

UNIVERZA V LJUBLJANI  
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA  
ODDELEK ZA BIOLOGIJO

Gregor ŠUBIC

**OKOLJSKA OCENA IN MAKROFITI REKE KOLPE**

DIPLOMSKO DELO  
Univerzitetni študij

**ENVIRONMENTAL ASSESSMENT AND MACROPHYTES  
OF THE RIVER KOLPA**

GRADUATION THESIS  
University Studies

Ljubljana, 2010

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

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

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednica: doc. dr. Jasna DOLENC - KOCE

Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo

Član: prof. dr. Mihael J. TOMAN

Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo

Članica: prof. dr. Alenka GABERŠČIK

Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo

Datum zagovora: 27. maj 2010

Naloga je rezultat lastnega raziskovalnega dela.

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

Gregor Šubic

## KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

- ŠD Dn  
DK 581.5:556.55:582(479.4Kolpa)(043.2)=863  
KG makrofiti/vodotoki/širša okoljska ocean/Kolpa  
AV ŠUBIC, Gregor  
SA GABERŠČIK, Alenka (mentorica)  
KZ SI – 1000 Ljubljana, Večna pot 111  
ZA Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo  
LI 2010  
IN OKOLJSKA OCENA IN MAKROFITI REKE KOLPE  
TD Diplomsko delo (univerzitetni študij)  
OP X, 58 str., 5 pregl., 35 sl., 2 pril., 56 vir.  
IJ Sl  
JI sl/en  
AI V nalogi smo želeli ugotoviti kakšni so pojavljanje, razporeditev in pogostost makrofitov v reki Kolpi in kakšna je povezava med okoljskimi dejavniki in pojavljanjem makrofitov. V rastni sezoni 2002 (julij – avgust) smo zvezno pregledali celotni tok reke Kolpe (118 km), kjer reka meji na slovensko ozemlje. Pojavljanje makrofitov je povezano tudi s stanjem rečnega ekosistema, ki smo ga vrednotili po modificirani RCE metodi. Reko smo razdelili na 236 enakovarnih odsekov dolžine 500 m. Semenke so se pojavile na 61 km. V celotnem toku reke smo določili 18 taksonov makrofitov. Reka Kolpa je v zgornjem delu hitra reka, kar onemogoča naselitev višjih vodnih rastlin, ki se pojavljajo šele od 123 odseka naprej. Poleg tega v zgornjem delu Kolpa teče skozi gozdno krajino, možna onesnažila so redka, rečni ekosistem je zelo blizu naravnemu stanju. V spodnjem delu se tok reke Kolpe umiri, zaledje reke sestavlja mozaik gozdov, kmetijskih površin in naselij. Najboljše razmere za uspevanje makrofitov so bile v neosenčenih odsekih s širšo strugo, umirjenim tokom ter drobnim sedimentom. Glede na prevladujočo vrstno zastopanost makrofitov lahko spodnji del vodotoka reke Kolpe uvrstimo v kategorijo zmerno spremenjen in zmerno obremenjen s hranili.

## KEY WORDS DOCUMENTATION

- DN Dn
- DC 581.5:556.55:582(479.4Kolpa)(043.2)=863
- CX macrophytes/stream/wider environmental assessment/Kolpa
- AU ŠUBIC, Gregor
- AA GABERŠČIK, Alenka (supervisor)
- PP Večna pot 111, 1000 Ljubljana, Slovenia
- PB University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of Biology
- PY 2010
- TI ENVIRONMENTAL ASSESSMENT AND MACROPHYTES OF THE RIVER  
KOLPA
- DT Graduation Thesis (University Studies)
- NO X, 58 p., 5 tab., 35 fig., 2 ann., 56 ref.
- LA sl
- AL sl/en
- AB The thesis focuses on a survey survey of the presence, the distribution and the abundance of macrophytes in the River Kolpa, and on establishing the relationship between environmental parameters and macrophyte abundance and distribution. In the growth season in 2002 (July–August), we examined the presence and abundance of macrophytes and environmental parameters along the whole length of the River Kolpa (118km) in Slovenian territory. The latter were evaluated by the modified RCE method. The river was divided into 236 successive stretches of 500m. In the entire flow of the Kolpa, eighteen macrophyte taxa were found. High flow velocity in the upper part of the river prevents the colonization of vascular plants which were found from the 123<sup>rd</sup> stretch downstream. The upper part of the Kolpa flows mainly through a forested landscape: pollutants are rare, so the river ecosystem is close to a natural state. In the lower part of the flow, the river slows down: the hinterland of the river consists of a mosaic of forests, agricultural land and settlements. The most favorable conditions for macrophyte growth were found to be in stretches with little or no woody riparian vegetation, a wide riverbed, a gentle stream and fine sediment. On the basis of macrophyte species, composition the lower flow of the River Kolpa is in the category of rivers which have been moderately altered and moderately loaded with nutrients.

## KAZALO VSEBINE

<b>KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA.....</b>	<b>III</b>
<b>KEY WORDS DOCUMENTATION.....</b>	<b>IV</b>
<b>KAZALO VSEBINE .....</b>	<b>V</b>
<b>KAZALO PREGLEDNIC.....</b>	<b>VII</b>
<b>KAZALO SLIK .....</b>	<b>VIII</b>
<b>KAZALO PRILOG .....</b>	<b>X</b>
<b>1 UVOD.....</b>	<b>1</b>
<b>2 PREGLED OBJAV .....</b>	<b>3</b>
2.1 REČNI SISTEM .....	3
2.2 MAKROFITI .....	4
2.3 DEJAVNIKI, KI VPLIVAJO NA USPEVANJE MAKROFITOV .....	5
2.3.1 Vodni tok .....	5
2.3.2 Substrat .....	5
2.3.3 Svetloba .....	6
2.3.4 Kemizem vode .....	6
2.3.5 Temperatura .....	6
2.3.6 Kompeticija .....	7
2.4 PRILAGODITVE MAKROFITOV NA VODNO OKOLJE.....	8
2.4.1 Morfološke in anatomske značilnosti vodnih rastlin.....	8
2.4.1.1 Listi.....	8
2.4.1.2 Steblo .....	9
2.4.1.3 Koreninski sistem .....	9
2.4.1.4 Reproduktivni organi .....	9
2.4.2 Fiziološke prilagoditve .....	10
2.5 VLOGA MAKROFITOV V VODNEM EKOSISTEMU.....	11
2.6 MAKROFITI IN ONESNAŽENJE .....	12
<b>3 MESTO RAZISKAV.....</b>	<b>14</b>
3.1 POREČJE KOLPE IN NJEGOVE HIDROGEOGRAFSKE ZNAČILNOSTI... ..	14
3.2 GEOLOŠKA PODLAGA .....	15

---

<b>4 MATERIJAL IN METODE .....</b>	<b>23</b>
4.1 MAKROFITI .....	23
4.1.1 Delo na terenu .....	23
4.1.2 Obdelava podatkov.....	24
4.2 ŠIRŠA OKOLJSKA OCENA STANJA VODOTOKOV (RCE METODA) ....	26
4.3 HITROST VODNEGA TOKA.....	27
4.4 KANONIČNA KORESPONDENČNA ANALIZA (CCA analiza).....	27
<b>5 REZULTATI.....</b>	<b>28</b>
5.1 MAKROFITI V REKI KOLPI .....	28
5.1.1 Prisotnost in pogostost makrofitov v reki Kolpi .....	28
5.1.2 Primerjava pogostosti in prisotnosti makrofitov med odseki reke Kolpe ...	34
5.2 ŠIRŠA OKOLJSKA OCENA VODOTOKA.....	36
5.3 HITROST VODNEGA TOKA.....	40
5.4 CCA ANALIZA.....	41
5.5 MAKROFITI KOT POKAZATELJI STANJA VODOTOKA.....	48
<b>6 DISKUSIJA.....</b>	<b>49</b>
6.1 RAZŠIRJENOST IN POGOSTOST VRST MAKROFITOV .....	49
6.2 ŠIRŠA OKOLJSKA OCENA REKE KOLPE IN MAKROFITI.....	50
6.3 MAKROFITI GLEDE NA HRANILA.....	51
6.4 MAKROFITI GLEDE NA RDEČI SEZNAM OGROŽENIH VRST.....	51
6.5 UPORABNOST ZBRANIH PODATKOV.....	52
<b>7 SKLEPI .....</b>	<b>53</b>
<b>8 POVZETEK.....</b>	<b>54</b>
<b>9 VIRI.....</b>	<b>55</b>
<b>ZAHVALA</b>	

## KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Seznam taksonov, prisotnih v reki Kolpi ob popisu.....	28
Preglednica 2: RCE kakovostni razredi.....	36
Preglednica 3: Lastne vrednosti, kumulativni odstotek pojasnjene variance in korelacijski koeficienti obdelanih podatkov prvih štirih kanoničnih osi matrike taksonov.....	41
Preglednica 4: Kumulativni pojasnjeni odstotek variance matrike taksonov – petnajst kanoničnih osi matrike taksonov.....	42
Preglednica 5: Značilne vrste makrofitov, ki odražajo vsebnost hrani v vodi.....	48

**KAZALO SLIK**

Slika 1: Kolpa v zgornjem delu (soteska, gozdovi).....	15
Slika 2: Kolpa v zgornjem delu (mahovi).....	15
Slika 3: Kolpa v spodnjem delu (mozaična krajina) .....	16
Slika 4: Kolpa v spodnjem delu (jez, mozaična krajina) .....	16
Slika 5: Zemljevid izbranega območja reke Kolpe, ki teče po slovenskem ozemlju, z označenimi 236 odseki .....	17
Slika 6: Zemljevid izbranega območja reke Kolpe 1/10 z označenimi odseki 1 do 25.....	17
Slika 7: Zemljevid izbranega območja reke Kolpe 2/10 z označenimi odseki 24 do 51.....	18
Slika 8: Zemljevid izbranega območja reke Kolpe 3/10 z označenimi odseki 51 do 83.....	18
Slika 9: Zemljevid izbranega območja reke Kolpe 4/10 z označenimi odseki 82 do 108.....	19
Slika 10: Zemljevid izbranega območja reke Kolpe 5/10 z označenimi odseki 108 do 135....	19
Slika 11: Zemljevid izbranega območja reke Kolpe 6/10 z označenimi odseki 133 do 156....	20
Slika 12: Zemljevid izbranega območja reke Kolpe 7/10 z označenimi odseki 150 do 178....	20
Slika 13: Zemljevid izbranega območja reke Kolpe 8/10 z označenimi odseki 178 do 193....	21
Slika 14: Zemljevid izbranega območja reke Kolpe 9/10 z označenimi odseki 194 do 211....	21
Slika 15: Zemljevid izbranega območja reke Kolpe 10/10 z označenimi odseki 208 do 236..	22
Slika 16: Improviziran čoln, uporabljen pri pregledu odsekov na reki Kolpi .....	23
Slika 17: Razporeditev in pogostost makrofitov v reki Kolpi 1/5 .....	29
Slika 18: Razporeditev in pogostost makrofitov v reki Kolpi 2/5 .....	29
Slika 19: Razporeditev in pogostost makrofitov v reki Kolpi 3/5 .....	30
Slika 20: Razporeditev in pogostost makrofitov v reki Kolpi 4/5 .....	30
Slika 21: Razporeditev in pogostost makrofitov v reki Kolpi 5/5 .....	30
Slika 22: Relativna rastlinska masa (RPM) makrofitov v reki Kolpi.....	31
Slika 23: Povprečni masni indeks (MMI) taksoneov makrofitov na reki Kolpi.....	31
Slika 24: Razmerje povprečnih masnih indeksov MMT in MMO v reki Kolpi.....	32
Slika 25: Indeksi, ki opredeljujejo pojavljanje makrofitov v reki Kolpi.....	33
Slika 26: Dendrogram različnosti med rečniki odseki glede na prisotnost in pogostost makrofitov .....	34
Slika 27: Skupna ocena okoljskih parametrov po RCE metodi.....	36
Slika 28: Širša okoljska ocena zgornjega dela reke Kolpe – kakovostno stanje odsekov glede na posamezne ocenjevane lastnosti 1/3 .....	37

---

Slika 29: Širša okoljska ocena zgornjega dela reke Kolpe – kakovostno stanje odsekov glede na posamezne ocenjevane lastnosti 2/3 .....	38
Slika 30: Širša okoljska ocena zgornjega dela reke Kolpe – kakovostno stanje odsekov glede na posamezne ocenjevane lastnosti 3/3 .....	39
Slika 31: Hitrost vodnega toka v odsekih na reki Kolpi.....	40
Slika 32: Ordinacijski diagram z izbranimi dejavniki okolja, odseki vodotoka in makrofitskimi taksoni. ....	43
Slika 33: Ordinacijski diagram z izbranimi dejavniki okolja in taksoni makrofitov. ....	44
Slika 34: Ordinacijski diagram z izbranimi dejavniki okolja in odseki vodotoka .....	45
Slika 35: Ordinacijski diagram z odseki vodotoka.....	46

## KAZALO PRILOG

Priloga A

Tabela A1: Širša okoljska ocena na osnovi petnajstih lastnosti – obrazec RCE

Priloga B

Tabela B 1: Geografske WGS84 koordinate posameznih odsekov

## 1 UVOD

Reke so v tisočletjih oblikovale podobo pokrajine, zagotavljajo hrano, zaščito in dom mnogim rastlinskim in živalskim vrstam, že od nekdaj se ob njih naseljujejo ljudje. Poleg osnovnega vira preživetja so predstavljale tudi ponor vseh odpadnih produktov civilizacije, ki jih je vodni tok odnašal iz naselij. Vodotoki so dinamični in kompleksni ekosistemi od katerih je odvisna raznolikost pokrajine. Struga je povezana z obrežnim pasom, poplavno ravnico in zaledjem, zato je kakovost vode neposredno odvisna od stanja širšega vodnega okolja (Petersen, 1992). Zaradi človekovega delovanja prihaja do povečanega onesnaževanja ter do splošnega poslabšanja fizičnih lastnosti struge.

Vodne rastline so pomembna komponenta rečnega sistema in so občutljivi kazalci tako kakovosti vode kot tudi samega porečja. Povečana količina hranil in onesnaženje vplivata na prisotnost, razporeditev in pogostost vodnih rastlin (Haslam, 1987). Posledice motenj so množično pojavljanje določenih vrst, izguba avtohtonih in invazija tujerodnih vrst. V evropskih nižinskih vodotokih se je v zadnjih desetletjih raznolikost vodnih rastlin močno zmanjšala (Petts, 1994).

V rečni sistem določene reke ne sodi samo glavna struga, temveč tudi vsi pritoki, ki se vanjo zlivajo, zato so reke v veliki meri odvisne od značilnosti porečja (Stanners in Bourdeau, 1995). Bogat, z obrežno vegetacijo porasel pas ob reki ali potoku, ni le lep na pogled. Ima tudi lastnosti, ki močno vplivajo na kvaliteto vode in življenje v njej, saj se v tem delu zadrži veliko anorganskih in organskih snovi, stupov in bakterij in drugih organizmov (Brinson, 1993).

Stanje vodne vegetacije kaže tudi na stanje drugih skupin organizmov – epifitov, nevretenčarjev in rib, saj ustvarja ugodne razmere za njihovo uspevanje. Makrofiti so tako indikator stanja celotnega habitata (Haslam, 1987). Ker je kemizem vode dejavnik, ki vpliva na pojavljanje vodnih rastlin, lahko na osnovi njihovega uspevanja sklepamo na kemijsko sestavo vode (Melzer, 1985).

Namen naloge je bil:

- ugotoviti pojavljanje, razporeditev in pogostost makrofitov v reki Kolpi,
- ugotoviti, kako na pojavljanje vplivajo dejavniki okolja,
- oceniti okoljsko stanje vodotoka.

## 2 PREGLED OBJAV

### 2.1 REČNI SISTEM

Vodotoki predstavljajo 1 promil površine Zemlje (Hynes, 1971) in imajo velik pomen za rastline, živali in ljudi. Rečni sistem lahko razdelimo na tri dele. Za zgornji del je značilna ozka, strma erodirajoča struga s turbulentnim tokom, grobim substratom, s hranili revna voda (Dobson in Frid, 1998). Veliko potokov izvira na gozdnem območju, kjer senčenje obrežnih rastlin omejuje primarno produkcijo v rečni strugi in z listnim opadom zagotavlja vnos alohtonih snovi (Petts, 1994). Zgornji del rečnega sistema zbira padavinsko vodo. Količina je odvisna od poraščenosti zaledja. Gozdovi zadržijo največ vode. V srednjem delu reke je naklon struge zmanjšan, erozija je uravnovešena z odlaganjem sedimenta, substrat predstavlja predvsem pesek in prod. V spodnjem delu se tok umiri, izrazito je odlaganje sedimenta, v substratu prevladuje fini mulj, poveča se koncentracija finih in raztopljenih snovi (Dobson in Frid, 1998). Lateralna izmenjava med poplavno ravnicu in strugo je velika (Petts 1994).

Vodni tok, substrat in temperatura so trije glavni dejavniki, ki vplivajo na življenje v tekočih vodah. Vodni tok za organizme pomeni prednost zaradi prinašanja hrane in odnašanja odpadkov, vendar pa predstavlja nenehno nevarnost, da jih bo odnesel s seboj. Od toka je odvisna sestava substrata, ki v veliki meri vpliva na življenjsko združbo. Temperatura vpliva na vse življenjske procese. Večina organizmov tekočih voda je ektotermnih, zato so hitrost rasti, življenjski krog in produktivnost celotnega sistema, močno odvisni od temperature vode (Alan 1995).

Vzroka za poslabšanje kvalitete vode ne smemo vedno iskati v pritoku hranil. Na motnje v strukturi in funkciji nižinskih vodotokov imajo velik vpliv fizične poškodbe. Te so posledica spremnjanja strug v kanale, osuševanja mokrišč ter krčenja obrežne vegetacije, da se zagotovi prostor kmetijskim površinam (Petersen, 1992).

Poleg same strukture struge sta pomembna tudi obrežni pas in zaledje vodotoka. Obrežni pas ima vlogo filtra vse dotlej, dokler prevelik ali prepogost dotok snovi ne preseže njegove zmogljivosti (Wetzel, 1990). V tem primeru je njegova sposobnost zadrževanja snovi presežena, posledice vidimo v slabši kakovosti rečne vode. Vsak poseg, ki vodi v poslabšanje

stanja obrežnega pasu, povzroči spremembo njegove biološke strukture in zmanjšanje funkcije. Poplave, prtok hranil z obdelanih površin, onesnažene vode s cestnih površin,... imajo tako večji vpliv na kvaliteto vode. Omenjeno trditev je potrdila raziskava na petnajstih italijanskih vodotokih, saj so bili rezultati, dobljeni s pomočjo širše okoljske ocene, kjer so ocenjevali vrsto zaledja, ohranjenost obrežnega pasu in strukturo struge, v pozitivni korelaciji z rezultati, dobljenimi na osnovi razširjenega biotičnega indeksa (Petersen, 1992).

## 2.2 MAKROFITI

S pojmom makrofiti označujemo makroskopske vodne rastline, ki jih vidimo s prostim očesom. To ni taksonomska opredelitev, saj skupina vključuje semenovke, praproti in mahove. Pogosto vanjo uvrščamo tudi makroskopske alge, predvsem nitaste alge in parožnice (Fox, 1992). Vodne rastline predstavljajo pestro skupino kopenskega izvora, ki so se prilagodile vodnem okolju (Wetzel, 1990).

Vodne rastline največkrat razvrščamo glede na njihovo rastno obliko. Splošno sprejet je Schultorpov sistem (Fox, 1992), ki deli vodne rastline v 4 skupine:

- emergentni makrofiti: ukoreninjeni, večina listnega in stebelnega tkiva je nad vodno površino (*Phragmites australis*, *Typha latifolia*, ...),
- plavajoči ukoreninjeni makrofiti: zanje so značilni plavajoči listi, večina listnega tkiva je na vodni gladini (*Nymphaea alba*, *Nuphar luteum*, *Potamogeton natans*, ...),
- plavajoči neukoreninjeni makrofiti: živijo pogosto v vodi ali na vodni površini (*Lemna minor*, *Ceratophyllum demersum*, ...),
- potopljeni makrofiti: ukoreninjeni, večina vegetativnega tkiva je pod vodno gladino (*Myriophyllum spicatum*, *Potamogeton filiformis*, ...).

Nekatere vrste se pojavljajo v vodi in na kopnem. Zanje sta značilni dve obliki (formi), vodna in kopenska, zaradi česar jih ne moremo uvrstiti v le eno od skupin. To so amfibijiske rastline (Hutchinson, 1975). Amfibijiske rastline lahko rastejo, ko so popolnoma potopljene, pa tudi, ko se gladina vode zniža in je večina rastline na zraku (Germ, 2002).

## 2.3 DEJAVNIKI, KI VPLIVAJO NA USPEVANJE MAKROFITOV

Raziskave v Evropi in drugod po svetu so izpostavile vpliv multiplih interakcij okoljskih dejavnikov na uspevanje makrofitov v tekočih voda (Mackay in sod., 2003). Med temi dejavniki so pomembnejši substrat, hitrost toka, svetloba, kemizem vode in tekmovalnost (Haslam, 1987). Slaba stran življenja v tekoči vodi je spremjanje vodostaja, hitrosti toka in mehanske poškodbe. Rastline tekočih voda pa imajo prednost zaradi manjše potrebe po tekovanju in manjšega števila obžiralcev ter epifitov, ki jih odplavlja voda (Boulton in Brock, 1999).

### 2.3.1 Vodni tok

Vodni tok je dejavnik, ki najbolj vpliva na vrstno sestavo in razporeditev makrofitov v vodah (Westlake, 1975). Hitrost toka, turbulanca in erozija imajo neposreden vpliv na stopnjo fotosinteze, dostopnost nutrientov in CO<sub>2</sub> ter mehanske poškodbe (Fox, 1992). Vodne rastline so na različne načine prilagojene na hitrost vodnega toka. Vrste alg iz rodu *Cladophora sp.* imajo na primer močno elastično steljko, s katero se pritrjajo na podlago in prilagajajo vodnemu toku. Vrste kot so navadna grebenika (*Hottonia palustris*), razkrečenolistna vodna zlatica (*Ranunculus circinatus*), rumeni blatnik (*Nuphar luteum*), enostavni ježek (*Sparganium emersum*)... so omejene na počasnejše tekoče dele reke, vrste lasastolistna vodna zlatica (*Ranunculus trichophyllum*), plavajoča vodna zlatica (*Batrachium fluitans*) in ozkolistni koščec (*Berula erecta*) pa najdemo v delih reke s hitrejšim vodnim tokom (Carbiener s sod., 1990).

