska nižina brez velikih rek ter pojasnjena variabilnost (R^2 Linear). T-NO3_N – transformirana vrednost koncentracije nitratnega dušika, Urb_s [%] – delež urbanih površin v skupnem prispevnem območju.

Za indeks BIRTI-P smo ugotovili, da je srednje močno koreliran s saprobnim indeksom – slovenska različica (SIG3), medtem ko je indeks BIRTI-N s saprobnim indeksom SIG3 slabo koreliran (Slika 12).

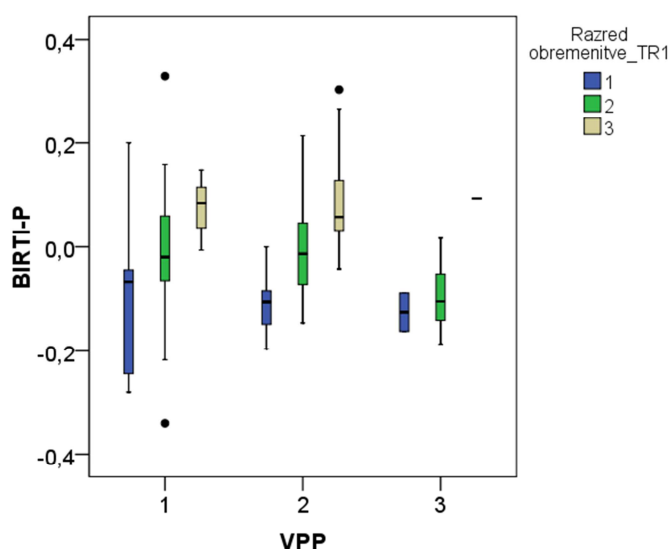


Slika 12. Soodvisnosti med vrednostmi Saprobnega indeksa-slovenska različica (SIG3) in indeksov BIRTI-P in BIRTI-N za nižinske reke v ekoregijah Panonska nižina in Padska nižina brez velikih rek ter pojasnjena variabilnost (R^2 Linear).

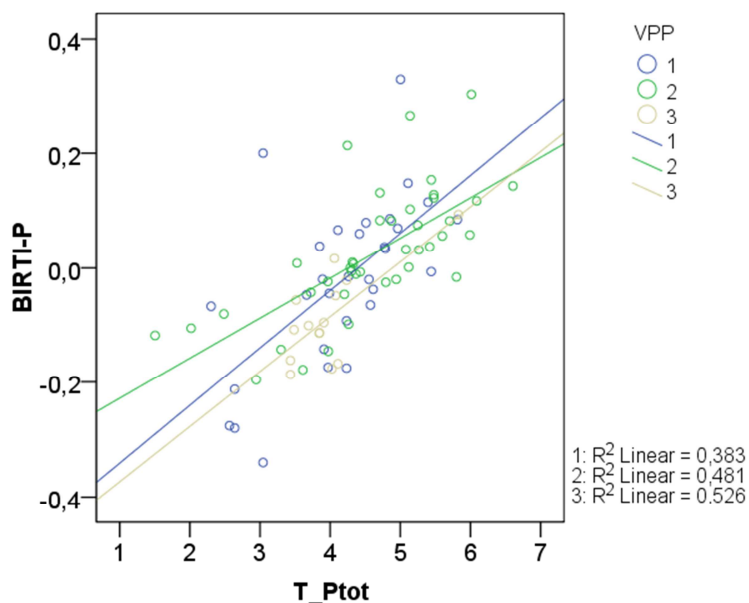


5.4 ZA TIP ZNAČILNE REFERENČNE VREDNOSTI IN NORMALIZACIJA INDEKSOV BIRTI-P IN BIRTI-N

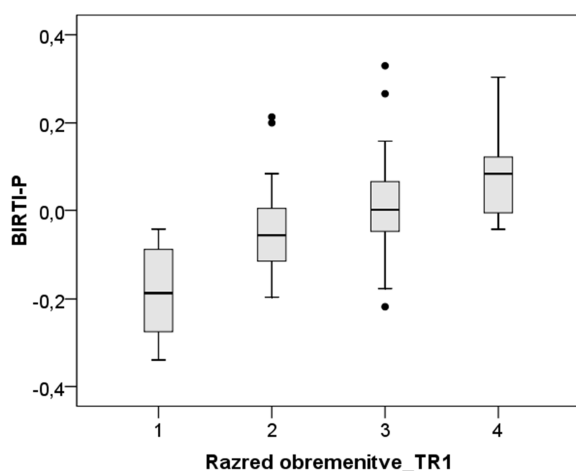
S primerjavo vrednosti indeksa BIRTI-P v 1. razredu obremenitve smo ugotovili, da ni razlik med razredi velikosti prispevne površine (VPP) (Kruskall-Wallis $\chi^2=0,104$, $p>0,05$) (Slika 13). Tudi z analizo ANCOVA smo ugotovili, da med razredi VPP ni razlik v naklonu krivulje, ki ponazarja linearni odnos med koncentracijo celotnega fosforja in indeksom BIRTI-P ($F=0,94$, $P>0,05$) in v vrednostih indeksa BIRTI-P ($F=2,17$, $P>0,05$) vzdolž gradienta celotnega fosforja. Zaradi tega smo za vse ekološke tipe določili skupno referenčno vrednost in spodnjo mejo indeksa BIRTI-P (Preglednica 12 **Error! Reference source not found.**). Po združitvi podatkov smo ugotovili, da med razredi obremenitve obstajajo statistično značilne razlike v vrednostih indeksa BIRTI-P (Slika 15, Kruskall-Wallis $\chi^2=28,29$, $p<0,001$).



Slika 13. Diagram kvartilov razpona vrednosti indeksa BIRTI-P po posameznih razredih velikostne prispevne površine (VPP) in razreda obremenitve nižinskih rek v ekoregijah Panonska nižina in Padska nižina.



Slika 14. Soodvisnosti med transformiranimi vrednostmi koncentracije celotnega fosforja (T_{Ptot}) in vrednostmi indeksa BIRTI-P po posameznih razredih velikostne prispevne površine (VPP) nižinskih rek v ekoregijah Panonska nižina in Padska nižina (R^2 Linear).

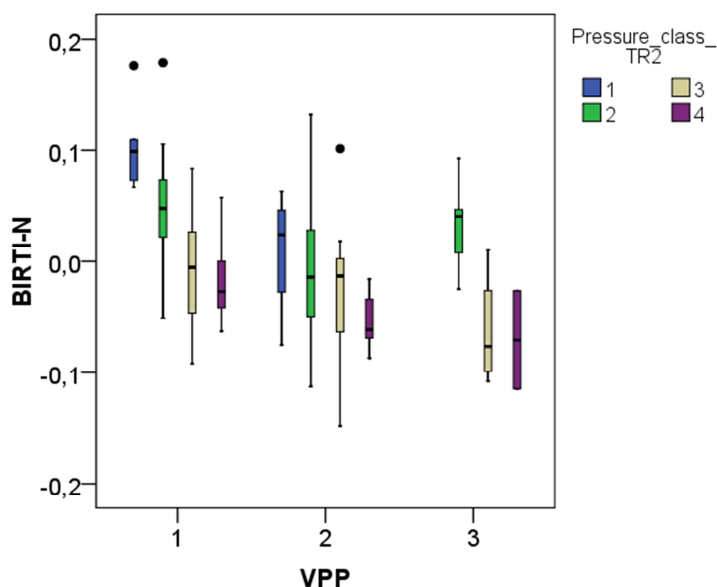


Slika 15. Diagram kvartilov razpona vrednosti indeksa BIRTI-P po razredih obremenitve za gradient fosforja v nižinskih rekah ekoregij Panonska nižina in Padska nižina.