### 2.3.2 Substrat

Geološke značilnosti porečja v največji meri vplivajo na fizikalne in kemijske značilnosti struge ter tako na razširitev makrofitov (Fox, 1992). Razporeditev rastlin v vodah s podobno kemijsko sestavo je najbolj odvisna od vrste substrata ali sedimenta (Westlake, 1975), ki je posredno odvisna od vodnega toka. V primerjavi z zbitim dnom je večja možnost ukoreninjenja v zrnati podlagi, kjer so boljše tudi kisikove razmere. Večina rastlin v tekočih vodah raste na podlagi iz finih delcev, bolj grob material ne zagotavlja dobrega oprijema in je reven z nutrienti. Ugotovili so, da prevelika vsebnost organskih snovi v substratu zavira rast

makrofitov, s tem da so amfibiskske rastline manj občutljive od submerznih (Van der Plutten in sod., 1997).

### **2.3.3 Svetloba**

Svetloba je tako v jezerih kot tudi v rekah primarni dejavnik, ki omejuje rast makrofitov (Madsen in Adams, 1989). Svetlobne razmere v vodi določajo razporeditev v globino, pogostost in primarno produkcijo avtotrofnih organizmov v vodnem okolju (Van Duin in sod., 2001). Odvisne so od količine in kvalitete sevanja na vodni površini, absorpcijskih lastnosti vode in v njej raztopljenih snovi ter absorbcije, odboja in sipanja na neraztopljenih delcih v vodi. V tekočih vodah je lahko rast potopljenih vrst omejena s senčenjem obrežnih rastlin (Allan, 1995) in s senčenjem, ki ga povzročajo plavajoče rastline oz. listi ter fitoplankton (Fox, 1992). Našteti dejavniki posredno vplivajo na to, da je produktivnost potopljenih rastlin manjša. Dobro razvit obrežni pas dreves lahko poleti povzroči znižanje intenzitete svetlobe v vodi za 95% začetne intenzitete, kar omogoča rast samo mahovom, oziroma onemogoča rast vsem makrofitom (Westlake, 1975).

### **2.3.4 Kemizem vode**

Nekatere vodne rastline uporabljajo kot vir ogljika samo prosti CO<sub>2</sub>, zato so omejene na vode z nizkim pH in nizko koncentracijo kalcija. Kemizem vode se spreminja glede na geološko podlago, topografijo, vrsto zaledja, erozijo, stopnjo odlaganja in temperaturo vode (Boulton in Brock, 1999). Večina vodnih rastlin ima tanko kutikulo in je sposobna absorbirati hranila skozi celotno površino, v glavnem pa rastejo vodne rastline na račun hranil iz sedimenta (Pedersen, 1994).

### **2.3.5 Temperatura**

Temperatura je dejavnik, ki vpliva na mnoge fiziološke procese, kot so dormanca in tvorba prezimnih brstov, kalitev semen, razvoj, fotosinteza in asimilacija kisika (Pip, 1989) ter na fotomorfogenezo in fotoperiodizem. Temperaturna nihanja v vodi so manjša od tistih na kopnem. Pip (1989) je dokazal, da je temperatura relativno nepomembna za distribucijo vrst na ožjem območju. Bolj pomembni so bili drugi dejavniki, kot so globina, svetloba, vrsta

substrata, turbulенca in kemizem vode. Kjub temu pa obstajajo vrste, ki so omejene na hladne (*Sparganium emersum*) oziroma tople vode (*Hydrilla verticillata*) (Fox, 1992).

### 2.3.6 Kompeticija

Rastline tekmujejo v glavnem za svetlobo, prostor, hranila in vodo. Ker vodne rastline nimajo težav pri preskrbi z vodo in ker je navadno (vsaj v nižinskih rekah) tudi hranil dovolj, ima kompeticija za svetlobo verjetno velik pomen v odnosih med rečnimi makrofiti (Fox, 1992). Nekatere rastline spreminjajo okolje (delajo senco) v škodo drugih rastlin, kar pomeni v kompeticiji veliko prednost. Tudi izločanje alelopatskih snovi, ki inhibirajo rast, predstavlja prednost ene vrste pred drugo. Kompetitivne lastnosti rečnih rastlin so: sposobnost razrasti, uporaba bikarbonata kot vira ogljika, asimilacija ogljikovega dioksida iz zraka, zgodnja rast v sezoni, ki jo omogoča nizka svetlobna kompenzacijnska točka ter nizko dolžinsko razmerje steblo/korenine (Murphy s sod., 1990). Kompeticija lahko v habitatih, kot so s hranili bogate nižinske reke, pripelje do izključitve večine vrst in lahko ostaneta samo ena ali dve, na primer vrsta *Potamogeton pectinatus* (Fox, 1992).

## 2.4 PRILAGODITVE MAKROFITOV NA VODNO OKOLJE

### 2.4.1 Morfološke in anatomske značilnosti vodnih rastlin

#### 2.4.1.1 Listi

Dejavnika, ki sta v vodi lahko omejujoča za uspevanje vodnih rastlin, sta nizka intenziteta svetlobe in otežkočena difuzija plinov (Janković, 1979). Vodne rastline imajo značilnosti, ki jim omogočajo preživetje v teh razmerah. Največje spremembe so vidne pri potopljenih listih. Rastline v tekočih vodah imajo manjše liste, kraje listne peclje, ter kraje stebelne in rizomske internodije. Listi submerznih rastlin so pogosto ozki in podaljšani, nitaste ali suličaste oblike, ter gibki, za nekatere vrste pa so značilni fino razcepljeni listi. Na ta način se zmanjšajo mehanske poškodbe zaradi gibanja vode. Drugo prednost predstavlja povečano razmerje med površino in prostornino lista, kar poveča učinkovitost izmenjave plinov ter izboljša absorbcoj svetlobe in hranil. Epidermida potopljenih listov je enoplastna, s tanko kutikulo ali brez nje, lahko prepustna za vodo, v njej so kloroplasti. Listnih rež ni. Notranjost listov ni diferencirana na palisadno in gobasto tkivo, mehansko in prevajalno tkivo je slabo razvito (Wetzel, 2001).

Pri plavajočih listih je znatno manj hidromorfoz. Po obliki so enostavni, največkrat okrogli, ščitasti ali ledvičasti. Listi so močni in debeli, epidermido na zgornji strani lista gradijo celice z debelimi stenami, pokrit je z bolj ali manj debelo hidrofobno kutikulo (Wetzel 2001). Mezofil je diferenciran na palisadno in gobasto tkivo. Listne reže se nahajajo na zgornji strani lista, na spodnji hidropote. Plavajoči listi, ki se zaradi različnih vzrokov potopijo, ne asimilirajo, kar je eden od vzrokov, da se redko razvijejo (Martinčič 1994).

Pri večini vodnih rastlin je dobro razvit sistem zračnih prostorov, ki potekajo iz listov skozi peclje in steblo do korenin oz. korenik (Hutchinson, 1975). To zračno tkivo ali aerenhim omogoča učinkovito difuzijo plinov in njihovo shranjevanje ter obnavljanje med mesti fotosinteze, respiracije in fotorespiracije (Wetzel, 1990). Ker zmanjšuje specifično težo listov, do neke mere nadomešča mehansko tkivo. Mehanski elementi so razporejeni v osrednjem delu steba in v sredini listov. Na ta način so podvodna steba in listi gibki, kar je v tekoči vodi zelo koristno (Janković, 1979).

Pogost pojav pri vodnih rastlinah je heterofilija. Ista rastlina ima lahko potopljene, plavajoče in nadvodne liste. Posamezni listi so specifično grajeni glede na razmere v okolju (Martinčič, 1994).

#### 2.4.1.2 Steblo

Povrhnjica je tanka, enoplastna, pokriva jo kutikula, zato absorbcijo snovi omogočajo hidropote. Subepidermalnih krovnih tkiv ni. Mehanski elementi so maloštevilni in centralno nameščeni. Rastlini dajejo elastičnost, ne pa tudi trdnosti, tako da stebla vodnih rastlin niso toga, ampak se lahko zvijejo, kadar so izven vode. Tudi prevajalni sistem je močno reducirан in zbran v sredini steba; pogosti so primeri da prave žile sploh niso več razvite, ampak so prisotni le kompleksi prevajalnih elementov. Velik del volumna zavzema aerenhim (Martinčič, 1994).

#### 2.4.1.3 Koreninski sistem

Pri nekaterih rastlinah je koreninski sistem v celoti reducirан ali pa korenine izgubijo svojo funkcijo. Pri nekaterih vrstah služijo le za pritrditev, črpanje hrani pa je drugotnega pomena (Janković, 1979). Za nekatere druge vrste je značilno, da lahko preko korenin absorbirajo precejšnje količine različnih ionov in si tako vsa hrnila pridobijo iz sedimenta (Mantai in Newton, 1982). Uokoreninjene rastline, ki uspevajo v tekočih vodah, imajo bodisi žilavo, fleksibilno steblo in plazečo rastno obliko, bodisi stolone ali korenike z mnogimi nadomestnimi koreninami, ki jim omogočajo obdržati v vodi ustrezno lego (Hynes, 1970).

#### 2.4.1.4 Reproduktivni organi

Potopljene rastline redko razvijejo cvetove, ki pa so manjši kot pri rastlinah v stoječi vodi. Odsotnost ali zmanjšanje produkcije semen pomeni, da prevladuje nespolno razmnoževanje, torej je malo možnosti za razvoj vrst ali sort, posebno prilagojenih na tekoče vode. Rastline tvorijo semena le v mirnejših delih reke, ali pa takrat, ko pridejo v stik z zrakom zaradi upadanja vodne gladine.

## 2.4.2 Fiziološke prilagoditve

Fiziološke in biokemične prilagoditve omogočajo potopljenim makrofitom premagovanje omejitev povezanih s fotosintezo pod vodo (Bowes in Salvucci, 1989). Za vodno okolje je v primerjavi z zrakom značilna manjša dostopnost  $\text{CO}_2$  in  $\text{O}_2$  (Maberly in Spence, 1989). Razlog je v difuziji plinov, ki je v vodi mnogo počasnejša (Madsen in Breinholt, 1995). Vsaka prilagoditev, ki poveča dostopnost raztopljenega anorganskega ogljika, omogoči njegovo učinkovito izrabo ali prepreči njegove izgube oz. izgube izdihanega  $\text{CO}_2$ , tako predstavlja za rastlino kompetitivno prednost (Nichols in Shaw, 1986).

## 2.5 VLOGA MAKROFITOV V VODNEM EKOSISTEMU

Makrofiti stabilizirajo sediment, zmanjšajo erozijo in kalnost vode (Madsen in sod., 2001), znotraj njihovih sestojev se upočasni gibanje vode ter na ta način omogoči sedimentacija materiala (Fox, 1992). Makrofiti izboljšajo kvaliteto vode (Madsen in sod., 2001), saj iz vode sprejemajo hranila ter tako sodelujejo pri njenem čiščenju. Po drugi strani lahko zaradi mobilizacije hrani iz sedimenta (Hutchinson, 1975) ter njihovega sproščanja iz rastlin po razkroju povzročijo tudi evtrofikacijo sistema (Nichols in Shaw, 1986). Makrofiti dajejo zavetje mnogim nevretenčarjem (Nichols in Shaw, 1986), ki so vir hrane za ribe in vodne ptice. Za epifitske alge predstavljajo substrat, ribam in njihovim jajčecem pa nudijo zaščito (Fox, 1992).

## 2.6 MAKROFITI IN ONESNAŽENJE

Onesnaženje v vodotokih je zelo raznoliko in vkjučuje vse, kar spremeni fizikalne, kemijske in biološke lastnosti vode. Značilna posledica izpustov je visoka biološka poraba kisika, suspendirane organske snovi in amonijak. Posledica tega je zmanjšanje števila ribjih vrst, nevretenčarjev ter makrofitov. Ob večjem onesnaževanju lahko ribe izginejo, preživijo pa na onesnaženje tolerantne vrste nevretenčarjev. Raznolikost vodnih rastlin se zmanjša, prevlada ena rastlinska vrsta, ki se ji močno poveča biomasa. V nižinskih rekah, bogatih s hranili, se pogosto razrastejo nitaste alge (Sweeting, 1994).

Analiza fizikalnih, kemijskih in bioloških parametrov izpopolni sliko stanja v vodotoku. Vendar je razmeroma draga, njena največja pomanjkljivost pa je v tem, da poda le trenutno sliko razmer v vodotoku. Zato se vse bolj uveljavlja tudi biološka ocena kvalitete voda, ki daje bolj kompleksno sliko vplivov onesnažil na ekosistem. Za oceno kvalitete vode in specifičnih učinkov onesnaževanja v vodnih biotopih uporabljamo različne metode: široko je razširjena metoda ocenjevanja kvalitete vode s pomočjo nevretenčarjev (Dall, 1995). Za ocenitev kvalitete vode s pomočjo organizmov moramo nujno poznati vrstno sestavo organizmov, gostoto populacije, sezonske spremembe v rečni združbi in diverzitetu združbe v naravnem (neonesnaženem vodotoku) (Toman, 1995).

Bioindikatorsko vrednost imajo tudi makrofiti, ki imajo v primerjavi z nevretenčarji nekaj prednosti (Haslam, 1987):

- makrofiti so navadno pritrjeni in relativno veliki, število vrst pa je v primerjavi z nevretenčarji razmeroma majhno,
- majhni organski izpusti navadno ne vplivajo na nevretenčarje, lahko pa prizadanejo makrofite,
- omogočajo tako oceno stanja vode kot sedimenta,
- ob pregledovanju makrofitov navadno ne poškodujemo mesta vzorčevanja.

Na podlagi različnih vzorcev razporeditev vodnih makrofitov lahko določimo indikatorsko vrednost posamezne vrste glede na stopnjo organskega onesnaženja.

Zaradi onesnaževanja se pojavi v rastlinski združbi vsaj ena od naslednjih sprememb (Gaberščik 1997):

- zmanjšanje diverzitete,
- zmanjšanje zastopanosti na onesnaženje občutljivih vrst,
- sprememba razmerja občutljive/tolerantne vrste v korist tolerantnih vrst,
- povečanje števila vrst, odpornih na onesnaženje.

### 3 MESTO RAZISKAV

#### 3.1 POREČJE KOLPE IN NJEGOVE HIDROGEOGRAFSKE ZNAČILNOSTI

Kolpa s pritoki je eden najbolj neokrnjenih vodotokov donavskega porečja v Sloveniji. Predvsem celoten zgornji del porečja je zaradi naravnih in zgodovinskih značilnosti precej nedostopen in neraziskan, zaledje je poraslo z gozdom, reka je tu oblikovala kanjon. Nižje ob toku je mozaik gozdov, kmetijskih površin in naselij. Reka Kolpa se bistveno razlikuje od večine dinarskih rek, ki tečejo v podolžni smeri. Teče v celoti povprek čez dinarski gorski sistem in je le v nekaterih pasovih usmerjena podolžno. Kolpa se je razvila v tolikšni prečni dolžini zaradi tega, ker je segal v terciarju, miocenu in pliocenu, panonski morski zaliv v Karlovško kotlino, pomaknjeno precej krepko v dinarsko področje (Melik, 1959). Slovensko Pokolpje se v glavnem razdeli v dve pokrajini: prva se nahaja v neprepustnem ozemlju v povirju Kolpe, druga, mnogo širša pa pripada Beli krajini. V vmesnem področju med obema je neposredno Pokolpje omejeno na neznaten pas ob sami reki, kjer je v tesni debri prostora samo za vodo (Melik, 1959). V primerjavi z drugimi podobnimi slovenskimi povodji je v Pokolpu obseg poplavnega sveta zelo majhen, le 1292 ha. Največ poplavnega sveta je pri Gribljah in Plavutini (Plut, 1988). Zaradi močne globinske erozije ima struga Kolpe od izvira do Gribelj, z manjšimi izjemami (v Osilnici, v Brodu na Kolpi in v Vinici) značaj ozke in globoko zarezane debrske doline.

Podnebje v zgornjem Pokolpu: stenovita prisojna področja nad Čabranko in Kolpo so povsem zavarovana s severa in odprta soncu, zato uspeva v tem delu topoljubna vegetacija. Nizka nadmorska višina (Brod - 222 m, Kostel - 206 m) prihaja v tem delu malo do veljave, kljub temu, da smo tako blizu morja. Prav tukaj se namreč močno uveljavlja topotna inverzija; mrzli zrak se ponoči in pozimi steka v nizki predel v dolino (Melik, 1959). Ker se nahaja Bela Krajina na zelo nizki nadmorski višini, so temperature tako poleti kot pozimi precej visoke. Padavin je od 1200 do 1400 mm in suša predvsem zaradi kraških tal v teh krajih ni redka.

### 3.2 GEOLOŠKA PODLAGA

Porečje zgornje Kolpe predstavlja površje, ki se od sosedstva zelo razlikuje. To je normalna pokrajina sredi kraških planot in podolij. Njena svojstvenost temelji na geološki sestavi tal. Tu se izpod triadnih apnencev in dolomitov pokaže na površino werfenski in karbonski škriljevec ter peščenjak. V njih se je razvila gosta mreža površinskih tekočih voda, ki tvorijo povirje Kolpe (Melik, 1959). V tem delu teče Kolpa čez samo apniško dolomitno ozemlje v tesni dolini, ponekod kar v pravem kanjonu.

Tudi v Beli Krajini teče Kolpa v dolu, ki pa je v spodnjem toku bolj plitev. Prvi površinski pritok Kolpe v Beli Krajini je Lahinja. Tla sestavljajo predvsem kredni apnenci, za vodo zelo propustni, zato je zakrasevanje v tem delu dobro napredovalo. Ravnice so ob Kolpi od Pobrežja in zlasti od Gribelj navzdol.



Slika 1: Kolpa v zgornjem delu (soteska, gozdovi)



Slika 2: Kolpa v zgornjem delu (mahovi)



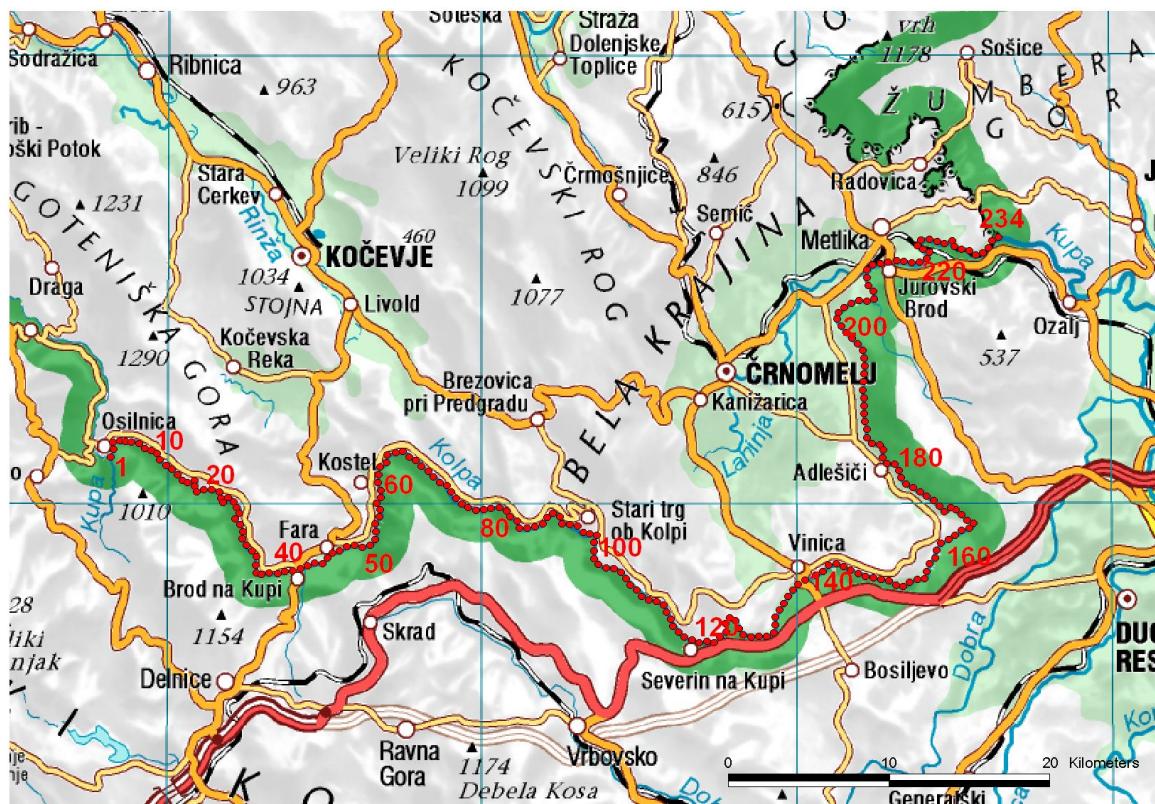
**Slika 3: Kolpa v spodnjem delu (mozaična krajina)**



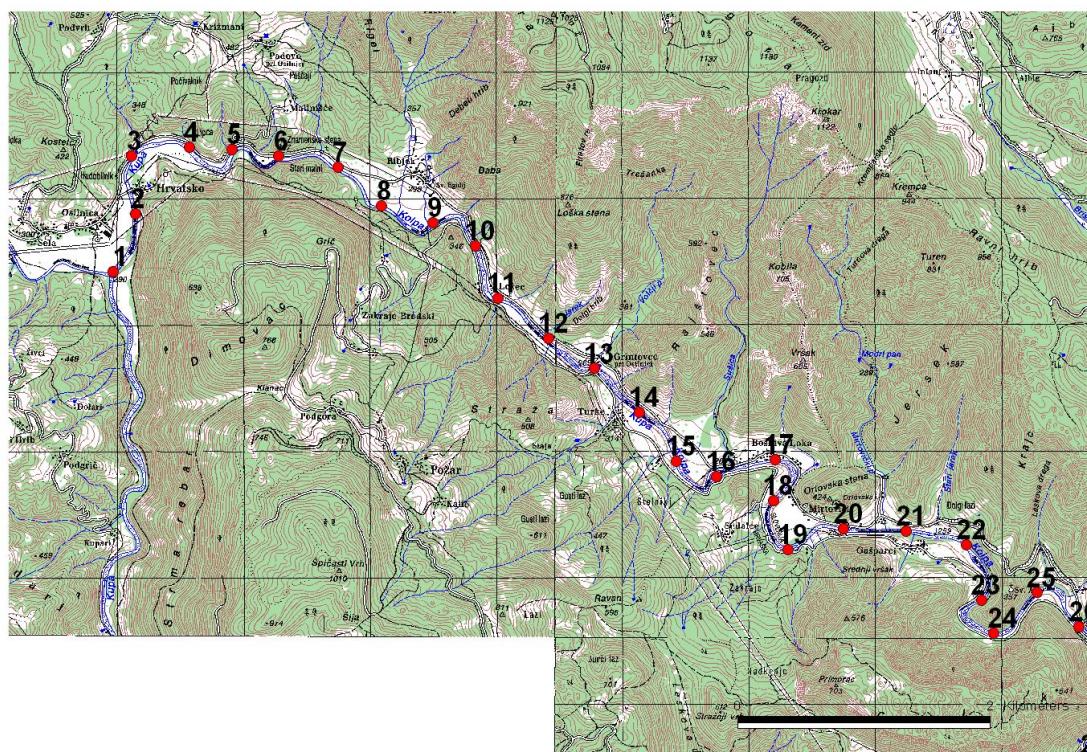
**Slika 4: Kolpa v spodnjem delu (jez, mozaična krajina)**

Po II. svetovni vojni in vse do leta 1991 je bil del Kolpe od Slavskega laza do jezu v Dolu nedostopen, ker so bili na tem predelu strogo varovani državni objekti. Preostali, sicer dostopni del Kolpe, je imel slabe cestne povezave, kar je glavni razlog, da je okolje v zgornjem in srednjem delu doline Kolpe zelo ohranjeno v primerjavi z drugimi slovenskimi povodji. Negativne posledice slabih povezav pa so, da so se odselili ali pomrli še tisti ljudje, ki so vzdrževali jezove na Kolpi.

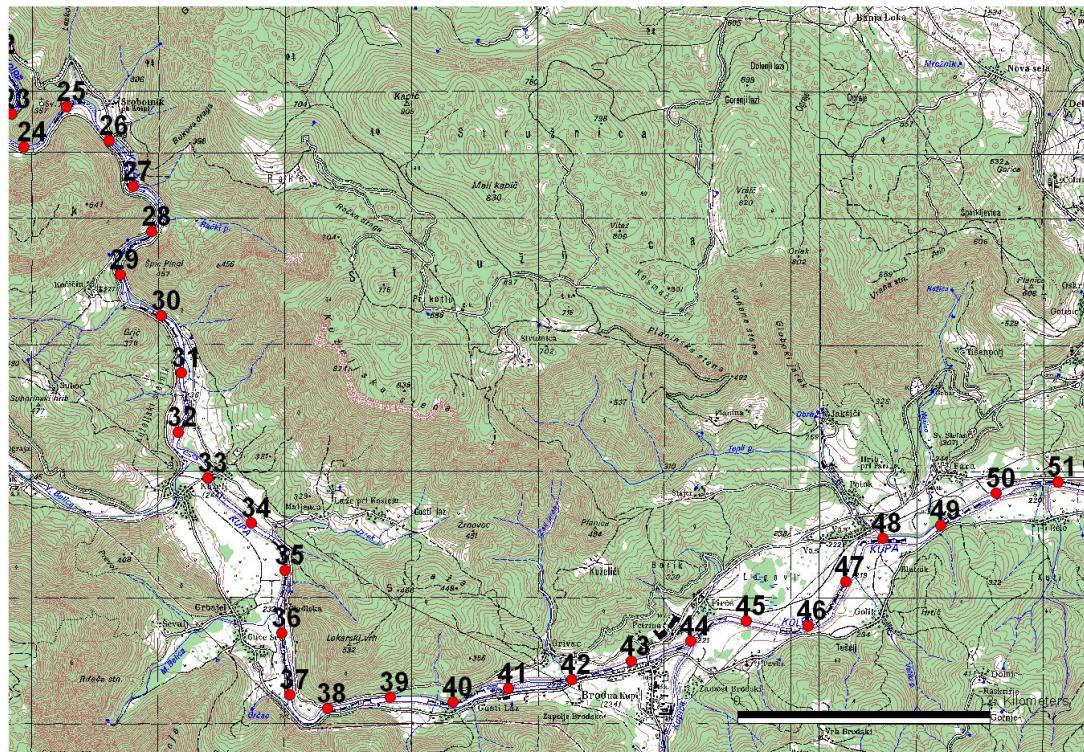
Onesnaženost belokranjskih voda je najbolj očitna v poletnih mesecih ob nizkih vodostajih. Najizrazitejša je ob naseljih, v redko poseljenih predelih se kakovost vode hitro izboljša do naslednjega večjega naselja, ko se zopet poslabša (Povž, 1998). Iz analiz ARSO (Zupan in sod., 1994) je razvidno, da je Kolpa do sotočja Lahinje s Krupo oz. do Metlike v 2. kakovostnem razredu, torej je zmerno obremenjena. Občasno se v Osilnici in Radencih celo pojavlja prenasičenost s kisikom. Pod izlivom Bilpe je močno onesnažena z organskimi odplakami iz Rinže, s katero je povezana po podzemni poti. Pod izlivom Lahinje, od Metlike navzdol, kakovost vode pade v 2.-3. kakovostni razred zaradi odpadnih vod iz Metlike. Zelo se poviša kemična poraba kisika (KPK), pogosto so povišane vsebnosti različnih težkih kovin – bakra, svinca, živega srebra. Kolpa je po izlivu Lahinje onesnažena s polikloriranimi fenoli, ki izvirajo iz Krupe, pritoka Lahinje (Plut, 1988).



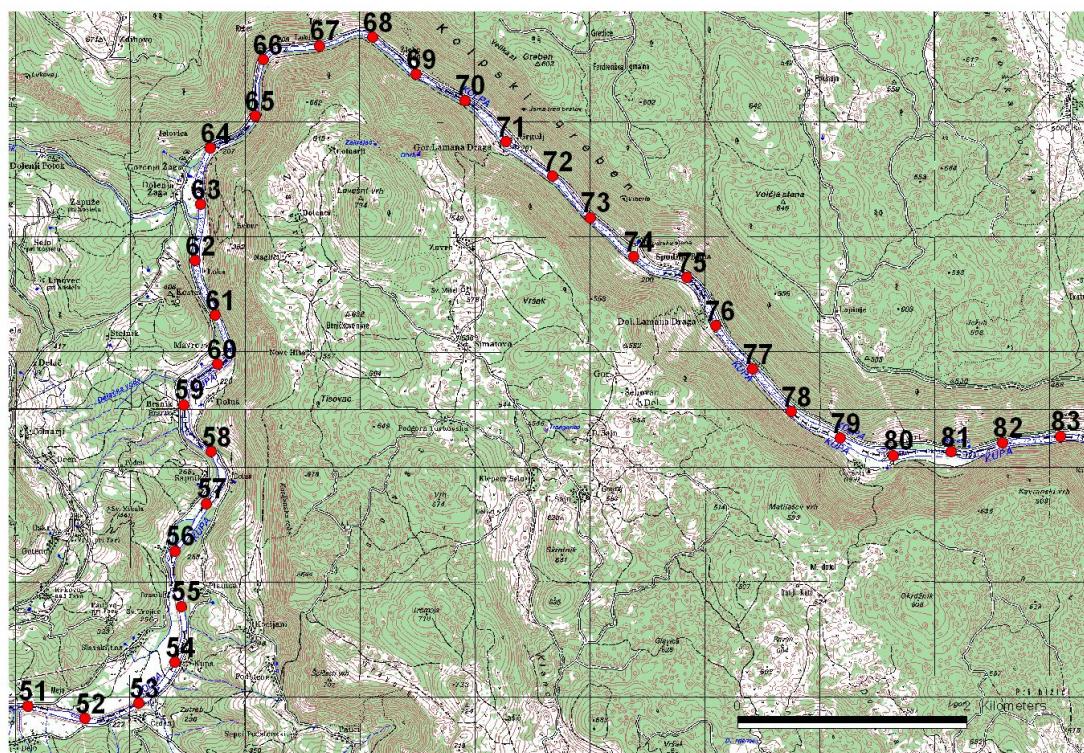
Slika 5: Zemljevid izbranega območja reke Kolpe, ki teče po slovenskem ozemlju, z označenimi 236 odseki  
(vir: Interaktivni atlas Slovenije, 1:300.000)



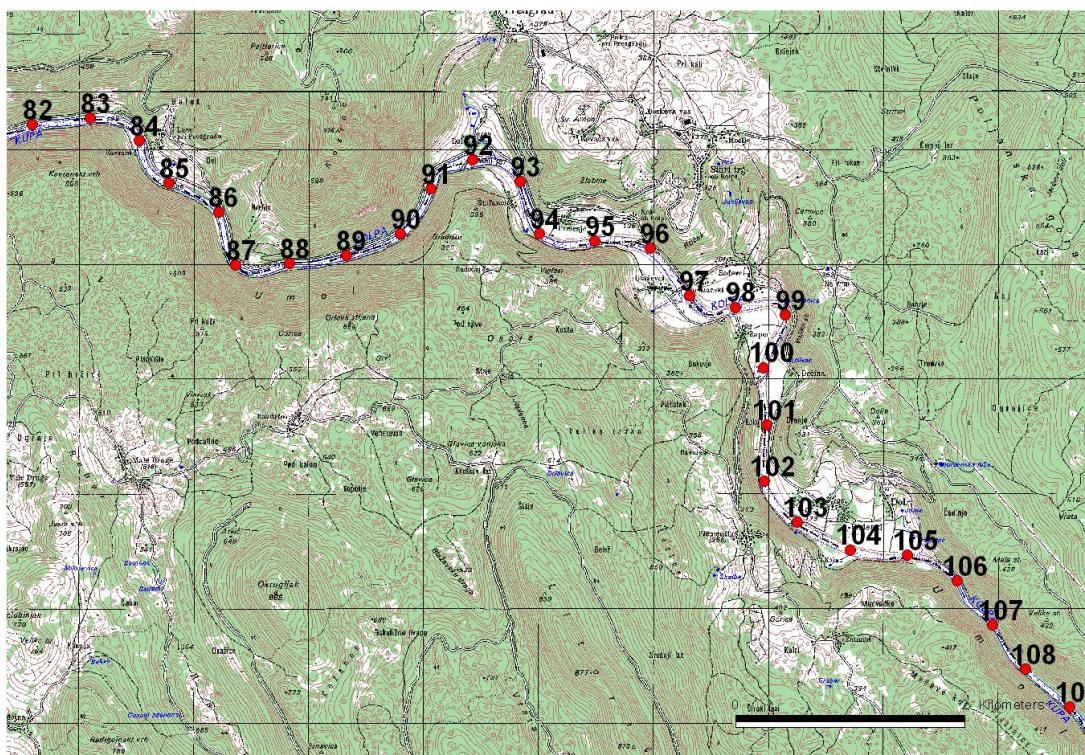
Slika 6: Zemljevid izbranega območja reke Kolpe 1/10 z označenimi odseki 1 do 25  
(vir: Interaktivni atlas Slovenije, 1:25.000)



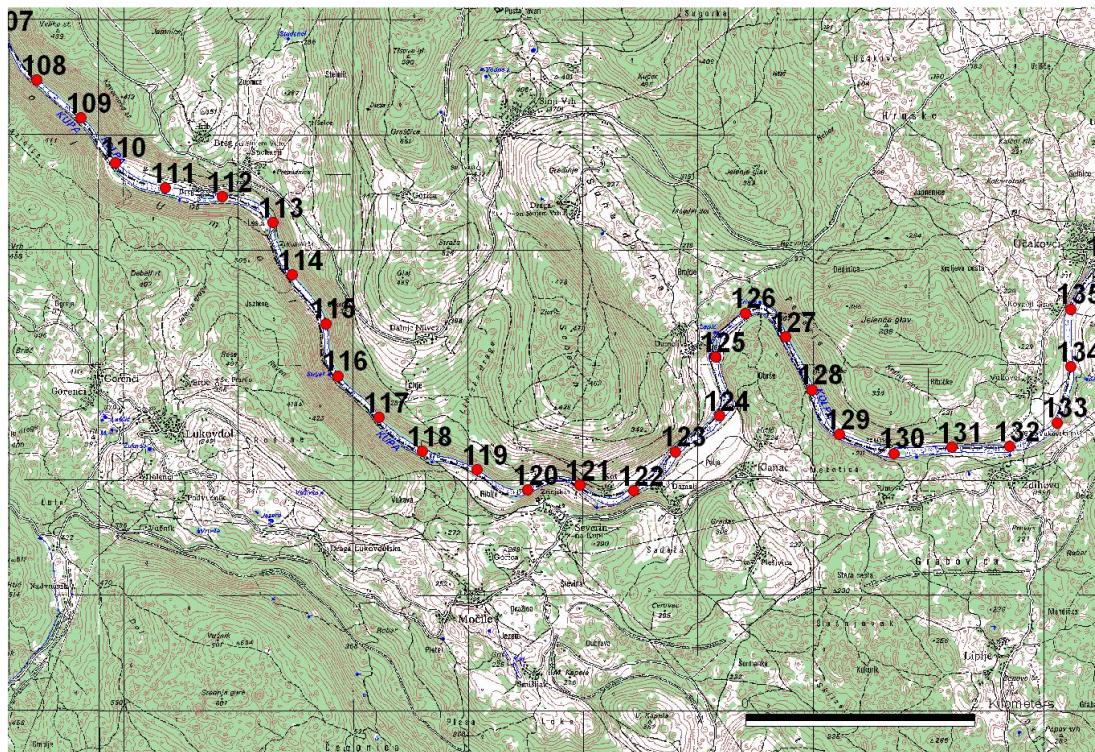
Slika 7: Zemljevid izbranega območja reke Kolpe 2/10 z označenimi odseki 24 do 51  
(vir: Interaktivni atlas Slovenije, 1:25.000)



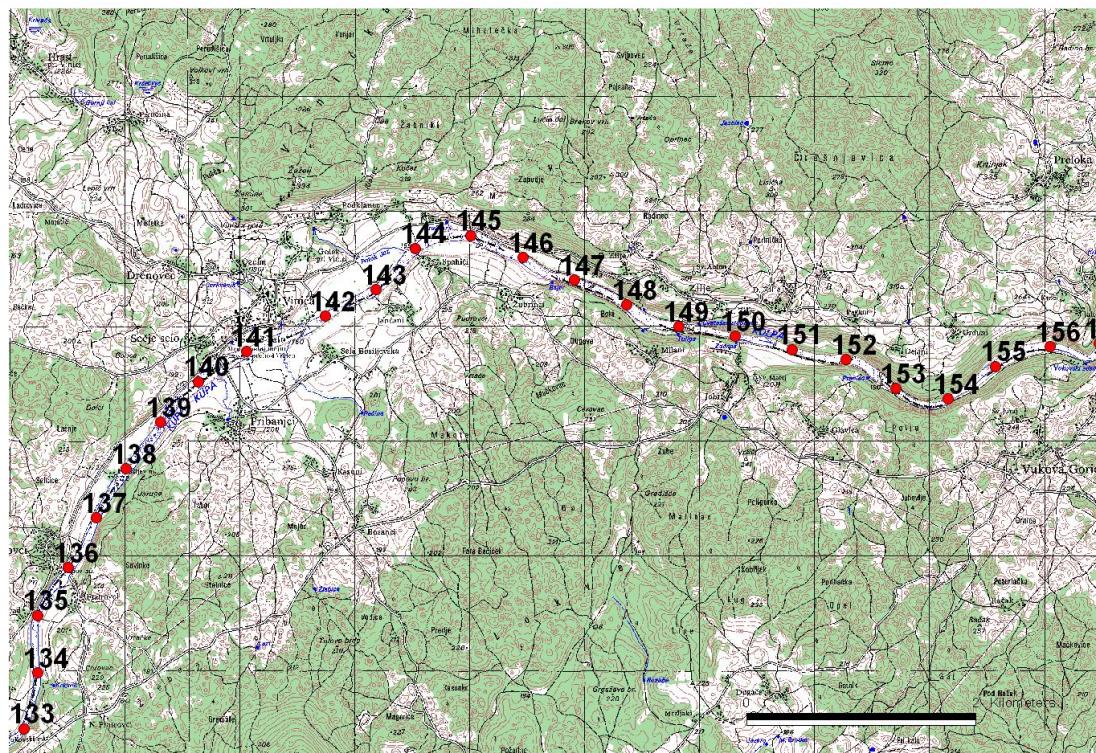
Slika 8: Zemljevid izbranega območja reke Kolpe 3/10 z označenimi odseki 51 do 83  
(vir: Interaktivni atlas Slovenije, 1:25.000)



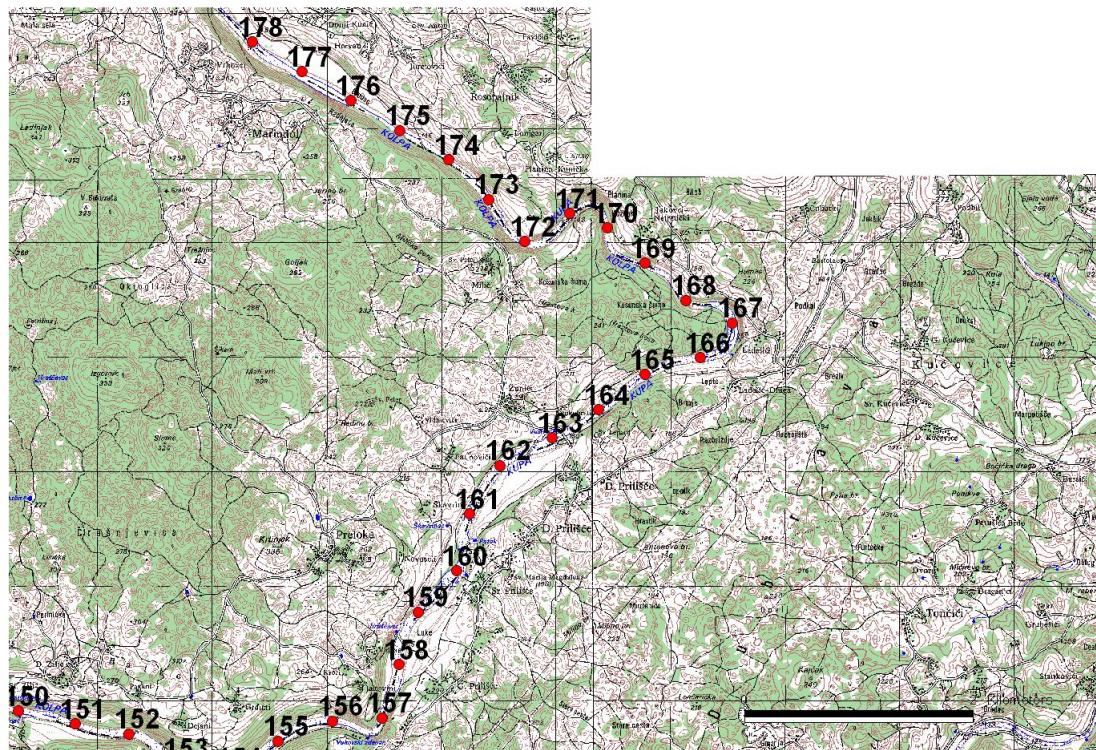
Slika 9: Zemljevid izbranega območja reke Kolpe 4/10 z označenimi odseki 82 do 108  
(vir: Interaktivni atlas Slovenije, 1:25.000)



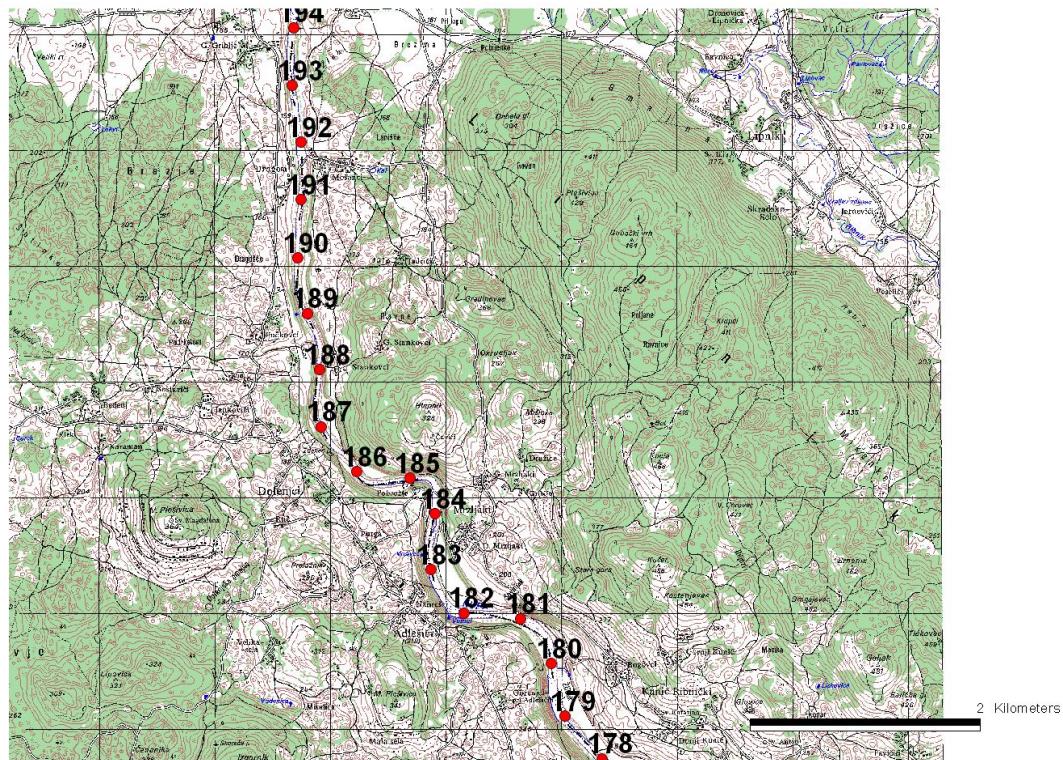
Slika 10: Zemljevid izbranega območja reke Kolpe 5/10 z označenimi odseki 108 do 135  
(vir: interaktivni atlas Slovenije, 1:25.000)