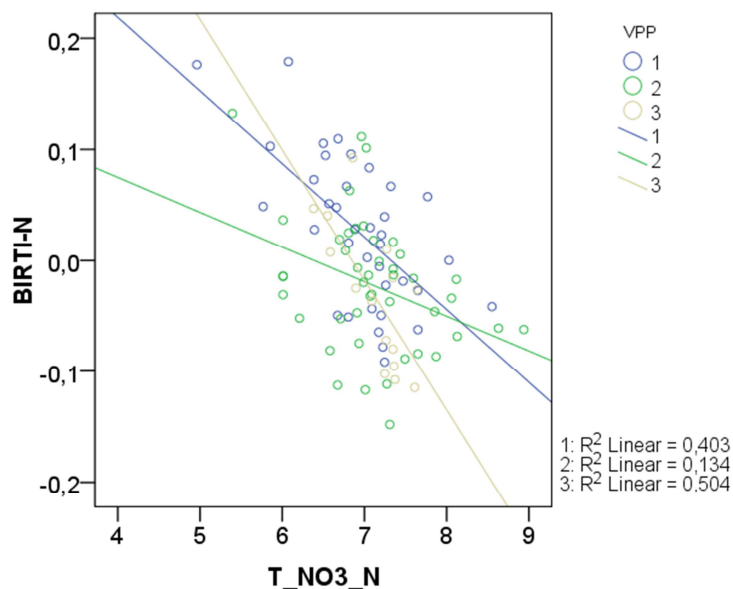
S primerjavo vrednosti indeksa BIRTI-N v 1. razredu obremenitve smo ugotovili, da ni razlik med razredi velikosti prispevne površine (VPP) (**Error! Reference source not found.**, Kruskal-Wallis $\chi^2=0,355$, $p>0,05$). Z analizo ANCOVA smo ugotovili, da med razredi VPP so razlike v naklonu krivulje, ki ponazarja linearni odnos med koncentracijo nitratnega dušika in indeksom BIRTI-N ($F=3,21$, $P<0,05$) in v vrednostih indeksa BIRTI-N



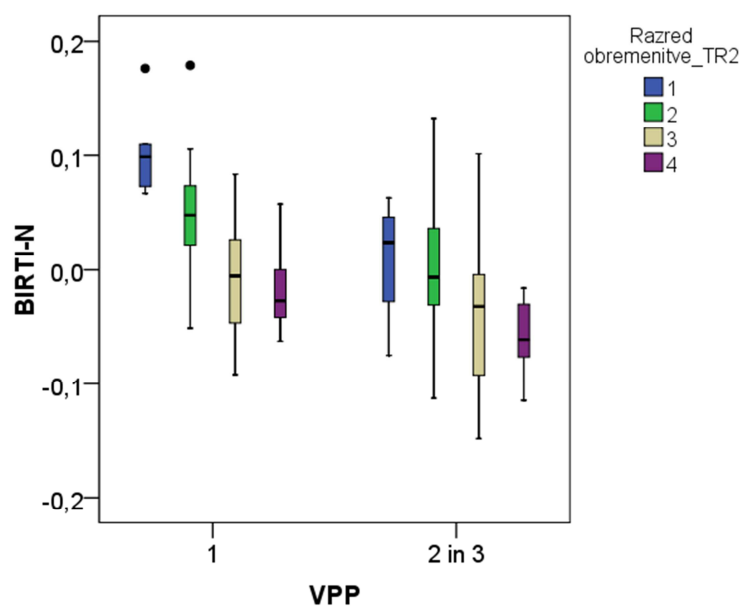
($F=5,43$, $P<0,01$) vzdolž gradienta nitratnega dušika (Slika 16). Razlike smo ugotovili v naklonu krivulj VPP1 in VPP2 ($F=3,82$, $P=0,05$) in vrednostih indeksa BIRTI-N ($F=7,23$, $P<0,01$). Med VPP1 in VPP3 smo opazili razlike le v vrednostih indeksa vzdolž gradienta ($F=7,72$, $P<0,01$) ne pa tudi v naklonu ($F=31,03$, $P>0,05$). Med VPP2 in VPP3 nismo opazili razlik v vrednostih indeksa vzdolž gradienta ($F=0,91$, $P>0,05$) in naklonu krivulje ($F=3,53$, $P>0,05$). Zaradi tega smo za tip značilne referenčne vrednosti indeksa BIRTI-N določili za ekološke tipe z razredom VPP1 in za ekološke tipe z razredom VPP2 in VPP3 (Preglednica 12). Za obe skupini tipov smo ugotovili, da med razredi obremenitve obstajajo statistično značilne razlike v vrednostih indeksa BIRTI-N (Slika 18, Kruskal-Wallis $\chi^2=11,61-14,49$, $p<0,01$). Razlike so bile opažene tudi v odzivu združbe na gradient nitrata (Slika 19).



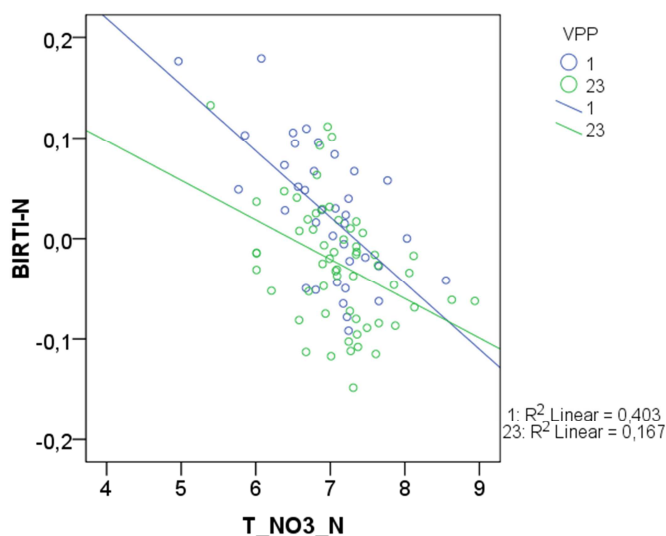
Slika 16. Diagram kvartilov razpona vrednosti indeksa BIRTI-N po posameznih razredih velikostne prispevne površine (VPP) in razreda obremenitve nižinskih rek v ekoregijah Panonska nižina in Padska nižina.



Slika 17. Soodvisnosti med transformiranimi vrednostmi koncentracije nitratnega dušika (T_NO3_N) in vrednostmi indeksa BIRTI-N po posameznih razredih velikostne prispevne površine (VPP) nižinskih rek v ekoregijah Panonska nižina in Padska nižina (R^2 Linear).



Slika 18. Diagram kvartilov razpona vrednosti indeksa BIRTI-N po skupinah razredov velikostne prispevne površine (VPP) in razreda obremenitve gradienta dušika nižinskih rek v ekoregijah Panonska nižina in Padska nižina.



Slika 19. Soodvisnosti med transformiranimi vrednostmi koncentracije nitratnega dušika (T_NO3_N) in vrednostmi indeksa BIRTI-N po posameznih skupinah razredov velikostne prispevne površine (VPP) nižinskih rek v ekoregijah Panonska nižina in Padska nižina (R^2 Linear). VPP23 - VPP2 in VPP3.

Pri razvoju trofičnega indeksa rečne favne BIRTI-N smo združili glede na rezultate testiranja primerljive ekološke tipe in tako dobili dva trofična tipa nižinskih rek. V skupino LOW1 smo združili male nižinske reke s prispevno površino med 10 km² in 100 km². V skupino LOW23 srednje velike reke s prispevno površino med 100 in 1000 km² in srednje do velike reke s prispevno površino nad 1000 km² in srednjim letnim pretokom <50m³/s (Preglednica 11 **Error! Reference source not found.**).

Preglednica 11. Skupine tipov nižinskih rek, razvrščeni v trofične tipe nižinskih rek.