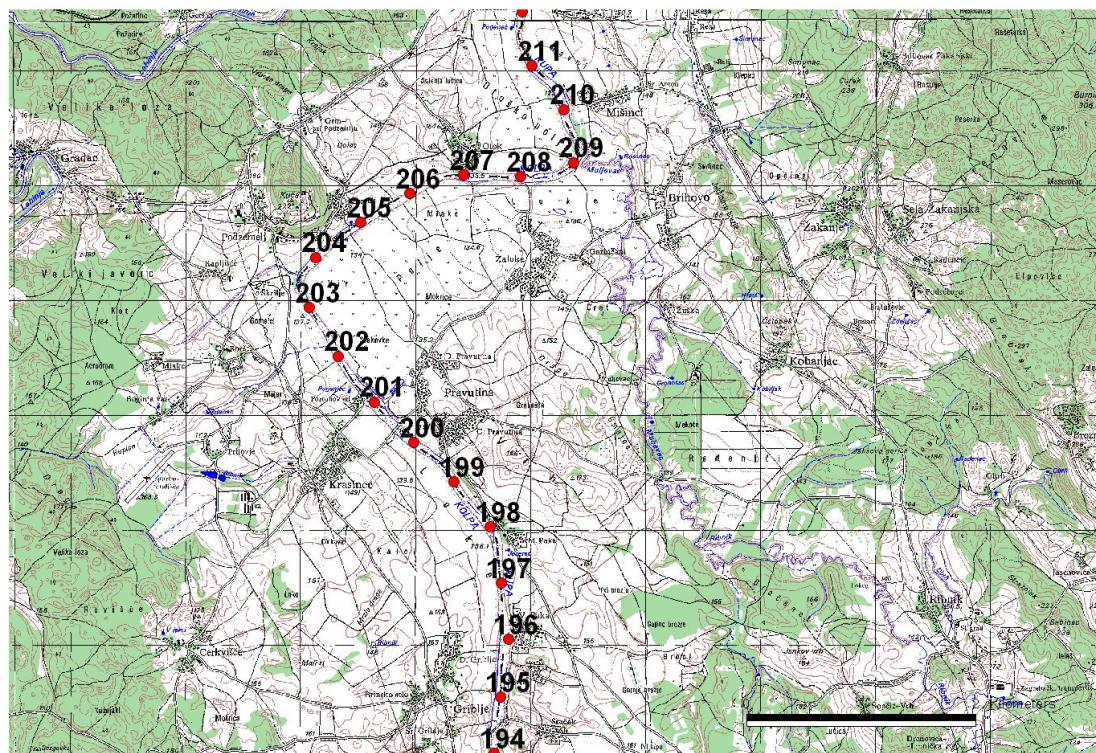
Slika 11: Zemljevid izbranega območja reke Kolpe 6/10 z označenimi odseki 133 do 156  
(vir: Interaktivni atlas Slovenije, 1:25.000)



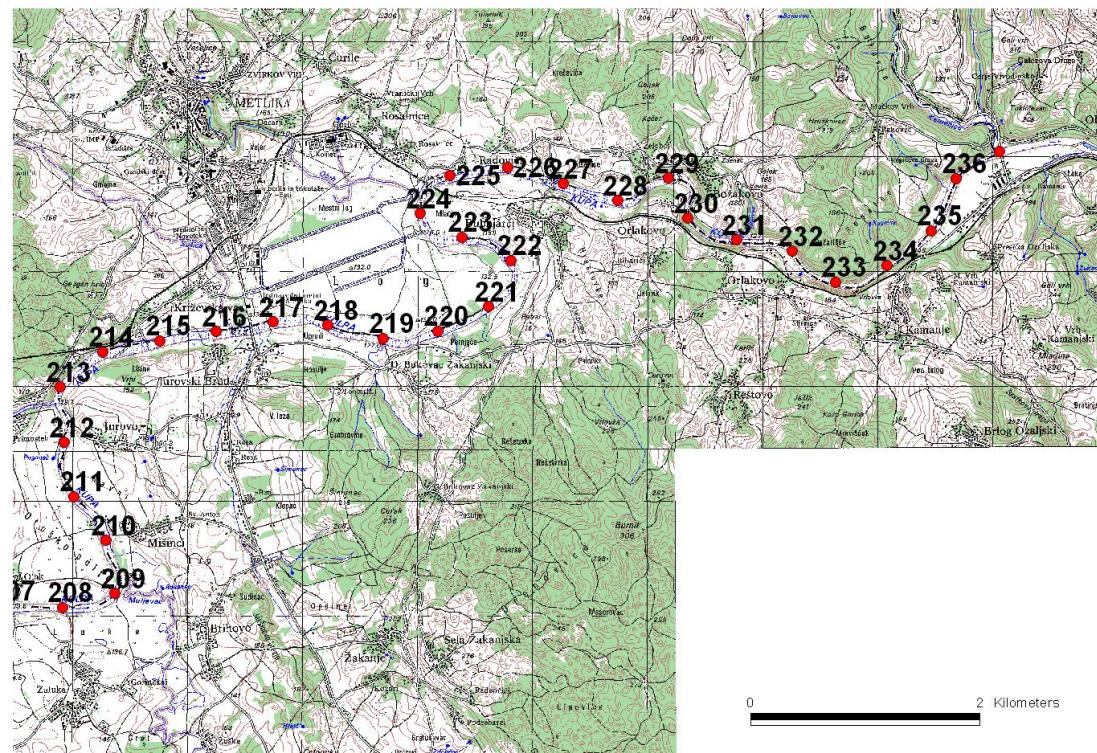
Slika 12: Zemljevid izbranega območja reke Kolpe 7/10 z označenimi odseki 150 do 178  
(vir: Interaktivni atlas Slovenije, 1:25.000)



Slika 13: Zemljevid izbranega območja reke Kolpe 8/10 z označenimi odseki 178 do 193  
(vir: Interaktivni atlas Slovenije, 1:25.000)



Slika 14: Zemljevid izbranega območja reke Kolpe 9/10 z označenimi odseki 194 do 211  
(vir: Interaktivni atlas Slovenije, 1:25.000)



Slika 15: Zemljevid izbranega območja reke Kolpe 10/10 z označenimi odseki 208 do 236  
(vir: Interaktivni atlas Slovenije, 1:25.000)

## 4 MATERIAL IN METODE

### 4.1 MAKROFITI

V višku rastne sezone (julij in avgust 2002) smo vzdolž celotnega toka reke Kolpe, ki teče po slovenskem ozemlju (118 km), popisali pojavljanje in ocenili pogostost makrofitov. Uporabili smo metodologijo ki sta jo opisala Pall in Janauer (1995). Stopnje pogostosti so naslednje: 1 = posamična, 2 = redka, 3 = zmerno prisotna, 4 = pogosta, 5 = prevladujoča vrsta. Vse vrste makrofitov smo določili na terenu. Določevali smo jih s pomočjo naslednjih ključev: Casper in Krausch (1980), Hutchinson (1975), Martinčič in sod. (1999), Preston (1995).

#### 4.1.1 Delo na terenu

Reko smo razdelili na 236 zveznih odsekov, vsak odsek dolžine 500 metrov. Lokacije smo označili s pomočjo GPS aparata (Global Positioning System). Popis prisotnosti in pogostosti makrofitov ter širšo okoljsko oceno vodotoka smo opravili večinoma s čolna. Potapljaško masko in teleskopsko palico za vzorčenje makrofitov smo pri vzorčenju uporabili le na odsekih, kjer je globina vode presegala 2 metra (v spodnjem delu reke Kolpe).



Slika 16: Improviziran čoln, uporabljen pri pregledu odsekov na reki Kolpi

#### 4.1.2 Obdelava podatkov

Podatke o vegetaciji in ekoloških parametrih smo vnesli v MS Excel 2001 tabelo in jih obdelali s pomočjo računalniškega programa, ki ga je, po metodologiji povzeti po Pall in Janauer (1995), priredil Milijan Šiško.

Podobnost med rečnimi odseki glede na razlike v prisotnosti in pogostoti vrst v reki Kolpi smo predstavili v obliki dendrograma. Različnost posameznih rečnih odsekov smo primerjali s pomočjo Bray-Curtisovega indeksa in jo izrazili v podobnostnem drevesu, ki smo ga izrisali s pomočjo metode zaporednega združevanja na osnovi neobteženih srednjih vrednosti skupin.

Ocene prisotnosti in pogostosti makrofitov so nam prikazale razlike v razporeditvi rastlin v celotni dolžini raziskovanega vodotoka. Pogostost makrofitov interpretiramo kot masni indeks (MI), ki je s 'pravo maso' (PM) povezan s funkcijo  $f(x) = x^3$ . Relativno rastlinsko maso (RPM) uporabimo za računanje kvantitativne pomembnosti taksona v rečnem odseku (Pall in Janauer, 1995).

$$RPM_x[\%] = \frac{\sum_{i=1}^n (PM_{xi} * L_i) * 100}{\sum_{j=1}^k \left( \sum_{i=1}^n (PM_{ji} * L_i) \right)} \quad \dots (1)$$

$RPM_x$  = relativna rastlinska masa taksona x

$PM_{xi}$  = rastlinska masa taksona x v rečnem odseku i

$L_i$  = dolžina rečnega odseka i

Ločimo lahko dva vzorca porazdelitve taksonov: 1 - takson kaže relativno homogeno porazdelitev in 2 - takson kaže nezvezzen, gručast vzorec porazdelitve. Povprečni masni indeks (MMI) daje bolj natančno razlago porazdelitve taksonov. Indeks prikazuje pomembnost taksona z dveh različnih zornih kotov:

- MMT - kot povprečni masni indeks v vseh odsekih reke (črna oznaka v grafu),
- MMO - povprečni masni indeks v odsekih, kjer se določen takson pojavlja (bela oznaka v grafu).

$$MMT = \sqrt[3]{\frac{\sum_{i=1}^n MI_i^3 * AL_i}{GL}} \quad \dots (2)$$

$$MMO = \sqrt[3]{\frac{\sum_{i=x}^n MI_i^3 * AL_i}{\sum_{i=x}^n AL_i}} \quad \dots (3)$$

$MI_i$  = masni indeks taksona v odseku i

$AL_i$  = dolžina odseka i v katerem je takson prisoten

GL = celotna dolžina obdelanega vodotoka

Kadar je MMT velik, je določena vrsta prisotna v mnogih odsekih in številčna. Višji kot je MMO glede na MMT, bolj se kaže drugi vzorec porazdelitve in višja je povprečna masa vrste v odseku, kjer se pojavlja. Večja ko je razlika med obema, manjše je število odsekov, v katerih je vrsta prisotna.

Razmerje masnih indeksov podaja vrednost d, ki nam pove, kolikšen je delež dolžine pregledane struge, kjer je bil takson prisoten. Izračunamo jo po naslednji enačbi:

$$d = \frac{MMT^3}{MMO^3} \quad \dots (4)$$

d = 0,5 pomeni, da je bil takson prisoten v polovici dolžine pregledane struge,  
d = 1 pomeni, da je bil takson prisoten v celotni dolžini pregledane struge.

## 4.2 ŠIRŠA OKOLJSKA OCENA STANJA VODOTOKOV (RCE METODA)

Rečne odseke smo ocenjevali tudi na osnovi širšega okoljskega vidika: RCE metoda po Petersenu (1992), ki je osnovana na fizičnih in biotskih značilnostih vodotoka, upoštevaje značilnosti zaledja. Temelji na petnjstih lastnostih, s pomočjo katerih ocenimo vrsto zaledja ter strukturo obrežnega pasu in rečne struge (priloga A1). Razvita je bila za vrednotenje majhnih nižinskih vodotokov, ki tečejo po kmetijsko obdelanih površinah. Delo je potekalo s pomočjo modificirane RCE metode (Germ Jogan, 1997, Urbanič in Toman, 2003).

### Opis metode:

Pri vsaki od lastnosti so na razpolago štiri možnosti, ki so gradient določene lastnosti. Vsaki od možnosti pripada vrednost od 1 do 15 oz. 30 odvisno od teže, ki jo ima določena lastnost za stanje vodotoka in od tega, kako natančno je mogoče določeno lastnost ovrednotiti. Na koncu vse točke seštejemo, najvišje možno število je 340, najnižje 15, na podlagi rezultata odsek uvrstimo v RCE kakovostni razred (preglednica 2).

#### 4.3 HITROST VODNEGA TOKA

Hitrost vodnega toka je ključni dejavnik pri pojavljanju makrofitov, zato smo posebej ocenili hitrost vodnega toka na posameznem odseku reke Kolpe. Štiristopenjska lestvica (MIDCC) obsega naslednje kategorije:

- 1 – brez toka, stoječe
- 2 – počasen tok, komaj viden, do 30 cm/s
- 3 – srednje hiter tok, 35 – 65 cm/s
- 4 – hiter tok, več kot 70 cm/s

#### 4.4 KANONIČNA KORESPONDENČNA ANALIZA (CCA ANALIZA)

Kanonična korespondenčna analiza je unimodalna oblika direktne gradientne metode (Urbanič 2004). S kanonično korespondenčno analizo (programska paket Canoco for Windows Version 4.5) smo ugotavljali povezavo med okoljskimi dejavniki in vrstno sestavo ter pogostostjo makrofitov. Pri kanonični korespondenčni analizi se predpostavlja, da prisotnost in številčnost vrst vzdolž okoljskega gradiента sledi Shelfordovem zakonu tolerance: vsaka vrsta najbolje uspeva pri določeni vrednosti spremenljivke (optimum vrste) in ne more preživeti, če so vrednosti spremenljivke previsoke ali prenizke (Shelford, 1911 in Odum, 1971, cit. po Ter Braak in Verdonschot, 1995). Metoda kombinacijo okoljskih spremenljivk prikaže tako, da so niše vrst maksimalno ločene (Ter Braak in Verdonschot, 1995; Ter Braak, 1987). Rezultati so prikazani z ordinacijskim diagramom, kjer je velikost vpliva določenega dejavnika ponazorjena z dolžino vektorja. Dejavnik najbolj vpliva na takson, ki se nahaja vzdolž vektorja, ki ga ponazarja. Z metodo izbiranja (forward selection) smo izmed spremenljivk okolja izbrali tiste, ki značilno pojasnjujejo variabilnost v pojavljanju makrofitov in so hkrati čim bolj neodvisne. Od vseh izbranih smo v analizo vključili samo statistično značilne ( $P \leq 0,1$ ). Vrednost za statistično značilnost smo določili z Monte-Carlo permutacijskim testom (999 permutacij).

## 5 REZULTATI

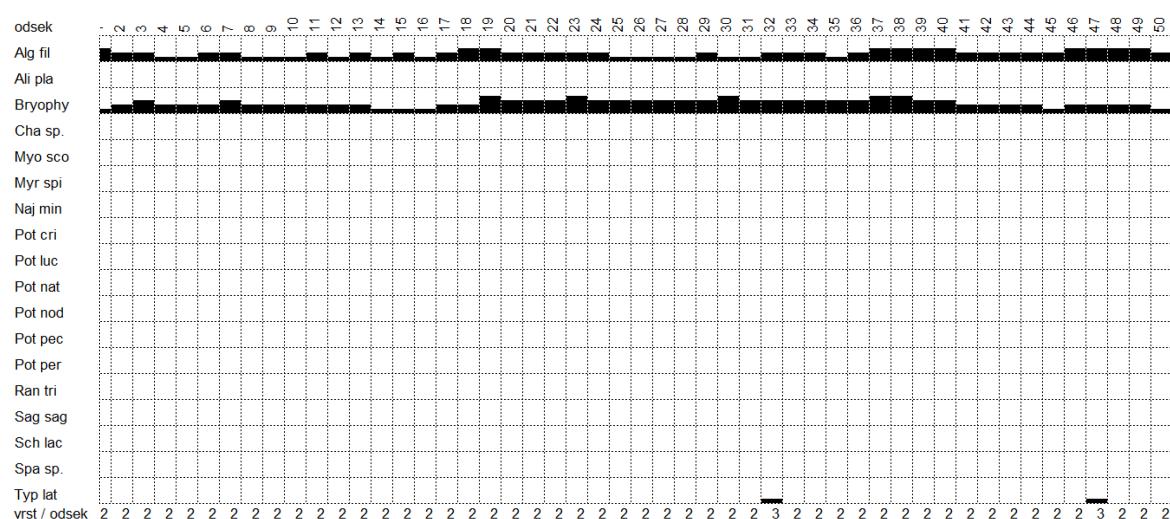
### 5.1 MAKROFITI V REKI KOLPI

#### 5.1.1 Prisotnost in pogostost makrofitov v reki Kolpi

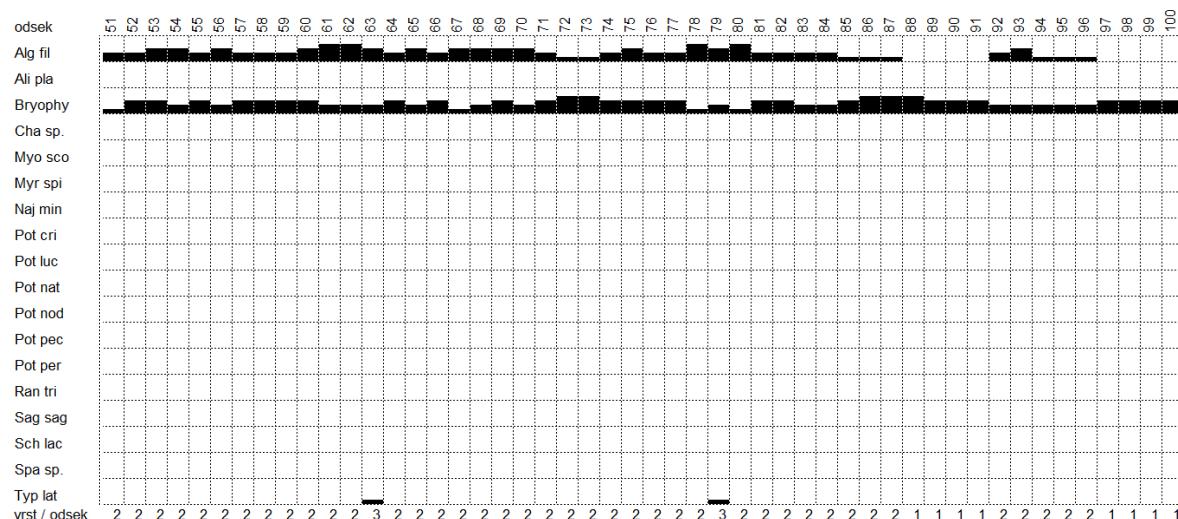
V reki Kolpi smo na dolžini 118 km popisali 18 taksonov makrofitov. Ti so prikazani v preglednici 1.

**Preglednica 1: Seznam taksonov, prisotnih v reki Kolpi ob popisu**

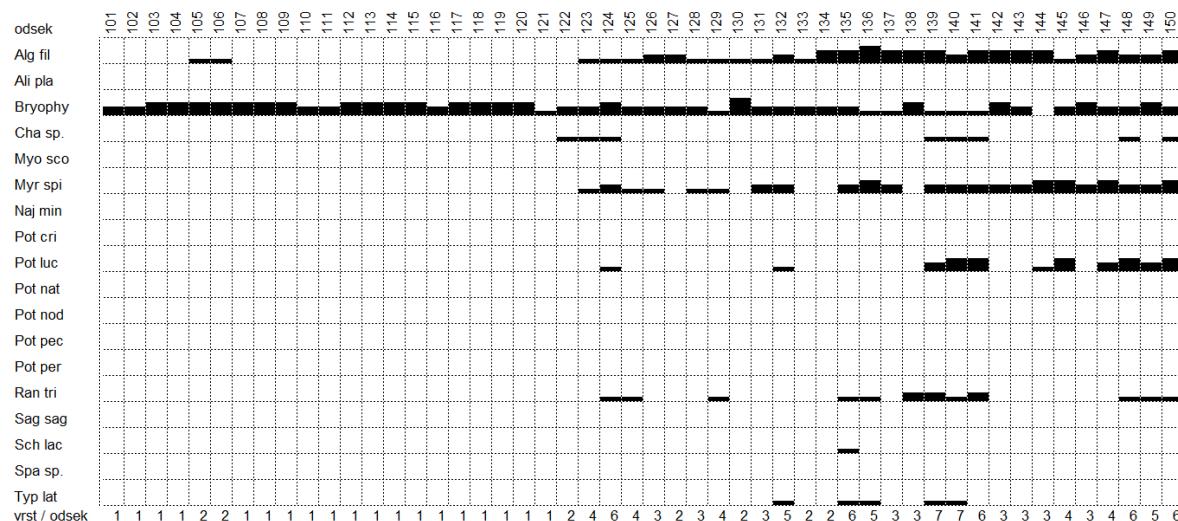
	Latinsko ime taksona	Oznaka	Slovensko ime taksona
1		Alg fil	nitaste alge
2	<i>Alisma plantago-aquatica</i> L.	Ali pla	trpotčasti porečnik
3	<i>Bryophyta</i>	Bryophy	mahovi
4	<i>Chara sp.</i>	Cha sp.	parožnica
5	<i>Myosotis scorpioides</i> L.	Myo sco	močvirška spominčica
6	<i>Myriophyllum spicatum</i> L.	Myr spi	klasasti rmanec
7	<i>Najas minor</i> All.	Naj min	mala podvodnica
8	<i>Potamogeton crispus</i> L.	Pot cri	kodravi dristavec
9	<i>Potamogeton lucens</i> L.	Pot luc	blesčeči dristavec
10	<i>Potamogeton natans</i> L.	Pot nat	plavajoči dristavec
11	<i>Potamogeton nodosus</i> L.	Pot nod	kolenčasti dristavec
12	<i>Potamogeton pectinatus</i> L.	Pot pec	češljasti dristavec
13	<i>Potamogeton perfoliatus</i> L.	Pot per	preraslolistni dristavec
14	<i>Ranunculus trichophyllum</i> Chaix	Ran tri	lasastolistna vodna zlatica
15	<i>Sagittaria sagittifolia</i> L.	Sag sag	navadna streluša
16	<i>Schoenoplectus lacustris</i> (L.) Palla	Sch lac	jezerski biček
17	<i>Sparganium sp.</i>	Spa sp.	ježek
18	<i>Typha latifolia</i> L.	Typ lat	širokolistni rogoz