Ekološki tip reke-koda	Skupina ekoloških tipov rek BIRTI-P (koda skupine)	Skupina ekoloških tipov rek BIRTI-N (koda skupine)
R_SI_3_Vip-Brda_1	Male do velike nižinske reke (LOW123)	Male nižinske reke (LOW1)
R_SI_11PN-gric_1		
R_SI_11PN-zALvpliv_1		
R_SI_11PN-KrBr-kotl_1		Srednje velike do velike nižinske reke (LOW23)
R_SI_11PN-gric_2		
R_SI_3_Vip-Brda_2		
R_SI_11PN-zALvpliv_2		
R_SI_11PN-KrBr-kotl_2		
R_SI_11PN-zALvpliv_3		
R_SI_11PN-KrBr-kotl_3		



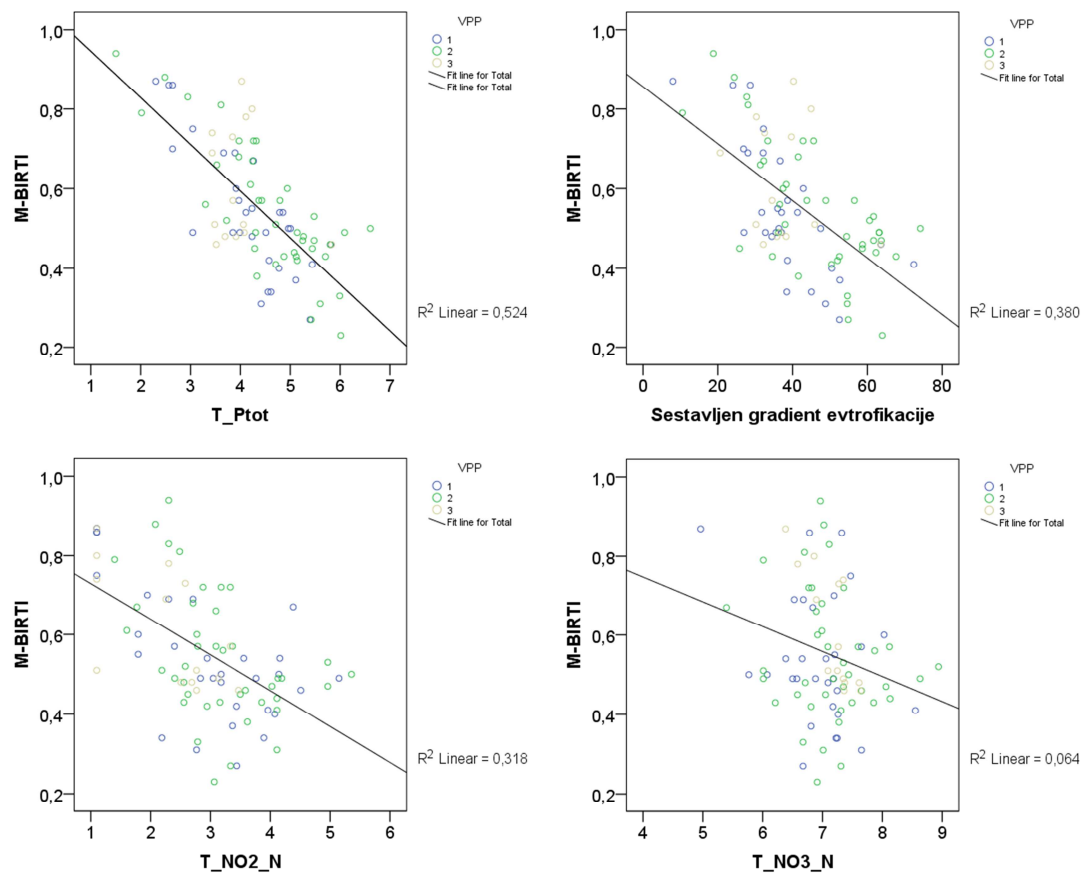
Preglednica 12. Za tip značilne referenčne vrednosti in spodnje meje indeksov BIRTI-P in BIRTI-N.

Indeks	BIRTI-P	BIRTI-N	BIRTI-N
Mejna vrednost/Koda skupine ekoloških tipov	LOW123	LOW1	LOW23
Referenčna vrednost	-0,21	0,18	0,10
Spodnja meja	0,33	-0,9	-0,15

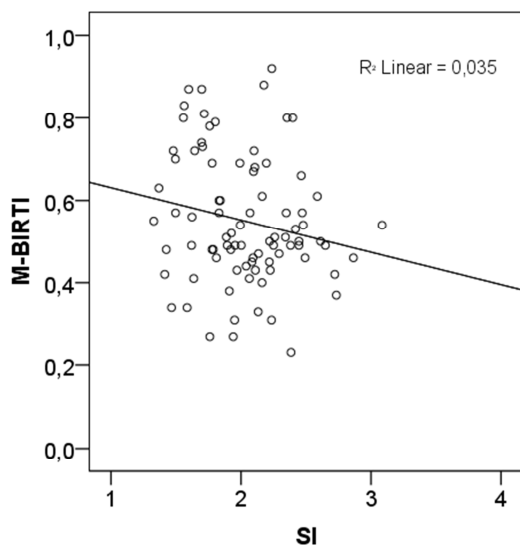
5.5 SOODVISNOSTI MED GRADIENTOM EVTROFIKACIJE IN M-BIRTI

Na sliki 10 so prikazane soodvisnosti med multimetrijskim indeksom BIRTI (M-BIRTI) in parametri evtrofikacije. Najboljšo soodvisnosti smo ugotovili med indeksom M-BIRTI in transformirano vrednostjo celotnega fosforja, sestavljenim gradientom evtrofikacije in transformirano vrednostjo nitrita. Soodvisnost indeksa M-BIRTI z nitratom je bila zelo šibka. Soodvisnosti med ostalimi okoljskimi spremenljivkami in razvitima indeksom M-BIRTI so prikazane v prilogi D. Indeks M-BIRTI je zelo šibko koreliran s Saprobnim indeksom, ki ga uporabljamo za vrednotenje vpliva obremenjenosti voda z organskimi snovmi z bentoškimi nevretenčarji (SIG3) (Slika 21).

Metodologija...z bentoškimi nevretenčarji...trofičnost... nižinski tipi rek



Slika 20. Soodvisnosti med vrednostmi multimetrijskega indeksa BIRTI-M in gradienti obremenitve za nižinske reke v ekoregijah Panonska nižina in Padska nižina brez velikih rek ter pojasnjena variabilnost ($R^2 \text{ Linear}$). T_Ptot – transformirana vrednost koncentracije celotnega fosforja, T-NO2_N – transformirana vrednost koncentracije nitritnega dušika, T-NO3_N – transformirana vrednost koncentracije nitratnega dušika.



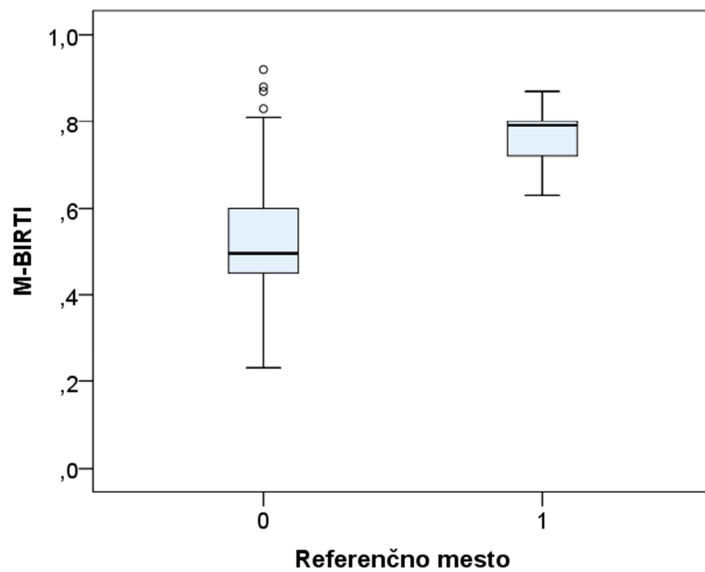
Slika 21. Soodvisnosti med vrednostmi Saprobnege indeksa-slovenska različica (SIG3) in multimetrijskega indeksa M-BIRTI za nižinske reke v ekoregijah Panonska nižina in Padska nižina brez velikih rek ter pojasnjena variabilnost (R^2 Linear).

5.6 MULTIMETRIJSKI INDEKS M-BIRTI_{LOW}

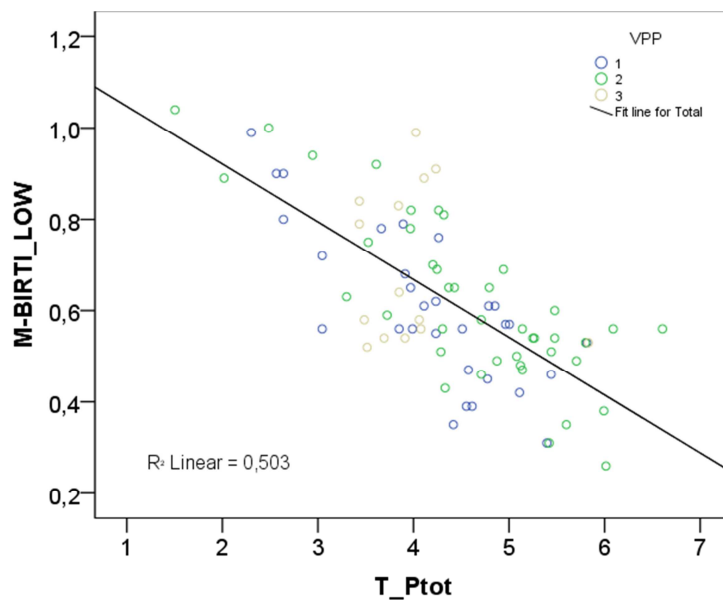
Referenčna vrednost multimetrijskega indeksa M-BIRTI in spodnja meja za nižinske vodotoke hidroekoregij Panonska in Padska nižina (M-BIRTI_{LOW}) sta v preglednici 13. Vrednosti multimetrijskega indeksa M-BIRTI_{LOW} se statistično značilno razlikujejo na referenčnih in nereferenčnih mestih (Mann-Whitney U-test, $U = 491,5$, $p < 0,001$). Korelacije med parametri gradienta obremenitve in indeksom M-BIRTI_{LOW} se bistveno ne spremenijo (sliki 20 in 23).

Preglednica 13. Za tip značilne referenčne vrednosti in spodnje meje indeksa M-BIRTI za nižinske tipe rek v hidroekoregijah Panonska in Padska nižina v Sloveniji (M-BIRTI_{LOW}).

Mejna vrednost/Indeks	M-BIRTI
Referenčna vrednost	0,87
Spodnja meja	0



Slika 22. Diagram kvartilov razpona vrednosti multimetrijskega indeksa BIRTI (M-BIRTI) na referenčnih (1) in nereferenčnih mestih (0) nižinskih rek v ekoregijah Panonska nižina in Padska nižina.

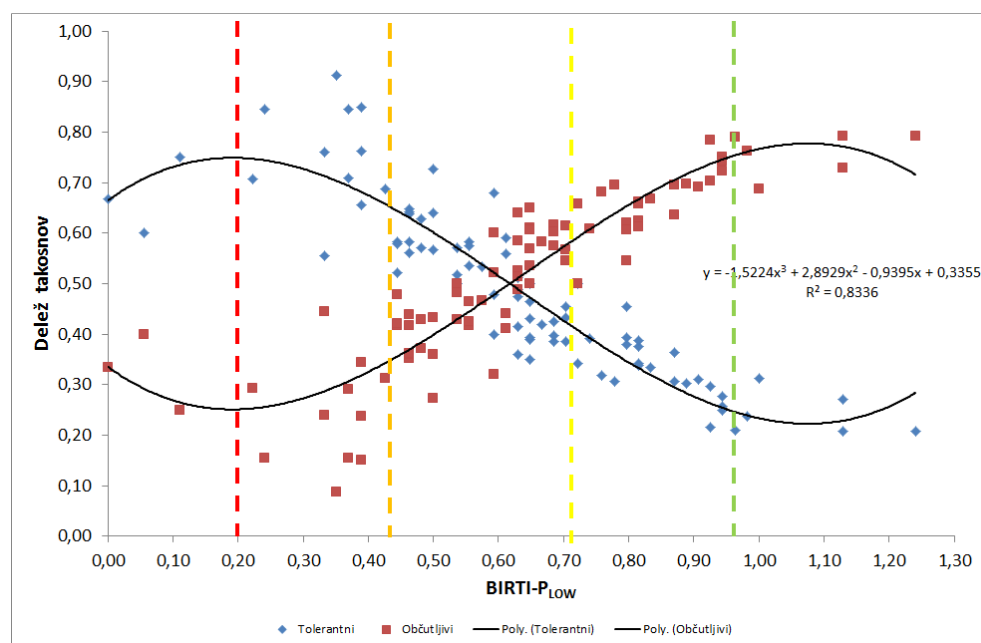


Slika 23. Povezava med transformirano vrednostjo celotnega fosforja in vrednostjo indeksa BIRTI-M_LOW za nižinske vodotoke hidroekoregij Panonska in Padska nižina.