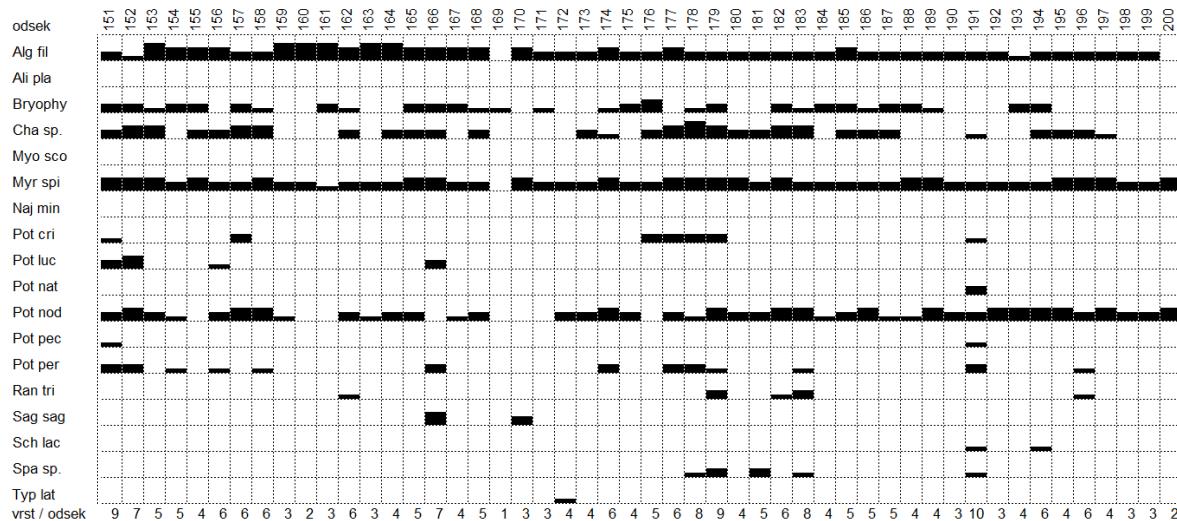
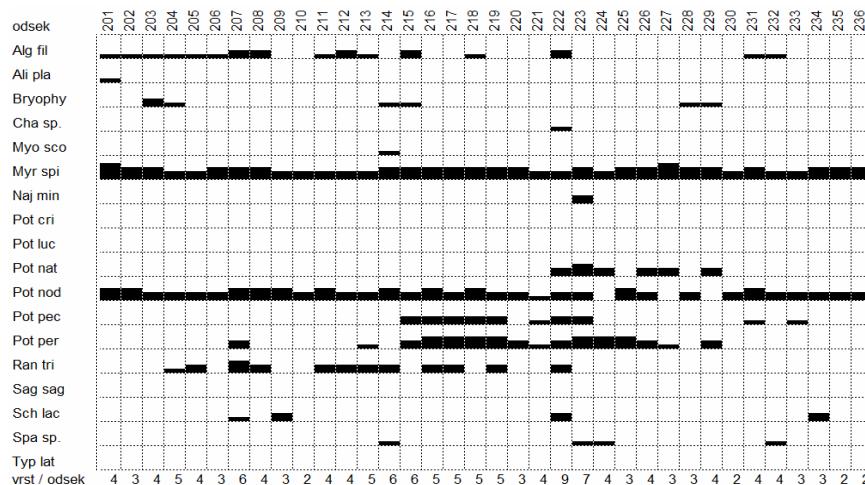


**Slika 17: Razporeditev in pogostost makrofitov v reki Kolpi 1/5 (višina stolpca pomeni zastopanost taksona od 1-5)**



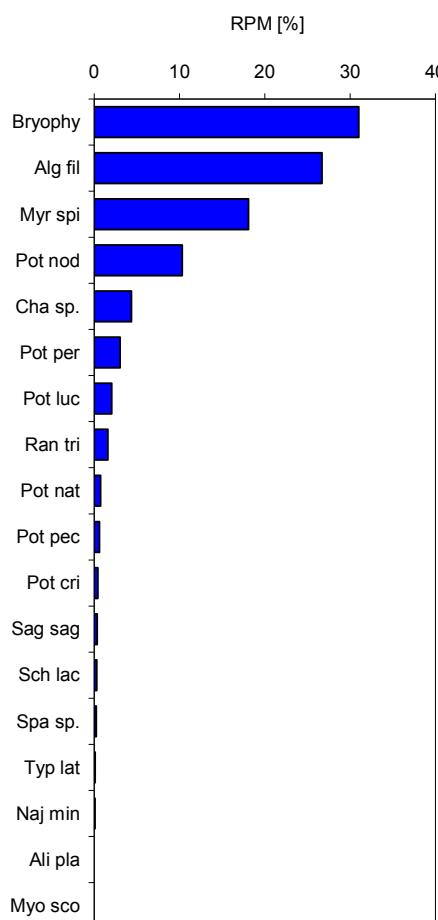
**Slika 18: Razporeditev in pogostost makrofitov v reki Kolpi 2/5 (višina stolpca pomeni zastopanost taksona od 1-5)**



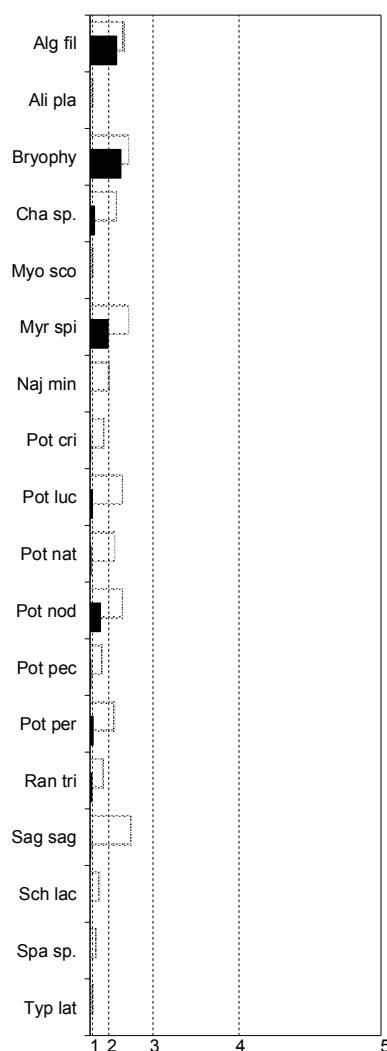
**Slika 19: Razporeditev in pogostost makrofitov v reki Kolpi 3/5 (višina stolpca pomeni zastopanost taksona od 1-5)****Slika 20: Razporeditev in pogostost makrofitov v reki Kolpi 4/5 (višina stolpca pomeni zastopanost taksona od 1-5)****Slika 21: Razporeditev in pogostost makrofitov v reki Kolpi 5/5 (višina stolpca pomeni zastopanost taksona od 1-5)**

Črni stolpci (slika 17 do slika 21) so v sorazmerju z MMT (povprečni masni indeks na osnovi celotnega števila odsekov za vsako vrsto). Beli stolpci (slika 23) pa so narisani na osnovi MMO (povprečni masni indeks izračunan tako, da upoštevamo le odseke, kjer se vrsta pojavlja).

Glede na pojavljanje makrofitov lahko vodotok reke Kolpe razdelimo na zgornji del (odseki od 1 do 122) in na spodnji del (odseki od 123 do 236). Od Osilnice (odsek 1) pa vse do naselja Kot (odsek 122) so v reki Kolpi prisotni le mahovi in alge. Od naselja Kot in vse do mesta, kjer Kolpa zapušča slovensko ozemlje, pa so v strugi prisotne tudi višje rastline.



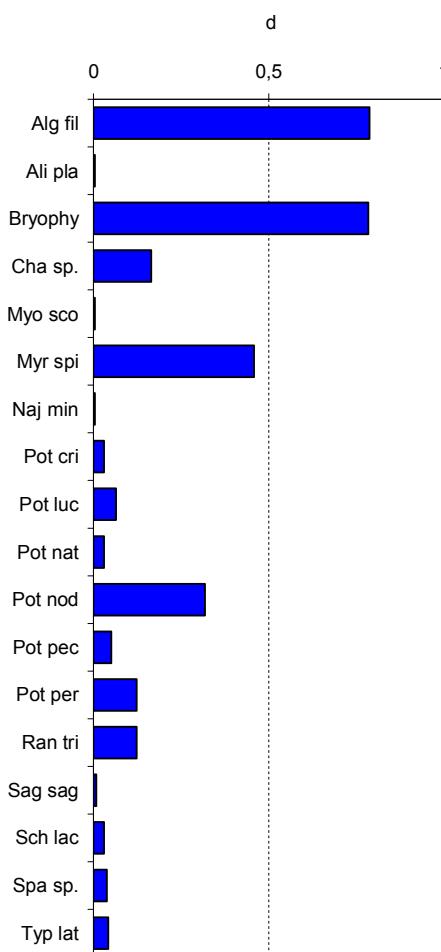
**Slika 22: Relativna rastlinska masa (RPM) makrofitov v reki Kolpi**



**Slika 23: Povprečni masni indeks (MMI) taksonev makrofitov na reki Kolpi; črni stolpci - MMT, beli stolci – MMO**

Najvišjo relativno rastlinsko maso imajo mahovi (31,0 %), sledijo jim nitaste alge (26,7 %), ter vrste *Myriophyllum spicatum* (18,1 %), *Potamogeton nodosus* (10,3 %), parožnica *Chara sp.* (4,4 %) in vrsta *Potamogeton perfoliatus* (3,0 %) (slika 22).

Visok povprečni masni indeks, preračunan samo na odseke, v katerih se vrsta pojavlja (MMO), je značilen za vrste, ki so v odsekih, v katerih so prisotne, pogoste, vendar pa so lahko prisotne le v manjšem številu odsekov. Najvišji relativni masni indeks v odsekih, kjer se takson pojavlja (MMO), ima sicer vrsta *Sagittaria sagittifolia* (slika 23), vendar je



**Slika 24:** Razmerje povprečnih masnih indeksov MMT in MMO v reki Kolpi;  $d = 0,5$  pomeni, da je bil takson prisoten v polovici dolžine pregledane struge,  $d = 1$  pomeni, da je bil takson prisoten v celotni dolžini pregledane struge

le-ta prisotna samo v dveh odsekih in z visoko stopnjo pogostosti (ocena 2 in 3). Sicer imajo najvišji MMO taksoni *Myriophyllum spicatum* mahovi, nitaste alge, *Potamogeton nodosus*, *Potamogeton perfoliatus*, *Chara sp.*. Sledijo jim taksoni, ki pa se redko pojavljajo (*Potamogeton lucens*, *Potamogeton natans*...).

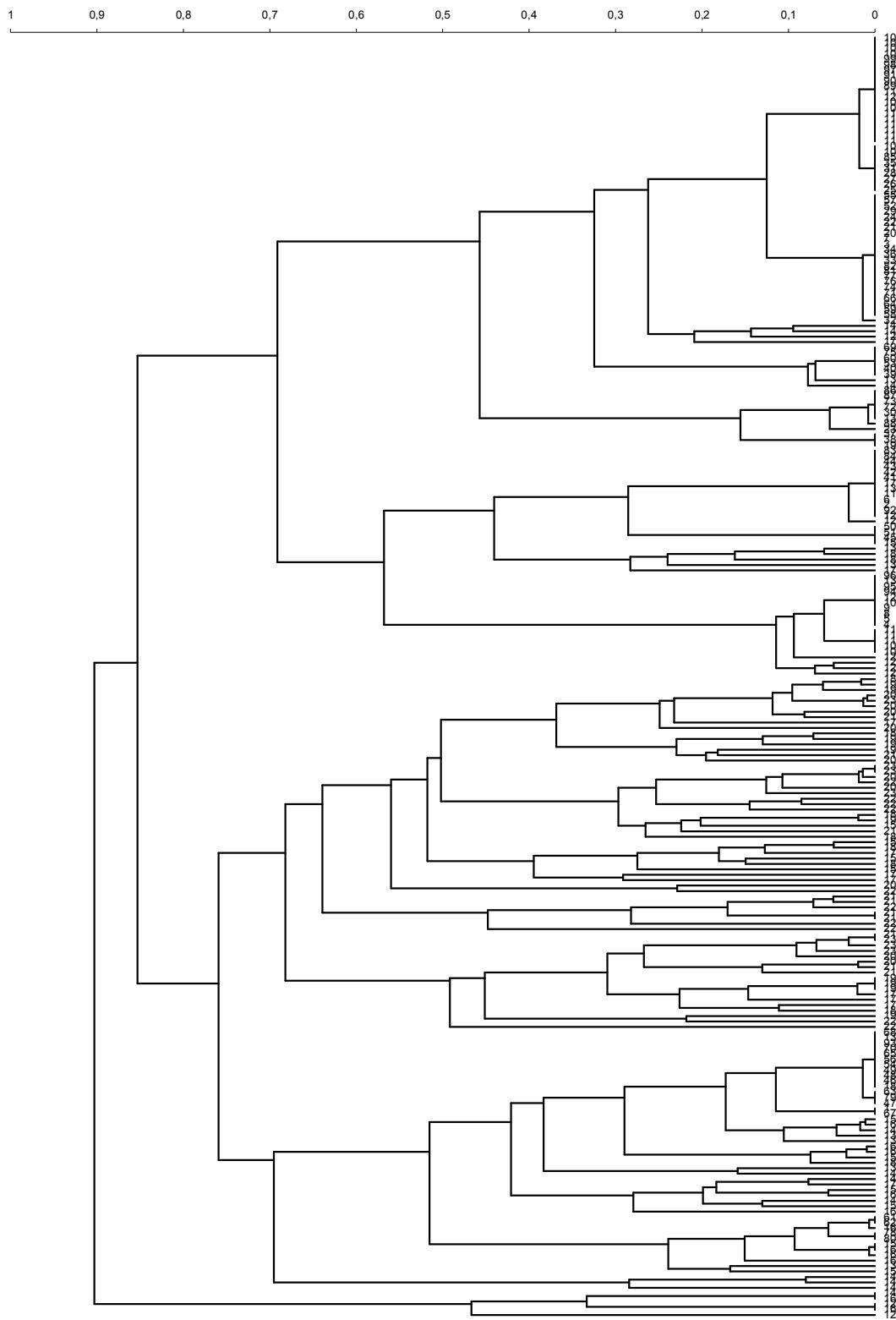
Tako mahovi kot nitaste alge so prisotne v več kot treh četrtinah odsekov ( $d = 0,78$ ), sledijo taksoni *Myriophyllum spicatum* ( $d = 0,46$ ), *Potamogeton nodosus* ( $d = 0,32$ ), *Chara sp.* ( $d = 0,17$ ), *Potamogeton perfoliatus* in *Ranunculus trichophyllus* ( $d = 0,12$ ). Trije taksoni se pojavljajo samo v po enem odseku in še to z majhno pogostostjo: *Alisma plantago-aquatica* (odsek 201), *Myosotis scorpioides* (odsek 214), *Najas minor* (odsek 223). Mahovi se vse do odseka 155 pojavljajo zvezno v vseh odsekih (edino v odseku 144 izostanejo), potem pa se pojavljajo gručasto in sicer na in pod pregradami jezov (kjer je tok hitrejši). Nitaste alge so se v času raziskav pojavljale večinoma bolj gručasto preko celotnega toka reke Kolpe. Odsotne so bile v odsekih 88 do 91, 97 do 104, 107 do 122. Gručasto so se pojavljale na območju

vrsta	MMItot	MMIocc	d		RPM[%]
Alg fil	11,30508	14,34409	0,788	Bryophy	31,01551
Ali pla	0,004237	1	0,004	Alg fil	26,69335
Bryophy	13,13559	16,75676	0,784	Myr spi	18,08904
Cha sp.	1,847458	11,17949	0,165	Pot nod	10,31516
Myo sco	0,004237	1	0,004	Cha sp.	4,362181
Myr spi	7,661017	16,74074	0,458	Pot per	3,021511
Naj min	0,033898	8	0,004	Pot luc	2,061031
Pot cri	0,177966	6	0,03	Ran tri	1,6008
Pot luc	0,872881	13,73333	0,064	Pot nat	0,750375
Pot nat	0,317797	10,71429	0,03	Pot pec	0,610305
Pot nod	4,368644	13,74667	0,318	Pot cri	0,42021
Pot pec	0,258475	5,083333	0,051	Sag sag	0,350175
Pot per	1,279661	10,41379	0,123	Sch lac	0,28014
Ran tri	0,677966	5,517241	0,123	Spa sp.	0,230115
Sag sag	0,148305	17,5	0,008	Typ lat	0,10005
Sch lac	0,118644	4	0,03	Naj min	0,08004
Spa sp.	0,097458	2,555556	0,038	Ali pla	0,010005
Typ lat	0,042373	1	0,042	Myo sco	0,010005

**Slika 25:** Indeksi, ki opredeljujejo pojavljanje makrofitov v reki Kolpi (MMItot = povprečni masni indeks v vseh odsekih reke, MMIocc = povprečni masni indeks v odsekih, kjer se določena vrsta pojavlja , d = razmerje masnih indeksov, RPM = relativna rastlinska masa)

odsekov 200 do 236. Izredno bujna rast nitastih alg je bila prisotna na odsekih 134 do 150 ter na odsekih 153 do 168. Pojavljanje nitastih alg je zelo odvisno od trenutnih vnosov hranilnih snovi v reko in ne odraža stanja v reki skozi daljše časovno obdobje.

### 5.1.2 Primerjava pogostosti in prisotnosti makrofitov med odseki reke Kolpe



**Slika 26:** Dendrogram različnosti med rečniki odseki glede na prisotnost in pogostost makrofitov (na navpičnici je označena zaporedna številka rečnega odseka)

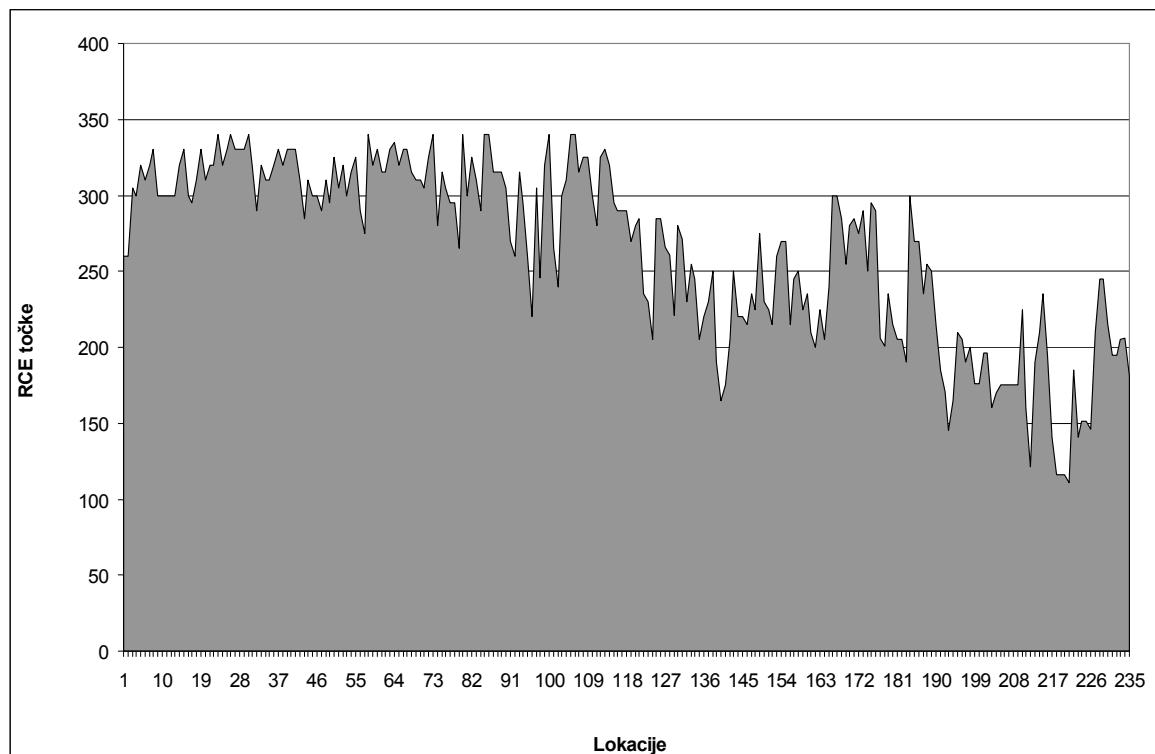
Na podlagi dendrograma različnosti glede na prisotnost in pogostost makrofitov se jasno ločita dve skupini. V prvo skupino so bili uvrščeni odseki zgornjega toka reke Kolpe (odsek 1

do odsek 121), v drugo skupino pa so bili uvrščeni odseki spodnjega toka reke Kolpe (odseki 122 do 236). Razlike med odseki teh dveh skupin so velike, indeks različnosti med skupinama je 0,88. Posamezni odseki so izjema. Razlogi so različni, na primer tvorjenje podskupine na osnovi kriterija pogostosti v odseku. V odsekih 68, 134, 93, 70, 65, 56, 54, 49, 48, 46, 18, 63, 79, 47, 1 in 67 so bile s pogostostjo  $MI = 3$  zelo pogoste nitaste alge. Zaradi tega najdemo te odseke v svojo podskupini. Znano je, da je pojav nitastih alg pogojen s trenutnim pojavom hrani v vodotoku in ne izkazuje stanja skozi daljše obdobje. Drugi primer podskupine, ki kaže veliko različnost od ostalih odsekov tvorijo odseki 14, 16, 121, 129 in 169. Kriterij za uvrstitev taksonov v to podskupino je bil masni indeks (MI) s pogostostjo pojavljanja 1.