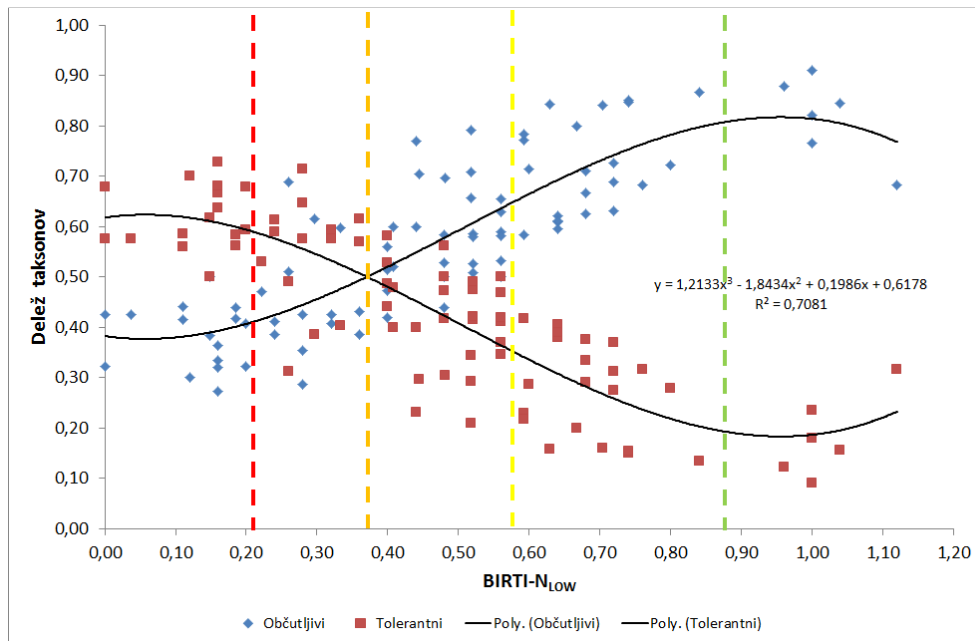


5.7 DOLOČITEV MEJNIH VREDNOSTI INDEKSOV BIRTI MED RAZREDI EKOLOŠKEGA STANJA

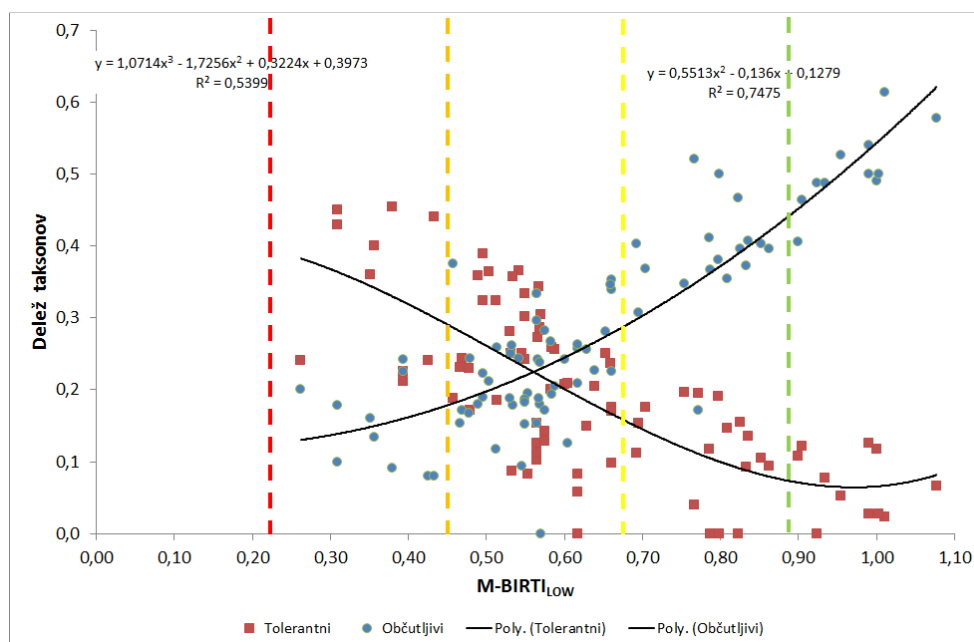
Mejne vrednosti indeksov $BIRTI-P_{low}$, $BIRTI-N_{low}$ in $M-BIRTI_{low}$ smo določili glede na spreminjanje deležev občutljivih in tolerantnih taksonov vzdolž gradienta posameznega indeksa BIRTI (Slike 24-26) in so podane v preglednici 14. Enačbe za izračun transformiranih vrednosti posameznega indeksa BIRTI so v preglednicah 15-17.



Slika 24. Soodvisnost deleža občutljivih in deleža tolerantnih taksonov v odvisnosti od razmerja ekološke kakovosti indeksa BIRTI-P za nižinske reke hidroekoregij Panonske in Padske nižine v Sloveniji.



Slika 25. Sooodvisnost deleža občutljivih in deleža tolerantnih taksonov v odvisnosti od razmerja ekološke kakovosti indeksa BIRTI-N za nižinske reke hidroekoregij Panonske in Padske nižine v Sloveniji.



Slika 26. Sooodvisnost deleža občutljivih in deleža tolerantnih taksonov v odvisnosti od razmerja ekološke kakovosti multimetrijskega indeksa M-BIRTI za nižinske reke hidroekoregij Panonske in Padske nižine v Sloveniji.

Preglednica 14. Mejne vrednosti in transformirane mejne vrednosti razmerja ekološke kakovosti (REK) za razrede ekološkega stanja indeksov BIRTI.

Meja	BIRTI-P _{Low}	BIRTI-N	M-BIRTI	Transformirana REK mejna vrednost indeksa BIRTI
Meja zelo dobro/dobro stanje	0,96	0,88	0,89	0,8
Meja dobro/zmerno stanje	0,71	0,58	0,68	0,6
Meja zmerno/slabo stanje	0,44	0,37	0,45	0,4
Meja slabo/zelo slabo stanje	0,20	0,21	0,22	0,2

Preglednica 15. Enačbe za izračun transformiranih REK vrednosti indeksa BIRTI-P_{Low}.

BIRTI-P _{Low}	Transformiran BIRTI-P _{Low}
≥0,96	$0,8 + 0,2 * (BIRTI-P_{Low} - 0,96) / (1,00 - 0,96)$
0,71-0,96	$0,6 + 0,2 * (BIRTI-P_{Low} - 0,61) / (0,96 - 0,71)$
0,44-0,70	$0,4 + 0,2 * (BIRTI-P_{Low} - 0,44) / (0,71 - 0,44)$
0,20-0,43	$0,2 + 0,2 * (BIRTI-P_{Low} - 0,20) / (0,44 - 0,20)$
<0,20	$0,2 * (BIRTI-P_{Low}) / (0,20)$

Preglednica 16. Enačbe za izračun transformiranih REK vrednosti indeksa BIRTI-N_{Low}

BIRTI-N _{Low}	Transformiran BIRTI-N _{Low}
------------------------	--------------------------------------



$\geq 0,88$	$0,8+0,2*(BIRTI-N_{LOW}-0,88)/(1,00-0,88)$
$0,58-0,87$	$0,6+0,2*(BIRTI-N_{LOW}-0,58)/(0,88-0,58)$
$0,37-0,57$	$0,4+0,2*(BIRTI-N_{LOW}-0,37)/(0,58-0,37)$
$0,21-0,36$	$0,2+0,2*(BIRTI-N_{LOW}-0,21)/(0,37-0,21)$
$< 0,21$	$0,2*(BIRTI-N_{LOW})/(0,21)$

Preglednica 17. Enačbe za izračun transformiranih REK vrednosti indeksa M-BIRTI_{LOW}

M-BIRTI_{LOW}	Transformiran M-BIRTI_{LOW}
$\geq 0,89$	$0,8+0,2*(M-BIRTI_{LOW}-0,89)/(1,00-0,89)$
$0,68-0,88$	$0,6+0,2*(M-BIRTI_{LOW}-0,68)/(0,89-0,68)$
$0,45-0,67$	$0,4+0,2*(M-BIRTI_{LOW}-0,45)/(0,68-0,45)$
$0,22-0,44$	$0,2+0,2*(M-BIRTI_{LOW}-0,22)/(0,45-0,22)$
$< 0,22$	$0,2*(M-BIRTI_{LOW})/(0,22)$

Povezave med indeksi BIRTI za nižinske vodotoke, saprobnim indeksom in parametri evtrofikacije v vodotokih hidroekoregij Panonska in Padska nižina so podane v preglednici 18.



Preglednica 18. Povezanost (R^2 - koeficient determinacije) indeksov BIRTI in SIG3 ter parametrov evtrofikacije; koncentracija celotnega fosforja (transformirana vrednost) – T_Ptot, koncentracija nitritnega dušika (transformirana vrednost) – T_NO2_N, koncentracija nitratnega dušika (transformirana vrednost) – T_PO4, koncentracija rtofosfatnega fosforja (transformirana vrednost) T_NO3_N in sestavljen gradient evtrofikacije glede na razred velikosti prispevne površine (VPP).

Indeks	VPP	SIG3	T_Ptot	T-NO2_N	T-PO4_P	T-NO3_N	Sestavljen gradient evtrofikacije
BIRTI-P _{LOW}	1-3	0,46	0,45	0,36	0,38	0,04	0,27
	1	0,39	0,39	0,64	0,24	0,12	0,16
	2	0,51	0,48	0,13	0,48	0,03	0,28
BIRTI-N _{LOW}	1-3	0,15	0,09	0,03	0	0,25	0,09
	1	0,23	0,11	0	0,02	0,47	0,20
	2	0,11	0,24	0,10	0,06	0,16	0,21
BIRTI-M _{LOW}	1-3	0,04	0,50	0,29	0,22	0,06	0,37
	1	0,01	0,60	0,34	0,29	0,10	0,52
	2	0,05	0,64	0,21	0,40	0,03	0,46
SIG3	1-3		0,14	0,10	0,14	0,04	0,08
	1		0,17	0,23	0,11	0,07	0,08
	2		0,08	0	0,10	0,06	0,03



6 RAZPRAVA

Indeksi BIRTI omogočajo vrednotenje vpliva eutrofikacije rek z bentoškimi nevretenčarji. Tri razvite oblike indeksa BIRTI omogočajo vrednotenje vplivov delno različnih vplivov eutrofikacije. Z indeksom BIRTI-P vrednotimo predvsem vpliv eutrofikacije zaradi fosforja. Opažena je bila tudi dokaj dobra povezava indeksa BIRTI-P s koncentracijo nitrita, ki pa je lahko v veliki meri posledica dobre soodvisnosti med koncentracijami celotnega fosforja in nitrita v vodotokih. Indeks BIRTI-P je v dobri soodvisnosti tudi s sestavljenim gradientom eutrofikacije, ne pa tudi s koncentracijo nitrata. Odziv združbe bentoških nevretenčarjev na nitrat smo zaznali z indeksom BIRTI-N. Še posebej dobro povezavo med BIRTI-N in nitratom ($R^2=0,47$) smo opazili v vodotokih s prispevno površino $<100 \text{ km}^2$. Z multimetrijskim indeksom BIRTI (M-BIRTI) smo ugotovili dobre povezave z istimi parametri eutrofikacije kot z indeksom BIRTI-P, vendar so bile korelacije s parametri celotnega fosforja in skupnim gradientom eutrofikacije višje, še posebej pri vodotokih s prispevno površino $<100 \text{ km}^2$. Nižje korelacije kot z indeksom BIRTI-P smo opazili za parametra nitrit in ortofosfat.

Pomembna značilnost vsakega za stresor značilnega indeksa je, da se dobro odziva na obremenitve in da se odziva le na obremenitev, ki jo z indeksom naslavljam (Chessman in McEvoy 1998, Urbanič, 2012). Za vse razvite indekse BIRTI smo ugotovili relativno dober odziv na posamezne parametre ali sestavljen gradient eutrofikacije. To pomeni, da indeksi izpolnjujejo prvi kriterij dobrega za stresor značilnega indeksa. V Sloveniji uporabljamo modularni sistem vrednotenja ekološkega stanja (Urbanič 2011a), ki ga sestavljajo trije moduli: saprobnost, trofičnost in hidromorfološka spremenjenost/splošna degradiranost. Za izpolnjevanje drugega kriterija dobrega indeksa, indeksi BIRTI ne smejo biti močno korelirani z indeksi, s katerimi vrednotimo vplive drugih obremenitev, razen, če so obremenitve močno soodvisne. Z analizo soodvisnosti indeksov BIRTI s saprobnim indeksom SIG3 smo ugotovili, da je indeks BIRTI-P dobro koreliran s SIG3, vendar je koeficient determinacije (R^2) še vedno $<0,5$. Korelacija med indeksom BIRTI-N in SIG3 je bila veliko nižja ($R^2=0,15$), med multimetrijskim BIRTI in SIG3 je bila soodvisnost nizka in neznčilna ($R^2=0,04$, $p>0,05$). Multimetrijski indeks BIRTI najboljše izpolnjuje zahteve dobrega za stresor značilnega indeksa. Za indeks BIRTI-P je dobro izpolnjena prva zahteva in srednje dobro druga, za indeks BIRTI-N sta dobro izpolnjeni obe zahtevi le za vodotoke s prispevno površino $<100 \text{ km}^2$ za ostale vodotoke pa srednje dobro.

Vsi biološki podatki za obravnavane tipe rek so bili nabrani med junijem in oktobrom. Ker zaradi majhne količine podatkov nismo mogli testirati vpliva sezone na vrednosti metrik, lahko zagotovimo, da se bo v prihodnje z izbiro ustrezne sezone lahko zelo zmanjšala negotovost v rezultatu, ki bi jo sezonska dinamika v združbi organizmov lahko imela na vrednost indeksov BIRTI. V prihodnje bo veljalo ugotoviti vpliv sezone kot dejavnika, ki vpliva na vrednosti razvitih indeksov.



Za vse obravnavane tipe rek smo uporabili podatke o bentoških nevretenčarjih iz 1/4 vzorca, ki ustreza vzorcu pobranem s površine 0,3125 m² za vzorčna mesta. Tudi pri vrednotenju ekološkega stanja moramo v prihodnje pregledati enak delež, saj bi drugačen pregledani delež vzorca lahko bistveno vplival na končni rezultat. Ker smo indikatorske vrednosti razvili za raven determinacije, ki jo uporabljamo za vrednotenje ekološkega stanja vodotokov v Sloveniji, je pomembno, da se za vrednotenje striktno uporablja ista raven determinacije.

Mejne vrednosti za 5 razredov ekološkega stanja smo transformirali tako, 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 nižinskih tipov rek, ki so obravnavani v tem delu, je treba slediti povsem enakemu postopku, kot je uporabljen tukaj.

Indeksi so razviti le za nižinske vodotoke hidroekoregij Panonska in Padska nižina. Zaenkrat so razviti indeksi uporabni le za vrednotenje nižinskih tipov rek. Za druge tipe rek bo indekse treba še razviti.



7 VIRI

- 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; www.aqem.de
- Barbour, M.T., Gerritsen, J., Snyder, B.D., Stribling, J.B. (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>
- Bertok, M., Budihna, M., Zabrc, 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., Zabrc, D. (2003). Kategorizacija voda z vidika sladkovodnega ribištva – donavsko povodje. (Naročnik: Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano) Zavod za ribištvo Slovenije, Ljubljana, 359 str.
- Bole J. (1969). Ključi za določevanje živali; Mehkužci (Mollusca). Ljubljana, Inštitut za biologijo Univerze v Ljubljani, Društvo biologov Slovenije.
- Chessman, B.C. & P.K. McEvoy, 1998. Towards diagnostic biotic indices for river macroinvertebrates. *Hydrobiologia* 364:169-182.
- Direktiva 2000/60/ES evropskega parlamenta in sveta z dne 23. oktobra 2000. Bruselj, 72 str., 11 prilog
- Germ, M., Urbanič, G., Gabersčik, A., Kuhar, U., & Šiško, M. (2007). Prilagoditev trofičnega indeksa zahtevam vodne direktive (Direktiva 2000/60/ES) za vrednotenje ekološkega stanja rek v Sloveniji na podlagi makrofitov. Končno poročilo (p. 68). Ljubljana: Nacionalni inštitut za biologijo.
- Hammer O, Harper DAT, Ryan PD. 2001. PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Palaeontologia Electronica* 4(1): 9 str.
- Hering, D., Feld, C.K., Moog, O., Ofenböck, T. (2006). Cook book for the development of a Multimetric Index for biological condition of aquatic ecosystems: experiences from the European AQEM and STAR projects and related initiatives. *Hydrobiologia* 566: 311-324.
- Karr, J.R., Chu, W. (1999). Restoring life in running waters: Better biological monitoring. Island Press, Washington, DC 200 str.