## 5.2 ŠIRŠA OKOLJSKA OCENA VODOTOKA

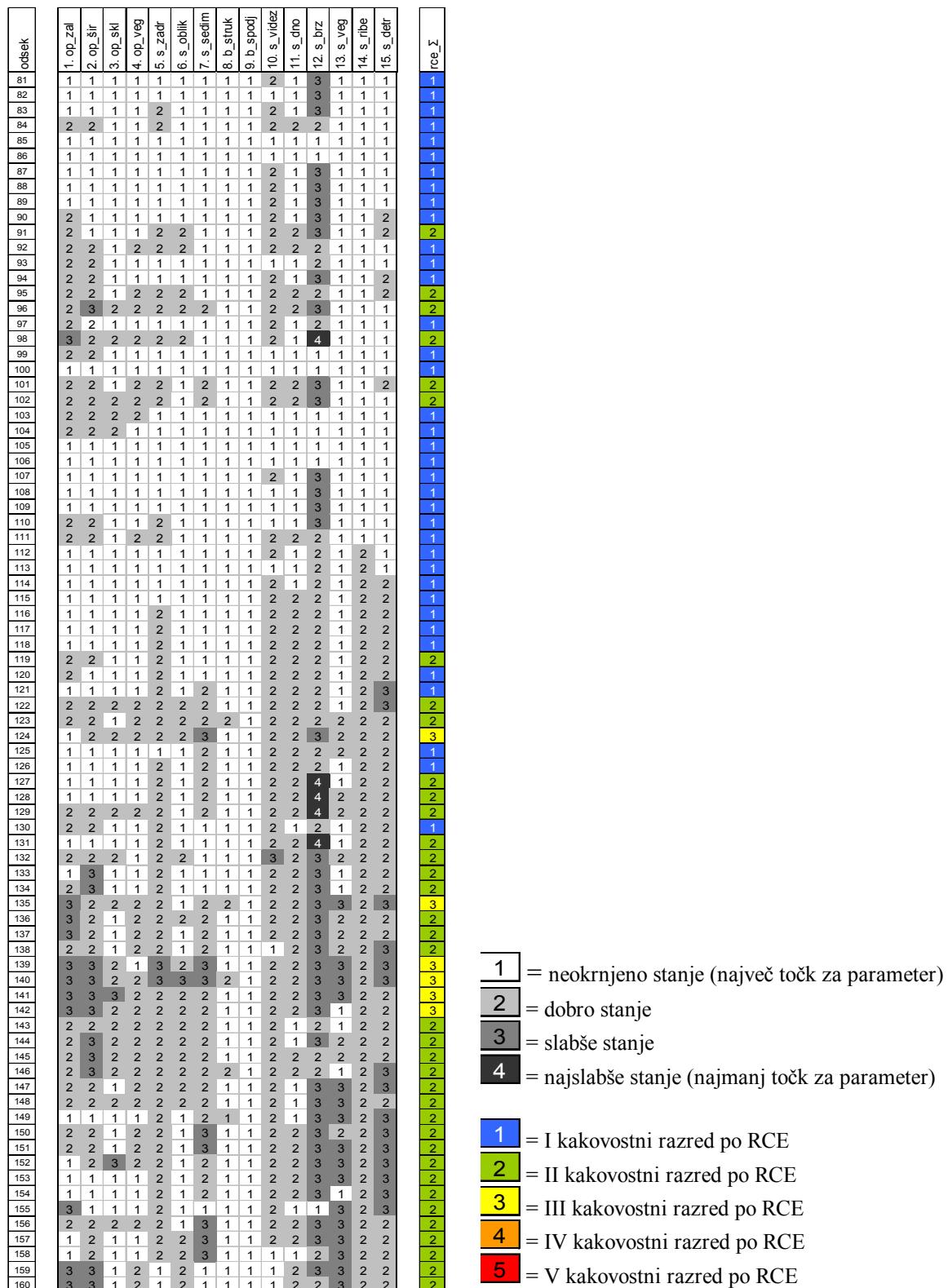
**Preglednica 2: RCE kakovostni razredi**

razred	rezultat	stopnja ohranjenosti	barva	priporočljivi ukrepi
I	276-340	odlična	modra	spremljanje stanja in zaščita ohranjenosti
II	211-275	zelo dobra	zelena	spremljanje spremembe, po potrebi manjši ukrepi
III	145-210	dobra	rumena	potrebni manjši ukrepi
IV	81-144	zadovoljiva	oranžna	potrebni večji ukrepi
V	15-80	nezadostna	rdeča	popolna prenova rečnega koridorja

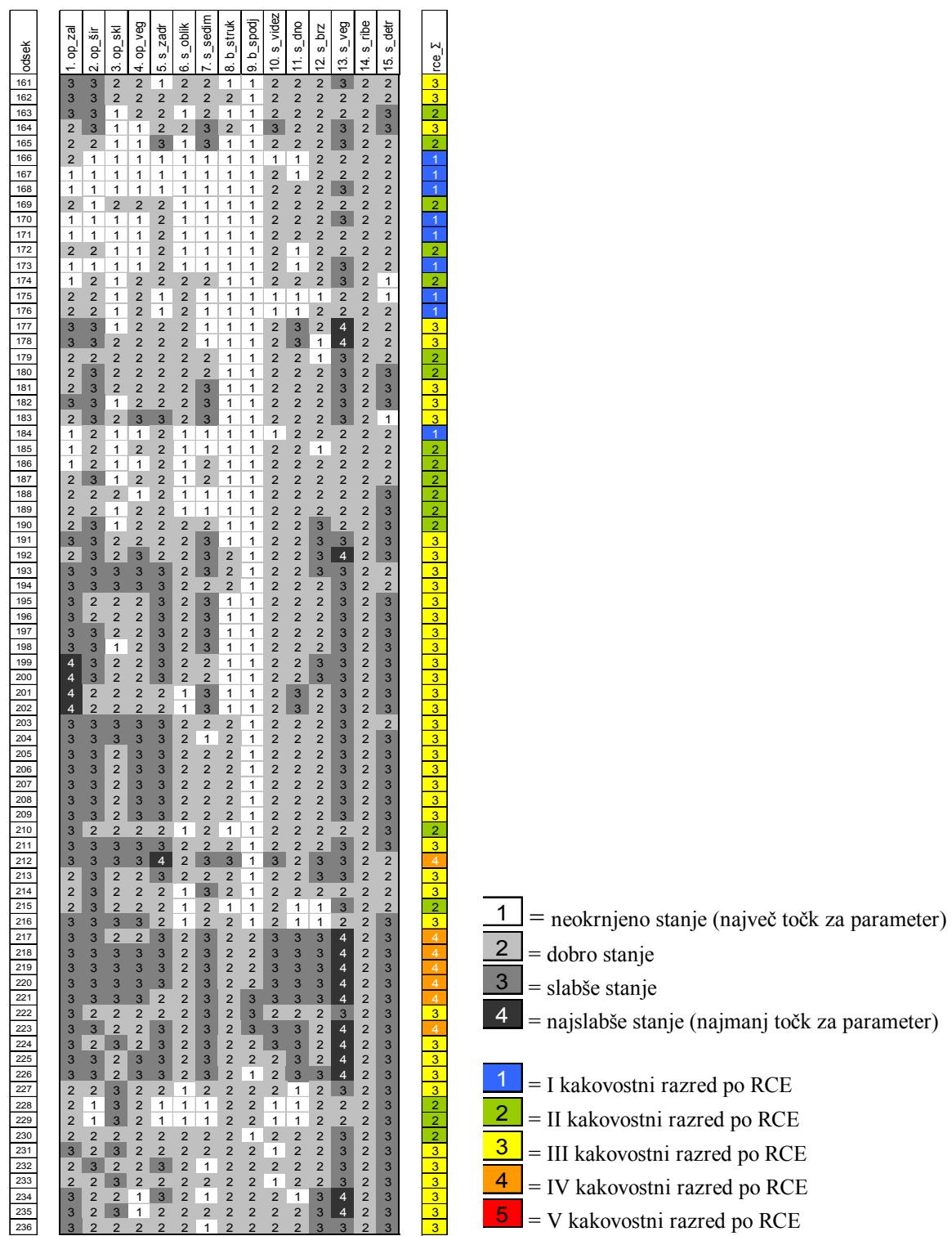


**Slika 27: Skupna ocena okoljskih parametrov po RCE metodi (skupno število točk za posamezne odseke na reki Kolpi)**





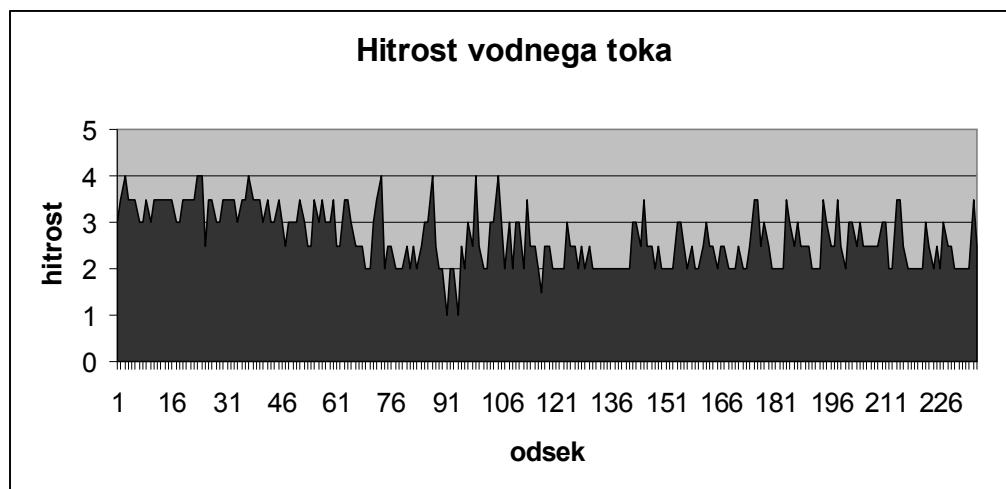
Slika 29: Širša okoljska ocena zgornjega dela reke Kolpe – kakovostno stanje odsekov glede na posamezne ocenjevane lastnosti 2/3



Slika 30: Širša okoljska ocena zgornjega dela reke Kolpe – kakovostno stanje odsekov glede na posamezne ocenjevane lastnosti 3/3

### 5.3 HITROST VODNEGA TOKA

Iz slike 32 je razvidno, da je vse do odseka 70 oziroma kar do odseka 120 tok reke Kolpe zelo hiter (povprečna ocena 3 – 3,5), od odseka 120 dalje pa se tok umiri (povprečne ocene hitrosti 2 - 2,5).



Slika 31: Hitrost vodnega toka v odsekih na reki Kolpi

## 5.4 CCA ANALIZA

S CCA metodo smo ugotavljali katere izmed spremenljivk okolja pojasnjujejo razporeditev in pogostost makrofitov v reki Kolpi. Uporabili smo naslednjih 15 okoljskih spremenljivk: 13 spremenljivk po RCE metodi (spremenljivke ribe in spremenljivke vodne rastline nismo uporabili), 1 spremenljivko skupna ocena po RCE in 1 spremenljivko hitrost vodnega toka.

**Preglednica 3: Lastne vrednosti, kumulativni odstotek pojasnjene variance in korelacijski koeficienti obdelanih podatkov prvih štirih kanoničnih osi matrike taksonov**

KANONIČNA OS	1	2	3	4	skupna variabilnost
lastne vrednosti	0.515	0.168	0.076	0.048	2.702
korelacijski koeficient taksoni – okoljske spremenljivke	0.918	0.762	0.635	0.511	
kumulativni pojasnjeni odstotek variance matrike taksonov	19.0	25.3	28.1	29.9	
kumulativni pojasnjeni odstotek variance relacije takson - okolje	54.4	72.2	80.3	85.3	

Lastna vrednost ordinacijske osi je maksimalna ločenost ekoloških niš taksonov. Najvišjo lastno vrednost in najmočnejšo smer gradiента ima prva os (0,515). S prvo osjo smo statistično značilno pojasnili 19,0 %, z drugo 6,3 % variance taksonov (z obema torej 25,3 %). Skupno smo z vsemi osmi pojasnili 35 % variance taksonov (preglednica 4). S prvo osjo smo statistično pojasnili 54,4 % variance relacije takson – okolje in z drugo 17,8 % variance relacije takson – okolje (skupno z obema 72,2 %).

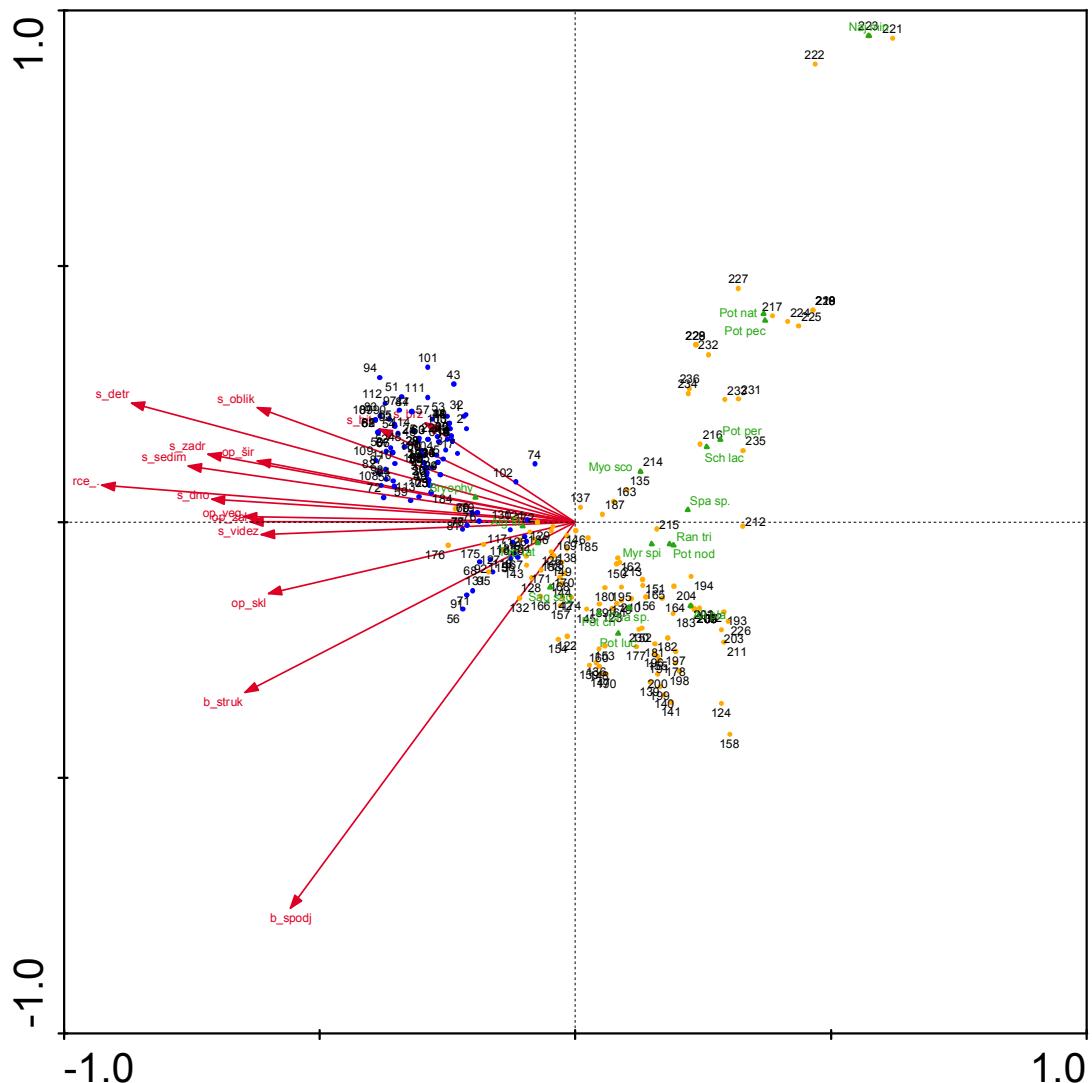
**Preglednica 4: Kumulativni pojasnjeni odstotek variance matrike taksonov – pet najst kanoničnih osi matrike taksonov**

spremenljivka	pojasnjena varianca
rce_.	0,167
b_spodj	0,056
b_struk	0,019
s_detr	0,019
s_brz	0,015
op_zal	0,011
s_oblik	0,011
s_dno	0,007
op_skl	0,007
op_sir	0,007
s_videz	0,007
s_sedim	0,007
op_veg	0,007
s_zadr	0,004
s_hitr	0,007
<b>SKUPAJ</b>	<b>0,352</b>

Legenda: rce\_ = skupna ocena RCE, b\_spodj = spodjedanje rečnega brega, b\_struk = struktura rečnega brega, s\_detr = detrit, s\_brz = brzice in tolmuni ali meandri, op\_zal = uporaba zemljišča v zaledju, s\_oblik = struktura struge, s\_dno = dno vodotoka, op\_skl = sklenjenost obrežnega pasu, op\_sir = širina obrežnega pasu, s\_videz = substrat: občutek in videz, s\_sedim = odlaganje sedimenta, op\_veg = vegetacija obrežnega pasu prvih 10 m od struge, s\_zadr = zadrževalne strukture, s\_hitr = hitrost toka

Skupna okoljska ocena (RCE\_.) je statistično pojasnila kar 17 % variance taksonov. Na drugem mestu je dejavnik spodjedanje rečnega brega (b\_spodj), s katerim smo pojasnili 6 % variance taksonov. Z dejavnikom struktura rečnega brega (b\_struk) in dejavnikom detrit (s\_detr) statistično pojasnimo po 2 % celotne variance taksonov. Z ostalimi okoljskimi dejavniki pa pojasnimo po 1 % skupne variance taksonov.

Iz ordinacijskega diagrama (slika 32 – slika 35) so razvidni dejavniki okolja, velikosti njihovih vplivov ter vpliv dejavnikov na pojavljanje določenega taksona. Zaradi večje preglednosti smo prikazali podatke na ločenih diagramih (slika 33 do 35). Na sliki 33 je prikazana korelacija med okoljskimi dejavniki in makrofitskimi taksoni, na sliki 34 korelacija med okoljskimi dejavniki in posameznimi odseki, na sliki 35 pa so prikazani le odseki vodotoka. Središče diagrama predstavljajo srednje vrednosti merjenih dejavnikov ali pa so taksoni tu ekvivalentni za dejavnike, ki pojasnjujejo razporeditev taksonov vzdolž osi (ki ponazarjajo okoljske dejavnike). Odseki, ki ležijo na diagramu blizu skupaj, so si podobni po vrstni sestavi in po okoljskih dejavnikih (slika 35). Dolžina vektorja nam pokaže vpliv spremenljivke (najdaljši vektor – največji vpliv). Konec vektorja na ordinacijskem diagramu prikazuje najboljše stanje dejavnika. Najslabše stanje dejavnika je v točki, ki je zrcalna slika

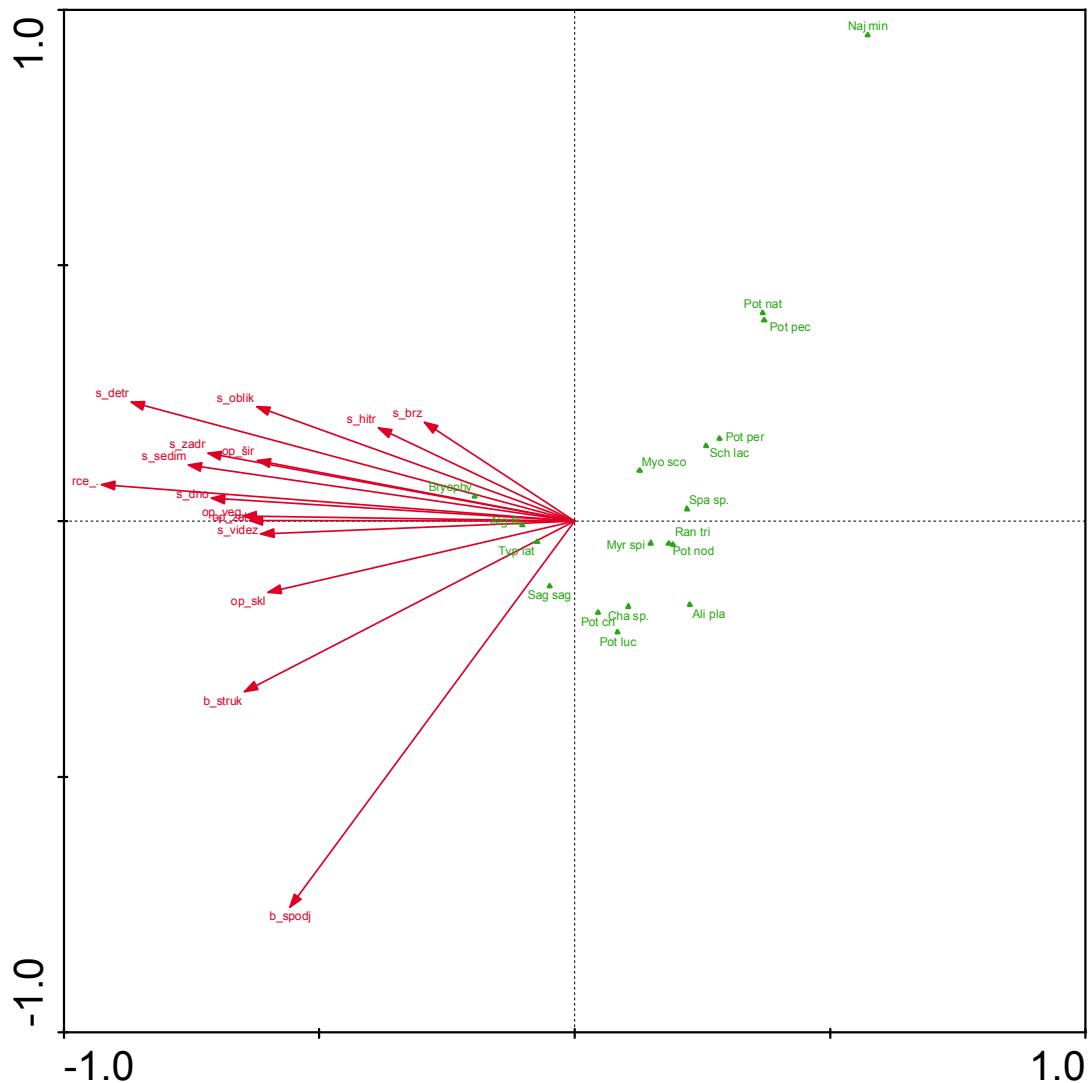


**Slika 32:** Ordinacijski diagram z izbranimi dejavniki okolja, odseki vodotoka in makrofitskimi taksoni.

Legenda: s\_brz = brzice in tolmuni ali meandri, s\_hit = hitrost toka, s\_oblik = struktura struge, s\_detrit = detrit, op\_šir = širina obrežnega pasu, s\_zadr = zadrževalne strukture, s\_sedim = odlaganje sedimenta, rce\_ = skupna ocena RCE, s\_dno = dno vodotoka, op\_veg = vegetacija obrežnega pasu prvih 10 m od struge, op\_zal = uporaba zemljišča v zaledju, s\_videz = substrat: občutek in videz, op\_skl = sklenjenost obrežnega pasu, b\_struk = struktura rečnega brega, b\_spodj = spodjedanje rečnega brega  
Opomba: latinska imena taksonov glej v preglednici 1.

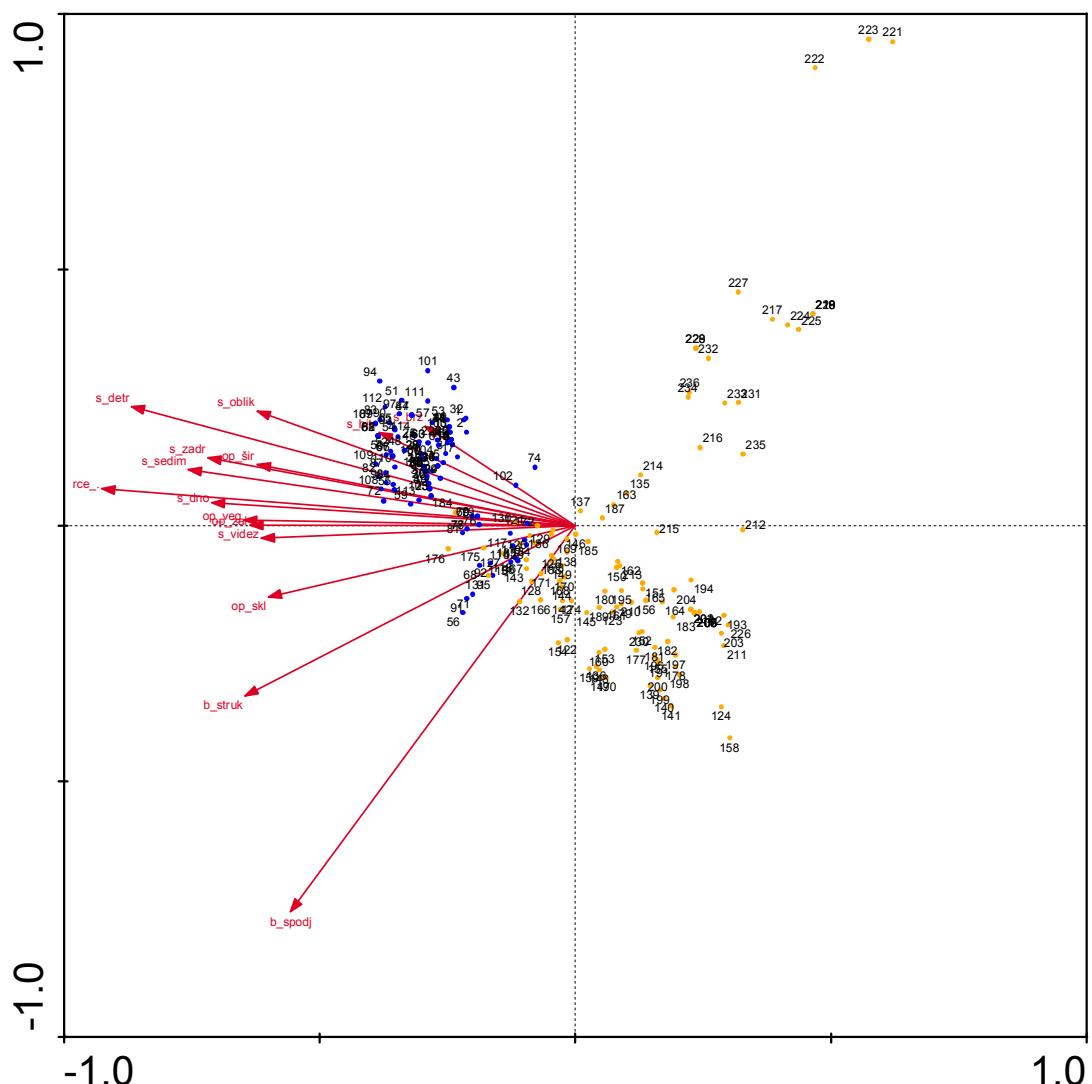
konca vektorja čez središče diagrama. Če je med vektorji, ki prikazujejo okoljske gradiante, oster kot, je korelacija med okoljskimi dejavniki pozitivna, če je kot top, je negativna. V naši raziskavi je bila korelacija med vsemi okoljskimi dejavniki pozitivna.

Okoljski dejavniki, ki najbolj vplivajo na pojavljanje makrofitov v reki Kolpi, so naslednji: skupna ocena RCE (rce\_), spodjedanje rečnega brega (b\_spodj), detrit (s\_detrit) in struktura rečnega brega (b\_struk).



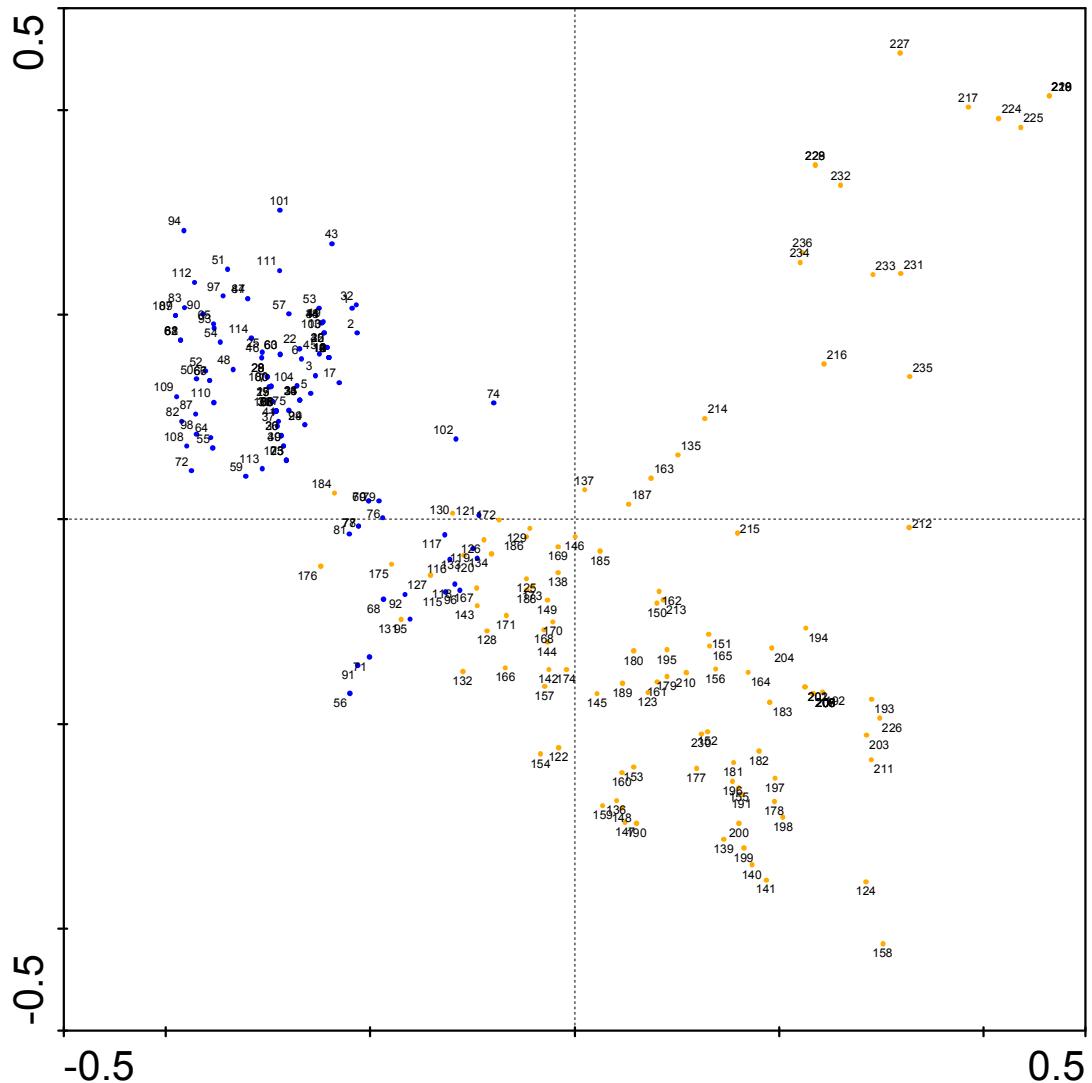
**Slika 33:** Ordinacijski diagram z izbranimi dejavniki okolja in taksoni makrofitov.

Z zeleno barvo označene točke ponazarjajo optimume taksona in ležijo v središču vseh odsekov, v katerih je takson prisoten. Tako so odseki, v katerih se določen takson nahaja, razporejeni okrog določene točke na diagramu. V odsekih, ki so na diagramu določenemu taksonu bliže, je ta takson pogosteji. Taksoni, ki so si na diagramu blizu, se pojavljajo na mestih, kjer so okoljske razmere enake ali podobne.



**Slika 34: Ordinacijski diagram z izbranimi dejavniki okolja in odseki vodotoka**

Mahove in nitaste alge najdemo v najbolj nespremenjenih odsekih na reki Kolpi, zato se na ordinacijskem diagramu točki obeh omenjenih taksona nahajata na levi strani ordinacijskega diagrama. Največ vrst uspeva v zmerno spremenjenih okoljih in na sliki ležijo blizu izhodišča diagrama. To so taksoni *Myosotis scorpioides*, *Sparganium sp.*, *Ranunculus trichophyllum*, *Potamogeton nodosus*, *Myriophyllum spicatum*, *Alisma plantago-aquatica*, *Chara sp.*, *Potamogeton lucens*, *Potamogeton crispus*, *Sagittaria sagittifolia* in *Typha latifolia*. V najbolj spremenjenih okoljih rastejo vrste *Potamogeton natans*, *Potamogeton pectinatus*, *Potamogeton perfoliatus* in *Schoenoplectus lacustris*. To so rastišča, kjer so spodjetanje brega in korenin pogosta, velike so prekinitev v



**Slika 35:** Ordinacijski diagram z odseki vodotoka

sklenjenosti vegetacije, kamni so prekriti z usedlinami, v zaledju se nahajajo obdelovalne površine, pašniki in naselja, vegetacijo sestavljajo trave in grmovje ter redko drevje, dno vodotoka sestavlja mešanica mulja, produ in peska. Odseki, ki imajo te lastnosti in kjer se omenjene vrste pogosteje pojavljajo, se nahajajo v spodnjem delu vodotoka reke Kolpe (216, 217, 224, 225, 227, 228, 229, 231, 232, 234, 235, 236). Ti odseki so si v okoljskih razmerah zelo podobni med seboj.

Vrsta *Najas minor* se ob popisu pojavi le enkrat in sicer v odseku, ki spada v IV. RCE razred. Zato je na ordinacijskem diagramu prikazana daleč stran od vseh ostalih vrst in od izhodišča. Bolj kot ležijo točke, ki ponazarjajo posamezne odseke, narazen na diagramu, večje

so razlike med odseki. Z modrimi točkami smo na diagramu označili odseke zgornjega dela reke Kolpe (odsek 1 do 121). Z rumenimi točkami pa smo označili odseke spodnjega dela reke Kolpe (odsek 122 do 236). Vse modre točke ležijo na levi strani ordinacijskega diagrama, torej v območju manj spremenjenega, bolj naravnega stanja. Pomaknjene so stran od izhodišča v smeri naravnega stanja okoljskih dejavnikov. Ležijo blizu skupaj, kar pomeni, da je med samimi odseki zgornjega dela reke Kolpe majhna variabilnost okoljskih dejavnikov. Odseki spodnjega dela reke Kolpe, označeni s točkami rumene barve, pa ležijo večinoma na desni strani diagrama in okoli izhodišča. Razporejene so po večji površini diagrama, kar pomeni, da je variabilnost okoljskih dejavnikov med odseki spodnjega dela reke Kolpe velika.

## 5.5 MAKROFITI KOT POKAZATELJI STANJA VODOTOKA

S pomočjo taksonov, ki uspevajo v habitatih z določeno količino hranil, smo uvrstili reko Kolpo v določeno kategorijo. V spodnji preglednici so navedeni taksoni, ki se pojavljajo in so pogosteje v vodah z določeno vsebnostjo hranil.

**Preglednica 5: Značilne vrste makrofitov, ki odražajo vsebnost hranil v vodi. Navedene so le vrste, ki so bile ob popisu prisotne v reki Kolpi (po Haslam 1987, str. 6)**

KATEGORIJA	HABITATI	TAKSON
I	revni s hranili	
II	manj revni s hranili	mahovi
III	srednje bogati s hranili	<i>Potamogeton natans</i> <i>Myosotis scorpioides</i> <i>Ranunculus</i> spp.
IV	bogati s hranili	nitaste alge <i>Alisma plantago-aquatica</i> <i>Myriophyllum spicatum</i> <i>Typha latifolia</i>
V	zelo bogati s hranili	<i>Potamogeton crispus</i> <i>Potamogeton pectinatus</i> <i>Sagittaria sagittifolia</i> <i>Schoenoplectus lacustris</i>

Glede na rezultate pojavljanja in razporeditev makrofitov spada zgornji del reke Kolpe v drugo kategorijo, torej kategorijo s hranili manj revnih habitatov. V tem delu reke Kolpe namreč prevladujejo mahovi, ki uvrščajo odseke v drugo kategorijo (preglednica 5). Sicer so bile v času naših raziskav v tem predelu gručasto prisotne tudi nitaste alge, katerih pojavljanje pa je bolj odvisno od trenutnih razmer v vodotoku.

Spodnji del reke Kolpe pa bi lahko večinoma uvrstili v četrto kategorijo glede na pojavljanje značilnih taksonov makrofitov. Tu je namreč prevladujoča vrsta *Myriophyllum spicatum*, poleg te vrste pa se v tem delu reke Kolpe pojavljajo ostale vrste, tudi značilne za četrto kategorijo: nitaste alge, *Alisma plantago-aquatica* in *Typha latifolia*. Vrste, ki so značilne za tretjo (*Potamogeton natans*, *Myosotis scorpioides*, *Ranunculus trichophyllus*) in peto kategorijo (*Potamogeton crispus*, *Potamogeton pectinatus*, *Sagittaria sagittifolia* in *Schoenoplectus lacustris*), v reki Kolpe niso prav pogoste (slika 22).

## 6 DISKUSIJA

### 6.1 RAZŠIRJENOST IN POGOSTOST VRST MAKROFITOV

V reki Kolpi smo popisali skupno 18 taksonov makrofitov. Kolpo lahko jasno razdelimo na dva dela: prvih 61 kilometrov toka reke Kolpe na slovenskem ozemlju poseljujejo samo mahovi in nitaste alge, drugi del toka pa poseljujejo tudi višji taksoni makrofitov. V zgornjem delu reke Kolpe namreč hitrejši vodni tok in grobi substrat onemogočata uspevanje višjim vodnim rastlinam. Hiter vodni tok lahko povzroči mehanske poškodbe rastlin (Fox, 1992; Haslam, 2006), grob substrat pa ne omogoča dobrega ukoreninjenja in je ponavadi reven s hranili (Nichols in Shaw, 1986). Poleg tega je senčenje struge zaradi z gozdom poraščenih bregov v zgornjem delu reke Kolpe veliko, kar tudi onemogoča uspevanje višjim taksonom makrofitov.

Mahovi izkazujejo homogeno pojavljanje v prvi polovici vodotoka (razlika med MMT in MMO je majhna). V spodnjem delu vodotoka je mahov manj (prisotni so tam, kjer je tok hitrejši, to je na pregradah in neposredno za pregradami jezov). Pritrditve na kamnito podlago in kolonizacije hitro tekočih voda so sposobni številni mahovi. Višje rastline se zakoreninijo v finejšem materialu in na takih podlagah izpodrinejo mahove (Madsen in sod., 2001; Abu-Hamdan in sod., 2005). Nitaste alge izkazujejo bolj gručast vzorec pojavljanja, saj je njihovo pojavljanje predvsem odvisno od trenutnih razmer hranil, prisotnih v vodotoku. Ostali taksoni imajo precej višji MMT v primerjavi z MMO in v celotnem toku reke Kolpe na slovenskem ozemlju kažejo na gručast vzorec razporeditve. Vrsti *Myriophyllum spicatum* in *Potamogeton nodosus* tudi izkazujeta homogeni vzorec poselitve, če upoštevamo le Kolpo v drugem delu njenega toka na slovenskem ozemlju. Tu je tudi vrstna pestrost makrofitov večja, najdemo namreč povprečno 5 – 7 taksonov makrofitov v posameznem 500 metrskem odseku, v nekaterih odsekih tudi 10 vrst makrofitov. Tudi sama biomasa makrofitov se povečuje. Z zmanjševanjem hitrosti vodnega toka ter povečevanjem deleža drobnozrnatega, peščenega ali muljastega substrata se povečuje biomasa rastlin (Madsen in sod., 2001; Hoyer in sod., 2004). Senčenje struge je v spodnjem delu reke Kolpe manjše, vnos hranil iz zaledja je verjetno večji. Lesnate rastline, ki bi senčile strugo, so na spremenjenih odsekih odstranjene, tako okrnjen obrežni pas pa tudi manj učinkovito zadržuje hranila, ki se spirajo iz zaledja (Mander in sod., 2005).

V vodotokih Slovenije je glede na delež skupne pregledane dolžine odsekov, v katerih je bila posamezna vrsta prisotna, najbolj razširjena vrsta klasasti rmanec *Myriophyllum spicatum* (Kuhar, 2010). V celotnem pregledanem toku reke Kolpe so v času raziskav prevladovali sicer mahovi in alge, vrsta *Myriophyllum spicatum* pa je bila po relativni rastlinski masi šele na tretjem mestu. Če izračunamo relativno rastlinsko maso le spodnjega dela reke Kolpe (od odseka 123 dalje, kjer se pojavijo višji taksoni makrofitov), pa vidimo, da je vrsta *M. spicatum* na prvem mestu po razširjenosti. Torej reka Kolpa v drugi polovici svojega toka, glede pojavljanja vrste *M. spicatum*, ustreza pojavljanju vrste v slovenskih vodotokih.

Vrsta *Myriophyllum spicatum* je edina, ki se je pojavljala v več kot polovici skupne dolžine pregledanih odsekov izbranih slovenskih vodotokov, njena relativna rastlinska masa je presegala desetino celotne rastlinske mase (Kuhar, 2010). Vrsta *M. spicatum* se je pojavljala v 46 % pregledanih odsekov na reki Kolpi, njena relativna rastlinska masa je znašala 18,1 %, kar je primerljivo s pojavljanjem vrste v slovenskih vodotokih.

## 6.2 ŠIRŠA OKOLJSKA OCENA REKE KOLPE IN MAKROFITI

V zgornjem delu reka Kolpa teče skozi ozko dolino. Tu je le malo postora za kmetijske obdelovalne površine in naselja. Zaledje je poraščeno z gozdom, razen manjših vasi ter ceste ki se približa vodotoku na posameznih mestih, večjih onesnaževalcev v tem predelu ni. Vnos hranilnih snovi je zato majhen, senčenje struge veliko, uspevanje višjih makrofitov je tako onemogočeno. Večina odsekov v tem delu spada v najvišji RCE kakovostni razred. Obrežni pas je pomemben za preprečevanje erozije, zadrževanje vode in predvsem kot blažilni pas, ki zadržuje in čisti vode iz kmetijskih površin. Izbira tal za obrežnim pasom je pomemben pokazatelj stanja vodotoka (Petersen, 1992). Vpliv zaledja je v reki Kolpi viden predvsem v spodnjem delu vodotoka, kjer prevladujejo intenzivno kmetijstvo in večja naselja. Obdelovalne površine tu pogosto segajo do vodotoka, obrežna vegetacija je pogosto odstranjena.

Spremembe vzorca pojavljanja makrofitov v reki Kolpi sovpadajo z večjimi spremembami v rečnem ekosistemu. Raziskava v reki Kolpi potrjuje dejstvo, da lahko na osnovi vrste zaledja, strukture struge in razvitosti obrežnega pasu (podatki pridobljeni s pomočjo RCE metode) sklepamo na razmere, ki vladajo v vodotoku. Naši rezultati so namreč primerljivi z rezultati skupne ocene kakovosti na osnovi fizikalnih in kemijskih ter bioloških analiz na reki Kolpa v

letu 2002 (Vir ARSO: Monitoring kakovosti površinskih vodotokov v Sloveniji v letu 2002). Reka Kolpa je po omenjeni klasifikaciji vse do in vključno z Radencev uvrščena v 1 – 2 kakovostni razred, v Metliki pa v 2 – 3/4\* (\* - meritve PCB) kakovostni razred. V naši raziskavi se Kolpa v zgornjem toku uvršča v 1-2 RCE kakovostni razred, v spodnjem delu pa v 2-3 RCE kakovostni razred, le nekateri odseki pa so uvrščeni v četrti RCE kakovostni razred.

### 6.3 MAKROFITI GLEDE NA HRANILA

Mahovi rastejo počasi, so stalnica v vodotokih in zato izkazujejo dolgoročno stanje v vodotoku. Poleg tega mahovi naseljujejo predele, kjer je v vodi prisotnega dovolj prostega CO<sub>2</sub>. To so navadno območja s hitrejšim tokom. Glede na rezultate pojavljanja in razporeditev makrofitov spada zgornji del reke Kolpe v drugo kategorijo (preglednica 5), torej kategorijo s hranili manj revnih habitatov.

Nitaste alge rastejo hitro in zato izkazujejo kratkoročno koncentracijo hranil v vodi. Zato iz pojavljanja nitastih alg v določenem predelu reke ne moremo sklepati na dolgoročno okoljsko stanje v vodotoku. V času naših raziskav v reki Kolpi so se nitaste alge najbolj množično pojavljale v odsekih 53 – 80 in v odsekih 134 – 168. V odsekih 97 – 122 se niso pojavljale. Vidimo torej, da je vzorec pojavljanja nitastih alg nekonsistenten.

Glede na klasifikacijo Sylvie Haslam (1987) je vrsta *Myriophyllum spicatum* značilna za vode srednje bogate s hranili. V času naših raziskav se je vrsta *M. spicatum* pojavljala zvezno v odsekih spodnjega dela reke Kolpe (odseki 123 – 236, torej skupaj kar v 113 odsekih). Izostala je le v 7 odsekih. Vrsta *M. spicatum* je najpogostejša vrsta med višjimi rastlinami v reki Kolpi. Uspeva v predelih z mirnejšim tokom. Spodnji del reke Kolpe tako lahko uvrstili v četrto kategorijo glede na takson, ki uspevajo v habitatih z določeno količino hranil. Poleg prevladujoče vrste *Myriophyllum spicatum* se v tem delu reke Kolpe pojavljajo tudi ostale vrste, značilne za četrto kategorijo: nitaste alge, *Alisma plantago-aquatica* in *Typha latifolia*.

### 6.4 MAKROFITI GLEDE NA RDEČI SEZNAM OGROŽENIH VRST

V reki Kolpi smo popisali 18 taksonov makrofitov, od katerih je kar 7 taksonov (39 %) uvrščenih na Rdeči seznam praprotnic in semenk Slovenije (Rdeči seznam ... , 2002), in sicer

v kategorijo ranljive vrste. To so vrste *Myriophyllum spicatum*, *Najas minor*, *Potamogeton lucens*, *Potamogeton nodosus*, *Potamogeton perfoliatus*, *Ranunculus trichophyllus* in *Sagittaria sagittifolia*. Če bodo dejavniki ogrožanja delovali še naprej, obstaja verjetnost, da bodo te vrste prešle v kategorijo prizadete vrste. Izjema je vrsta *Myriophyllum spicatum*, ki je v slovenskih vodah tako pogosta, da na omenjeni seznam ne sodi. Visok odstotek ogroženih vrst v reki Kolpi je predvsem posledica majhnega skupnega števila vrst na reki Kolpi in posledica naravnega stanja. Ogrožene vrste makrofitov so pogostejše in pestrejše v nespremenjenih vodotokih (Kuhar 2010).