- Kosi, G., Šiško, M., Bricelj, M., Urbanič, G., Grbovič, J., Rotar, B., & Stanič, K. (2006). Prilagoditev trofičnega indeksa zahtevam Vodne direktive (direktiva 2000/60/ES) za vrednotenje ekološkega stanja rek v Sloveniji na podlagi fitobentosa. Ljubljana: Nacionalni inštitut za biologijo.
- Kuhar U., Germ M., Gaberščik A., Urbanič G. 2011. Development of a RiverMacrophyte Index (RMI) for assessing river ecological status. *Limnologica – Ecology andManagement of Inland Waters*, 41(3): 235–243
- MOP, 2009. Metodologija vzorčenja in laboratorijske obdelave vzorcev za vrednotenje ekološkega stanja rek z bentoškimi nevretenčarji. Ministrstvo za okolje in prostor, Ljubljana, 35 str.
- Pavlin, M. (2012). Povezava med spremenljivkami evtrofikacije in združbo bentoških nevretenčarjev v celinskih vodah Slovenije. Doktorska disertacija, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, 156 str.
- Pavlin, M, Birk, S., Hering, D., & Urbanič, G. (2011). The role of land use, nutrients, and other stressors in shaping benthic invertebrate assemblages in Slovenian rivers. *Hydrobiologia*, 678, 137-153. doi:10.1007/s10750-011-0836-8
- Petkovska, V., Urbanič, G. (2010). Effect of fixed-fraction subsampling on macroinvertebrate bioassessment of rivers. *Environmental monitoring and assessment*.
- Pravilnik o monitoringu stanja površinskih voda. 2009. Uradni list Republike Slovenije, 10/09: 832–840
- Urbanič, G. (2005a). 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. (2005b). Hidroekoregije Slovenije. V: Urbanič G. (ur.). Ekološko stanje za reke in jezera, poročilo o delu v letu 2005. Inštitut za vode Republike Slovenije, Ljubljana, str. 6-10.
- Urbanič, G. (2006a). Dopolnitve v razmejitvi hidroekoregij in bioregije celinskih voda Slovenije. V: Urbanič, G. (ur.). Dodelava tipizacije za reke in jezera. Poročilo o delu v letu 2006. Inštitut za vode RS, Ljubljana, str. 12-19.
- Urbanič, G. (2006b). Opis tipov rek v Sloveniji. V: Urbanič, G. (ur.). Ekološko stanje površinskih voda. Poročilo o delu v letu 2006. Inštitut za vode RS, Ljubljana, str. 20-25.
- Urbanič, G., (2007a). Ekoregije celinskih voda – hidroekoregije v Sloveniji; dopolnitve v razmejitvi. V: Urbanič, G. (ur.). Dopolnitev tipologije. Končno poročilo o delu v letu 2007. Inštitut za vode RS, Ljubljana, str. 9-14.



- Urbanič, G. (2007b). Bioregije celinskih voda in velike reke; dopolnitve. V: Urbanič, G. (ur.). Dopolnitev tipologije. Končno poročilo o delu v letu 2007. Inštitut za vode RS, Ljubljana, str. 4-8.
- Urbanič, G. (2007c). 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. (2007d). 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.
- Urbanič, G., Tavzes, B., Toman, M. J. (2005a). I. Vzorčenje bentoških nevretenčarjev v prebrodljivih (plitvih) vodotokih. V: 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, 38 str.
- Urbanič, G., Tavzes, B., Ambrožič, Š., Toman, M. J. (2005b). II. Laboratorijska obdelava vzorcev bentoških nevretenčarjev in potrebna stopnja determinacije. V: 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, 38 str.
- 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, 130 str.
- Urbanič, G., Ambrožič, Š., Pavlin, M., Rotar, B., Grbovič, J. (2008). Dopolnitev metodologij vrednotenja ekološkega stanja rek in klasifikacija ekološkega stanja vodnih teles rek z



biološkim elementom bentoški nevretenčarji v skladu z Vodno direktivo (Direktiva 2000/60/ES). Eko-voda, Zgornja Ščavnica, 82 str.

Uredbo o stanju površinskih voda. 2009. Uradni list Republike Slovenije 14/09: 1757–1791.

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

Zelinka, M., Marvan, P. (1961). Zur Präzisierung der biologischen Klassifikation der Reinheit fließender Gewässer. Archiv für Hydrobiologie, 57: 389–407.



8 PRILOGE

Priloga A. Deskriptorji in kratice deskriptorjev uporabljene za opis tipov rek v Sloveniji za ekoregiji Panonska nižina in Padska nižina (Urbanič, 2006b).

Deskriptor oz. značilnost	Kategorija deskriptorja oz. Značilnosti	Kratika
Velikost prispevne površine	10-100 km ²	1
	100-1000 km ²	2
	1000-2500 km ² in sQs<50m ³ /s	3
Bioregija		Vip-Brda
	Panonska gričevja in ravnine	PN-gric
	Panonske ravnine z alpskim vplivnim območjem	PN-zALvpliv
	Krško-Brežiška kotlina	KrBr-kotl



Priloga B. Seznam okoljskih spremenljivk s kodami.

Koda	Spremenljivka
BIRTI-P	
BIRTI-N	
SI	Saprobni indeks na podlagi bentoških nevretenčarjev
Evtro	Sestavljen gradient evtrofikacije
Ptot	Celotni fosfor
PO4_P	Ortofosfatni fosfor
Ntot	Celotni dušik
NH4_N	Amonijev dušik
NO2_N	Nitritni dušik
NO3_N	Nitratni dušik
T_Ptot	Celotni fosfor – transformirana vrednost
T_PO4_P	Ortofosfatni fosfor – transformirana vrednost
T_Ntot	Celotni dušik – transformirana vrednost
T_NH4_N	Amonijev dušik – transformirana vrednost
T_NO2_N	Nitritni dušik – transformirana vrednost
T_NO3_N	Nitratni dušik – transformirana vrednost
BPK5	Biološka potreba po kisiku v petih dneh
pH	pH
Prev	Prevodnost
Sat	Nasičenost vode s kisikom
TSS	Skupne suspendirane snovi
TOC	Skupni organski ogljik
SO4	Sulfat
Cl	Klorid
Ca	Kalcij
Mg	Magnezij
Na	Natrij
K	Kalij
Alk	Alkaliteta
URB_n	Delež urbanih površin v neposrednem prispevnem območju
NAR_n	Delež naravnih površin v neposrednem prispevnem območju
Ikmet_n	Delež intenzivnih kmetijskih površin v neposrednem prispevnem območju
Ekmet_n	Delež ekstenzivnih kmetijskih površin v neposrednem prispevnem območju
URB_s	Delež urbanih površin v celotnem prispevnem območju
NAR_s	Delež naravnih površin v celotnem prispevnem območju
Ikmet_s	Delež intenzivnih kmetijskih površin v celotnem prispevnem območju
Ekmet_s	Delež ekstenzivnih kmetijskih površin v celotnem prispevnem območju



Priloga C. Statistično značilne ($p < 0,05$) korelacije (r_{sp} - Spearmanov korelacijski koeficient).

r_{sp}	BIRTI-P	BIRTI-N	SI	Evtro	Ptot	PO4_P	Ntot	NH4_N	NO2_N	NO3_N	T_Ptot	T_PO4_P	T_Ntot	T_NH4_N	T_NO2_N	T_NO3_N
SI	,704**	,336**														
Evtro	,554**	-,366**	,285**													
Ptot	,751**	-,279**	,423**	,817**												
PO4_P	,632**		,375**	,864**	,765**											
Ntot				,348**												
NH4_N	,325**		,266*	,299**	,397**											
NO2_N	,622**		,305**	,586**	,634**	,426**	,396**	,400**								
NO3_N		-,535**		,476**			,733**		,246*							
T_Ptot	,752**	-,277*	,425**	,817**	1,000**	,764**		,395**	,634**							
T_PO4_P	,631**		,375**	,864**	,765**	1,000**			,426**		,764**					
T_Ntot				,348**			1,000**		,396**	,733**						
T_NH4_N	,325**		,266*	,299**	,397**			1,000**	,400**		,395**					
T_NO2_N	,622**		,305**	,586**	,634**	,426**	,396**	,400**	1,000**	,246*	,634**	,426**	,396**	,400**		
T_NO3_N		-,535**		,476**			,733**		,246*	1,000**			,733**		,246*	
BPK5	,366**	,381**	,318**					,232*	,322**	-,343**				,232*	,322**	-,343**
pH	-,332**	-,379**	-,295**					-,304**		,314**				-,304**		,314**
Prev				,361**		,260*	,254*		,274*	,386**		,260*	,254*		,274*	,386**
Sat		,283**						-,237*	-,235*					-,237*	-,235*	
TSS																
TOC	,497**		,344**	,369**	,505**	,298**		,342**	,508**		,506**	,298**		,342**	,508**	
SO4	,454**	-,295**	,285**	,338**	,338**	,291**			,321**	,247*	,337**	,291**			,321**	,247*
Cl	,570**		,323**	,453**	,517**	,401**	,268*		,391**		,517**	,401**	,268*		,391**	
Ca	-,291**				-,288**	-,215*	,278**				-,289**	-,215*	,278**			
Mg																
Na	,627**	-,253*	,372**	,472**	,529**	,452**			,422**		,528**	,452**			,422**	
K	,553**		,295**	,440**	,537**	,339**	,271*	,223*	,508**		,537**	,339**	,271*	,223*	,508**	
Alk							,267*						,267*			
URB_n		-,352**		,257*						,251*						,251*
NAR_n	-,290**			-,252*	-,293**	-,251*			-,256*		-,292**	-,251*			-,256*	
Ikmet_n	,321**			,299**	,346**	,303**			,243*		,346**	,303**			,243*	
Ekmet_n		,237*														
URB_s	,425**	-,474**	,327**	,523**	,511**	,546**			,279**	,246*	,510**	,546**			,279**	,246*
NAR_s	-,460**			-,309**	-,442**	-,297**			-,371**		-,442**	-,297**			-,371**	
Ikmet_s	,336**			,214*	,321**	,223*					,322**	,223*				
Ekmet_s		-,215*														



Priloga C. Nadaljevanje

r _{sp}	BPK5	pH	Prev	Sat	TSS	TOC	SO4	Cl	Ca	Mg	Na	K	Alk	URB_n	NAR_n	Ikmet_n	Ekmet_n	URB_s	NAR_s	Ikmet_s
BPK5																				
pH	-,276*																			
Prev																				
Sat		,232*																		
TSS																				
TOC	,310**	-,347**	,240*																	
SO4			,563**		-,298**															
Cl			,453**			,501**	,618**													
Ca		,258*	,474**	,236*																
Mg			,594**			,220*	,320**		,518**											
Na			,474**		-,279**	,457**	,772**	,845**												
K			,451**			,569**	,687**	,767**		,274*	,761**									
Alk			,598**						,794**	,666**										
URB_n		,344**																		
NAR_n						-,311**		-,285**	,233*					-,234*						
Ikmet_n		-,248*				,326**		,282**	-,266*						-,814**					
Ekmet_n	,266*													-,280**						
URB_s			,271*		-,293**		,537**	,385**	-,265*		,571**	,391**	-,308**	,397**			-,298**			
NAR_s		,328**		,273*		-,509**		-,623**	,216*		-,442**	-,400**		,312**	,598**	-,668**				
Ikmet_s		-,390**				,481**		,512**			,256*	,243*		-,274*	-,521**	,671**		-,872**		
Ekmet_s							,249*										,389**		-,349**	

Priloga D. Statistično značilne ($p < 0,05$) korelacije (r_{sp} - Spearmanov korelacijski koeficient). med M-BIRTI in ostalimi spremenljivkami.

r_{sp}	BIRTI- P_{low}	BIRTI- N_{low}	M-BIRTI	SI	Evtro	T_Ptot	T_NO3_N	pH	Prev	Sat	TSS	BPK5	TOC	SO4	Cl	Ca
M-BIRTI	,615**	,696**														
SI	-,706**	,362**														
Evtro	-,556**	-,293**	-,599**	,285**												
T_Ptot	-,751**	-,236*	-,692**	,425**	,817**											
T_NO3_N		-,500**	-,240*		,476**											
pH	,331**	-,223*		-,295**			,314**									
Prev					,361**		,386**									
Sat		,337**	,398**					,232*								
TSS																
BPK5	-,365**	,344**		,318**			-,343**	-,276*					,310**			
TOC	-,495**		-,258*	,344**	,369**	,506**		-,347**	,240*							
SO4	-,452**	-,294**	-,509**	,285**	,338**	,337**	,247*		,563**		-,298**					
Cl	-,565**	-,235*	-,558**	,323**	,453**	,517**			,453**					,501**	,618**	
Ca	,289**		,303**			-,289**		,258*	,474**	,236*						
Mg									,594**					,220*	,320**	,518**
Na	-,623**	-,234*	-,606**	,372**	,472**	,528**			,474**		-,279**			,457**	,772**	,845**
K	-,549**		-,520**	,295**	,440**	,537**			,451**					,569**	,687**	,767**
Alk			,236*						,598**							,794**
URB_n					,257*		,251*	,344**								
NAR_n	,287**		,298**		-,252*	-,292**								-,311**	-,285**	,233*
Ikmet_n	-,318**		-,296**		,299**	,346**		-,248*						,326**	,282**	-,266*
Ekmet_n													,266*			
URB_s	-,429**	-,319**	-,554**	,327**	,523**	,510**	,246*		,271*		-,293**			,537**	,385**	-,265*
NAR_s	,454**		,455**		-,309**	-,442**		,328**		,273*				-,509**	-,623**	,216*
Ikmet_s	-,331**		-,226*		,214*	,322**		-,390**						,481**	,512**	
Ekmet_s			-,253*													
Ptot	-,750**	-,238*	-,693**	,423**	,817**	1,000**								,505**	,338**	,517**
PO4_P	-,634**		-,451**	,375**	,864**	,764**			,260*					,298**	,291**	-,215*
Ntot		-,293**			,348**		,733**		,254*							,268*
NH4_N	-,327**			,266*	,299**	,395**		-,304**		-,237*		,232*	,342**			
NO2_N	-,626**		-,551**	,305**	,586**	,634**	,246*		,274*	-,235*		,322**	,508**	,321**	,391**	
NO3_N		-,500**	-,240*		,476**		1,000**	,314**	,386**			-,343**		,247*		
T_PO4_P	-,634**		-,451**	,375**	,864**	,764**			,260*					,298**	,291**	-,215*
T_Ntot		-,293**			,348**		,733**		,254*							,268*
T_NH4_N	-,327**			,266*	,299**	,395**		-,304**		-,237*		,232*	,342**			
T_NO2_N	-,626**		-,551**	,305**	,586**	,634**	,246*		,274*	-,235*		,322**	,508**	,321**	,391**	

Metodologija...z bentoškimi nevretenčarji...trofičnost... nižinski tipi rek

Priloga D. Nadaljevanje.

r _{Sp}	Mg	Na	K	Alk	URB_n	NAR_n	Ikmet_n	Ekmet_n	URB_s	NAR_s	Ikmet_s	Ekmet_s	Ptot	PO4_P	Ntot	NH4_N	NO2_N	NO3_N	T_PO4_P	T_Ntot	T_NH4_N
Ca	,518**																				
Mg																					
Na																					
K	,274*	,761**																			
Alk	,666**																				
URB_n																					
NAR_n					-,234*																
Ikmet_n						-,814**															
Ekmet_n					-,280**																
URB_s		,571**	,391**	-,308**	,397**			-,298**													
NAR_s		-,442**	-,400**		,312**	,598**	-,668**														
Ikmet_s		,256*	,243*		-,274*	-,521**	,671**			-,872**											
Ekmet_s								,389**			-,349**										
Ptot		,529**	,537**			-,293**	,346**		,511**	-,442**	,321**										
PO4_P		,452**	,339**			-,251*	,303**		,546**	-,297**	,223*			,765**							
Ntot			,271*	,267*																	
NH4_N			,223*										,397**								
NO2_N		,422**	,508**			-,256*	,243*		,279**	-,371**			,634**	,426**	,396**	,400**					
NO3_N					,251*				,246*						,733**		,246*				
T_PO4_P		,452**	,339**			-,251*	,303**		,546**	-,297**	,223*			,765**	1,000**		,426**				
T_Ntot			,271*	,267*												1,000**	,396**	,733**			
T_NH4_N			,223*										,397**			1,000**	,400**				
T_NO2_N		,422**	,508**			-,256*	,243*		,279**	-,371**			,634**	,426**	,396**	,400**	1,000**	,246*	,426**	,396**	,400**