## 6.5 UPORABNOST ZBRANIH PODATKOV

Makrofiti so zaradi svoje indikatorske vrednosti eden od bioloških elementov, vključenih v sistem klasifikacije ekološkega stanja površinskih voda, ki ga predpisuje Vodna direktiva (Direktiva 2000/60/ES). Za potrebe vrednotenja ekološkega stanja rek v Sloveniji na podlagi makrofitov je bil razvit indeks rečnih makrofitov (RMI) (Germ in sod., 2007). Osnova za razvoj le-tega so bili zbrani podatki o pojavljanju in pogostosti makrofitov na izbranih vzorčnih mestih v različnih vodotokih v Sloveniji (Kuhar, 2010), katerih del je bila tudi raziskava v reki Kolpi. Vrednost indeksa RMI na vzorčnem mestu se izračuna iz pogostosti prisotnih taksonov posamezne ekološke skupine. Višja vrednost indeksa pomeni boljše stanje.

## 7 SKLEPI

- v reki Kolpi smo popisali 18 taksonov makrofitov,
- v prvih 61-ih km prevladujejo mahovi in nitaste alge,
- najpogostejša rastlina (med semenkami) je *Myriophyllum spicatum*,
- okoljska ocena odraža gradient okoljskih razmer vzdolž reke Kolpe. Glede na okoljsko oceno uvrščamo prvih 61 km pretežno v 1. RCE razred, od 61 do 85 km pretežno v 2. RCE razred, zadnji del pa v 3. RCE kakovostni razred,
- glede na prisotnost določenih taksonov v reki Kolpi smo ugotovili, da prvih 61 km vodotoka reke Kolpe spada v kategorijo s hranili manj revnih vodotokov, preostali tok reke Kolpe pa uvrščamo pretežno v kategorijo vodotokov, zmersno spremenjenih in zmersno obremenjenih s hranili..

## 8 POVZETEK

Ugotavljali smo pojavljanje, razporeditev in pogostost makrofitov v reki Kolpi ter povezavo med okoljskimi dejavniki in pojavljanjem makrofitov. Celotni tok reke Kolpe, kjer reka meji na slovensko ozemlje (118 km), smo razdelili na 236 enakomernih odsekov dolžine 500 m ter jih v rastni sezoni 2002 s pomočjo čolna pregledali. Popisali smo makrofitske vrste in ocenili njihovo pogostost. Značilnosti širšega okolja smo ocenili s po Petersenu prirejeno RCE metodo.

V celotnem pregladanem toku reke Kolpe smo določili 18 taksonov makrofitov. Najboljše razmere za uspevanje makrofitov so bile v neosenčenih odsekih s širšo strugo, umirjenim tokom ter drobnim sedimentom. Mahovi in nitaste alge so prevladovali v prvih 61-ih km, semenke so se pojavile na 61 km (123. odsek). V celotnem toku so bili najpogostejši mahovi in nitaste alge, najpogostejša rastlina med semenkami pa je bila *Myriophyllum spicatum*.

Glede na vrste, ki se pojavljajo v vodotokih z določeno vsebnostjo hrani, lahko po Haslamovi (1987) prvih 61 km vodotoka reke Kolpe uvstimo v kategorijo s hranili manj revnih vodotokov, preostali tok reke Kolpe pa uvrščamo pretežno v kategorijo vodotokov, zmerno spremenjenih in zmerno obremenjenih s hranili.

Glede na okoljsko oceno uvrščamo prvih 61 km reke Kolpe pretežno v 1. RCE razred, od 61. – 85. km pretežno v 2. RCE razred, zadnji del pa v 3. RCE kakovostni razred.

Na osnovih naših rezultatov ugotavljamo, da je v zgornjem delu Kolpa blizu naravnemu stanju. Priporočamo spremeljanje stanja, posebno ob morebitnih načrtovanih posegih v prostor. Spodnji del vodotoka kaže spremenjeno stanje zaradi človeškega delovanja v zaledju reke.

**VIRI**

Allan J. D. 1995. Stream Ecology. Structure and function of running waters. Chapman & Hall: 388 str.

Boston H.L., Adams M. S., Madsen J.D. 1989. Photosynthetic strategies and productivity in aquatic systems. Aquatic Botany, 34, 1-3: 27-57

Boulton A.J., Brock M.A. 1999. Australian Freshwater Ecology. Proceses and Management. Adelaide, Gleneagles Publishing: 118 str.

Bowes G., Salvucci M.E. 1989. Plasticity in the photosynthetic carbon metabolism of submerged aquatic macrophytes. Aquatic Botany, 34, 1-3: 233-266

Brinson M.M. 1993. Changes in the functioning of wetlands along environmental gradients. Wetlands, 13, 2: 65-74

Carbiener R., Trémolieres M., Mercier J. L., Ortscheit A. 1990. Aquatic macrophyte communities as bioindicators of eutrophication in calcareous oligosaprobe stream waters (Upper Rhine plain, Alsace). Vegetatio, 86: 71-88

Dall P.C. 1995. Commonly Used Methods for Assessment of Water Quality. Biological Assessment of Organic Pollution in Streams. Tempus S-JEP 4724. University of Ljubljana: 49-71

Dobson M., Frid C. 1998. Ecology of Aquatic Systems. Essex, Longman: 30-55

Fox A.M. 1992. Macrophytes. V:The Rivers Handbook. Hydrological and ecological principles. Volume one. Calow P., Peets G.E. (eds.). Oxford, Blackwell Science: 216-233

Franklin P., Dunbar M., Whitehead P. 2008. Flow controls on lowland river macrophytes: A review. Science of The Total Environment, 400, 1-3: 369 - 378

Gaberščik A. 1997. Makrofiti in kvaliteta voda (Aquatic macrophytes and water quality). Acta biologica Slovenica, 41, 2-3: 141-148

Germ Jogan M., Gaberščik A. 1996. The distribution pattern of macrophytes in the river Ižica. Proceedings of the International Group Meeting IAD-SIL. September 1 - 4, 1996 Bohinj, Slovenia: 29-33

Germ Jogan M. 1997. Makrofiti in kemizem vode v nekaterih slovenskih rekah. Magistrska naloga. Ljubljana, Biotehniška fakulteta: 85 str.

Germ M., Gaberščik A., Urbanc-Berčič O. 1999. Vodni makrofiti v rekah Savi, Kolpi in Krki. Ichthyos. Glasilo za ribištvo Ljubljana, 16: 23-34

Germ M., Gaberščik A., Urbanc-Berčič O. 2000. The Wider environmental assessment of river ecosystems. Acta Biologica Slovenica, 43, 4: 13-19

Germ M. 2002. Močvirška spominčica in lasastolistna vodna zlatica v spremenljivem okolju. V: Jezero, ki izginja. Monografija o Cerkniškem jezeru. Gaberščik A (ur.). Ljubljana, Društvo ekologov Slovenije: 107-115

Germ M., Dolinšek M., Gaberščik A. 2003. Macrophytes of river Ižica – comparison of species composition and abundance in the years 1996 and 2000. Arch. Hydrobiol. Suppl., 147/1-2: 181-193

Haslam S.M. 1987. River plants of Western Europe: The macrophytic vegetation of watercourses of the European Economic Community. Cambridge New York New Rochelle Melbourne Sydney, Cambridge University Press: 512 str.

Hutchinson G.E. 1975. A Treatise on Limnology. Volume III. Limnological Botany. New York London Sydney Toronto, John Wiley & Sons Inc.: 660 s.

Hynes H.B.N. 1970. The Ecology of Running Waters. Liverpool, Liverpool University press: 78-94.

Hynes H.B.N. 1971. The Biology of Polluted Waters. Liverpool, Liverpool University press: 202 str.

Interaktivni atlas Slovenije, Slovenija na zemljevidih, slikah, v besedi. 1998. Ljubljana, Založba Mladinska knjiga in Geodetski zavod Slovenije.

Janković M.M. 1979. Fitoekologija sa osnovama fitocenologije i pregledom tipova vegetacije na Zemlji. IV izdanje. Naučna knjiga Beograd: 155-167

Kárpáti V., Pomogyi P. 1979. Accumulation and release of nutrients by aquatic macrophytes. Symp. Biol. Hung., 19: 33-42

Kuhar U., Kržič N., Germ M., Gaberščik A. 2009. Habitat characteristics of threatened macrophyte species in the watercourses of Slovenia. Verh. Internat. Verein. Limnol., 50, 5: 754-756

Martinčič A., Wraber T., Jogan N., Podobnik A., Turk B., Vreš B. 1999. Mala flora Slovenije. Ključ za določanje praprotnic in semenk. Tehniška založba Slovenije: 845 str.

Maberly S.C., Spence D.H.N. 1989. Photosynthesis and photorespiration in freshwater organisms: Amphibious plants. Aquatic Botany, 34, 1-3: 167-286

Madsen J.D. Adams M.S. 1989. The distribution of submerged aquatic macrophyte biomass in a eutrophic stream, Badfish Creek: the effect of environment. Hydrobiologia, 171: 111-119

Madsen T.V., Breinholt M. 1995. Effect of Air Contact on Growth, Inorganic Carbon Sources, and Nitrogen Uptake by an Amphibious Freshwater Macrophyte. Plant Physiol., 107: 149-154

Madsen T.V., Sand-Jensen K. 1991. Photosynthetic carbon assimilation in aquatic macrophytes. Aquatic Botany, 41: 1-3

Madsen J.D., Chambers P.A., James W.F., Koch E.W., Westlake D.F. 2001. The interaction between water movement, sediment dynamics and submersed macrophytes. *Hydrobiologia*, 444: 71-84

Mackay S.J., Arthington A.H., Kennard M.J., Pusey B.J. 2003. Spatial variation in the distribution and abundance of submersed macrophytes in an Australian subtropical river. *Aquatic Botany*, 77: 169 - 186

Mantai K.E., Newton M.E. 1982. Root growth in *Myriophyllum*: a specific plant response to nutrient availability. *Aquatic Botany*, 13: 45-55

Martinčič A. 1994. Formativno delovanje ekoloških faktorjev. Navodila za vaje. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo: 3-6

Melik A. 1959. Slovenija, geografski opis. II. Opis slovenskih pokrajin, tretji zvezek, Posavska Slovenija. Ljubljana, Slovenska matica: 471-482

Melzer A. 1985. Makrophytische Wasserpflanzen als Bioindikatoren. *Naturwissenschaften*, 72: 456-460

Nichols S.A., Shaw B.H. 1986. Ecological life histories of the three aquatic nuisance plants, *Myriophyllum spicatum*, *Potamogeton crispus*, and *Elodea canadensis*. *Hydrobiologia*, 131: 3-21

Pall K., Janauer G.A. 1995. Die Makrophytenvegetation von Flussstauen am Beispiel der Donau zwischen Fluss-km 2552,0 und 2511,8 in der Bundesrepublik Deutschland. *Arch. Hydrobiol., Suppl. 101, Large Rivers 9, 2*: 91-109

Petersen R.C. 1992. The RCE: a Riparian, Channel, and Environmental Inventory for small streams in the agricultural landscape. *Freshwater Biology*, 27: 295-306

Petts G.E. 1994. Rivers: Dynamic Components of Catchment Ecosystems. V: The River Handbook. Hydrological and ecological principles. Volume two. Calow P., Peets G.E. (eds.). Oxford, Blackwell Science Publications: 3-22

Pip E. 1989. Water temperature and freshwater macrophyte distribution. *Aquatic Botany*, 34: 367-373

Plut D. 1988. Belokrangske vode. Poljudno-znanstvena knjižna zbirka: 198 str.

Povž M., Šumer S., Budihna N. 1998. Ribe in raki Pokolpja. Ljubljana, Založba i2: 95 str.

Preston C.D. 1995. Ponweeds of Great Britain and Ireland. Botanical Society of the British Isles. London: 352 str.

Rdeči seznam praprotnic in semenk (Pteridophyta & Spermatophyta). 2002. Uradni list Republike Slovenije, 82: 8895-8910

RSPB, NRA, RSNC. 1994, 2001. The New Rivers and Wildlife Handbook. Ward D., Holmes N., Jose P. (eds.). The Royal Society for the Protection of Birds, The Lodge, Sandy, Bedfordshire: 426 str.

Stanners D, Bourdeau, P. 1995. European Environment Agency. Europe's Environment. The Dobriš Assesment, 73-109

Sweeting R.A. 1994. River pollution. V: The River Handbook. Hidrological and ecological principles. Volume two. Calow P., Petts G.E. (ed.). Oxford, Blackwell Science: 23-32

Toman J.M. 1995. Pollution in streams - general aspects and history of biological assessment. Biological Assessment of Organic Pollution in Streams. Tempus S-JEP 4724. University of Ljubljana: 1-10

Urbanič G. 2004. Ekologija in razširjenost mladoletnic (*Insecta: Trichoptera*) v nekaterih vodotokih v Sloveniji. Dokt. Disertacija. Ljubljana, Univ v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, oddelek za biologijo: 28

Urbanič G., Toman M.J. 2003. Varstvo celinskih voda. Ljubljana, Študentska založba: 95 str.

Van der Plutten W.H., Peters B.A.M., Van der Berg M.S. 1997. Effects of litter on substrate conditions and growth of emergent macrophytes. *New Phytol.*, 135: 527-537

Van Duin E.H.S., Bloom G., Los F.J., Maffione R., Zimmerman R., Cerco C.F., Dortch M., Best E.P.H. 2001. Modeling underwater light climate in relation to sedimentation, resuspension, water quality and autotrophic growth. *Hydrobiologia*, 444, 1-3: 25-42

Westlake D. F., Whitton A. D. 1975. River Ecology. Blackwell Scientific publications. Oxford London Edinburgf Melburne: 106-129

Wetzel R.G. 1990. Land-water interfaces. Metabolic and limnological regulations. Verh. Intenat. Verein. Limnol., 24: 6-24

Wetzel R.G. 2001. Limnology. Lake and River Ecosystems. Third Edition. San Diego, Academic Press: 1006 str.

## ZAHVALA

Mentorici prof. dr. Alenki Gaberščik se zahvaljujem za neusahljivi vir optimizma, za vse vzpodbude in koristne nasvete pri pripravi diplomskega dela.

Za recenzijo in popravke naloge se zahvaljujem prof. dr Mihaelu J. Tomanu in doc. dr. Jasni Dolenc – Koce.

Velika hvala Urški, za pripravljenost pomagati v vsakem trenutku, za neverjetno voljo pri zahtevni statistični obdelavi podatkov in pri interpretaciji rezultatov.

Hvala Draganu, ki je bil vedno na voljo za dajanje praktičnih napotkov pri urejanju teksta v MS office urejevalnikih besedil.

Hvala Mateji za pomoč na terenu in dogodivščine, ki brez nje nebi bile mogoče.

Iskrena hvala staršem, da so mi že v rani mladosti na nevsiljiv način omogočili spoznavanje dragocnosti narave. To je najboljša popotnica, ki jo odrasli lahko podarijo otrokom. Brez prebujene ljubezni do narave tudi odločitve za študij biologije nebi bilo.

In posebna hvala Vanji za žarek svetlobe, ki je v meni prebudil dodatno voljo za dokončanje študija biologije v letošnjem letu.

## PRILOGE

### Priloga A

Tabela A1: Širša okolska ocena na osnovi petnajstih lastnosti – obrazec RCE

Povodje:	Ime potoka:	Lokacija:	
Ime vpisovalca:	Datum:	Čas:	
Širina potoka: (m)	Globina potoka: (m)	Dolžina pregledanega dela: (m)	
<b>1. Uporaba zemljišča v zaledju</b>			
Nemoteno, porastlo z gozdom, naravna obrežna vegetacija, močvirje in/ali vlažna zemlja	30		
Stalni pašniki, lahko gozd ali močvirje, malo obdelovalnih površin, lahko posamezne hiše	20		
Obdelovalne površine in pašniki, naselje	10		
Prevladujejo obdelovalne površine ali strnjeno urbano naselje, tovarna tik ob vodotoku	1		
<b>2. Širina obrežnega pasu</b>			
Močviren ali z gozdom porastel obrežni pas širok več kot 30 m	30		
Močviren ali z gozdom porastel obrežni pas širok od 5 do 30 m	20		
Močviren ali z gozdom porastel obrežni pas širok od 1 do 5 m	5		
Obrežni pas manjka	1		
<b>3. Sklenjenost obrežnega pasu</b>			
Obrežni pas brez prekinitev v vegetaciji	30		
Prekinitev se pojavljajo v intervalih večjih od 50 m	20		
Prekinitev pogoste - vsakih 50 m	5		
Močno moten s prekinitvami po vsej dolžini struge	1		
<b>4. Vegetacija obrežnega pasu prvih 10 m od struge</b>			
Več kot 90% poraščenost z drevesi oz. grmovjem ali močvirskimi rastlinami	25		
Zelnate rastline vzdolž struge in za njimi drevesne vrste	15		
Vegetacijo sestavljajo trave, drevesa in grmovje	5		
Vegetacijo sestavljajo trave ter redko grmovje	1		
<b>5. Zadrževalne strukture</b>			
Struga s skalami in starimi debli, trdo zasidranimi v dno	15		
Skale in debla prisotna, na hrbitni strani usedline že opazne	10		
Zadrževalne strukture niso čvrsto pritrjene in se premikajo ob poplavah	5		
Struga z lahko premakljivimi peščenimi usedlinami; malo zadrževalnih struktur	1		
<b>6. Struktura struge</b>			
Struga velika za trenutne in letne visoke vode, razmerje širina/globina manj kot 7	15		
Dovolj velika, voda redko prestopi bregove, Š/G 8 do 15	10		
Komaj prenese trenutne viške, Š/G 15 do 25	5		
Voda večkrat prestopi bregove, Š/G več kot 25 ali pa je potok kanaliziran	1		
<b>7. Odlaganje sedimenta</b>			
Akumulacija sedimenta ne vpliva na povečanje struge	15		
Robati prodniki in malo mulja	10		
Sediment iz skal, peska in mulja	5		
Zaradi akumulacije sedimenta je struga je razdeljena ne rokave ali pa je kanalizirana	1		
<b>8. Struktura rečnega brega</b>			
Breg stabilen, koreninski sistem trav, grmovja in dreves utrujuje kamenje in prst na mestu	25		
Breg manj trden, trave in grmovje ga le rahlo utrujujejo	15		
Breg iz rahle prsti, utrujuje ga redek pas trave in grmovja	5		
Breg nestabilen iz rahle prsti ali peska, ki ga tok z lakkoto spodjeta	1		

## 9. Spodjedanje rečnega brega

Ga ni ali ni očitno, ali pa je omejeno na območja, kjer so korenine dreves	20
Spodjedanje samo na rečnih zavojih ali zožitvah	15
Spodjedanje brega in korenin pogosto	5
Močno spodjedanje vzdolž struge, breg se ruši	1

## 10. Substrat; občutek in videz

Kamni čisti	25
Kamni in malo peska ter mulja z zrnato strukturo	15
Nekaj kamnov in očitna zrnata plast	5
Kamni manj vidni zaradi zrnate plasti	1

## 11. Dno vodotoka

Dno iz nagnetenega kamenja različne velikosti, špranje očitne	25
Kamnito dno lahko premično, malo mulja	15
Dno muljasto, prod in pesek, stabilno	5
Enakomerno sestavljen dno iz rahlo sprijetega peska in mulja, kamnit substrat ni viden	1

## 12. Brzice in tolmuni ali meandri

Razločni, pojavljajo se na 5-7 kratni širini struge	25
Nepravilno razporejeni	20
Dolgi tolmuni ločujejo kratke brzice, meandrov ni	10
Meandrov in brzic/tolmunov ni ali pa je potok kanaliziran	1

## 13. Vodna vegetacija

Lahko kot mahovi in krpe alg	15
Alge prisotne v tolmunih, nekaj mahov in višjih vodnih rastlin	10
Prisotne zaplate alg, različne vrste višjih vodnih rastlin, malo mahov	5
Preproge alg prekrivajo dno, više vodne rastline številčne, vendar vrstno revne	1

## 14. Ribe

Ribe hitro tekočih vod, salmonidni ter salmonidno ciprinidni del	20
Ribe hitro tekočih vod redke, ciprinidni del	15
Ni rib, ki živijo v hitro tekčih vodah, lahko ribe stoječih voda v tolmunih	10
Rib ni ali pa so redke	1

## 15. Detrit

V glavnem sestavljen iz listov in lesa, brez usedlin	25
Malo ostankov lesa, kosmičast organski material in nekaj usedlin	10
Grob in droben organski material z usedlinami	5
Fine, anaerobne usedline, ni grobih organskih ostankov	1

## Priloga B

Tabela B 1: Geografske WGS84 koordinate posameznih odsekov na reki Kolpi (koordinata označuje začetek odseka)

odsek	zemljepisna širina	zemljepisna dolžina	nadmorska višina
1	45,525672	14,700439	288
2	45,5298	14,7027	287
3	45,533902	14,702303	285
4	45,534529	14,708126	283
5	45,534368	14,712441	282
6	45,533948	14,717194	280
7	45,5332	14,7232	275
8	45,530446	14,72762	276
9	45,529225	14,732772	272
10	45,527607	14,73712	269
11	45,5239	14,7394	267
12	45,521	14,7445	265
13	45,5189	14,7492	264
14	45,5158	14,7538	261
15	45,5123	14,7576	259
16	45,5113	14,7616	257
17	45,5125	14,7675	257
18	45,509513	14,767394	254
19	45,506051	14,768893	254
20	45,5075	14,7745	253
21	45,507361	14,780802	251
22	45,50641	14,78691	252
23	45,502499	14,788461	249
24	45,500143	14,789698	247
25	45,503031	14,794064	246
26	45,500627	14,798346	243
27	45,497364	14,800763	241
28	45,494209	14,802693	238
29	45,491108	14,799493	238
30	45,4882	14,803712	235
31	45,484118	14,805735	234
32	45,479897	14,805391	232
33	45,476654	14,808459	230
34	45,473457	14,812856	231
35	45,470097	14,816282	230
36	45,465598	14,815939	229
37	45,461208	14,816797	228
38	45,460233	14,820572	227
39	45,461043	14,826912	226
40	45,460702	14,833306	224

Se nadaljuje.

Nadaljevanje.

odsek	zemljepisna širina	zemljepisna dolžina	nadmorska višina
41	45,461709	14,838904	223
42	45,462311	14,845258	221
43	45,463669	14,851277	222
44	45,465116	14,857284	219
45	45,466554	14,862907	220
46	45,466192	14,869162	218
47	45,469373	14,872966	218
48	45,472418	14,876694	217
49	45,473387	14,882562	217
50	45,475633	14,888173	215
51	45,476485	14,894413	215
52	45,47551	14,90072	215
53	45,476703	14,906743	212
54	45,479945	14,910767	213
55	45,48431	14,911425	211
56	45,488638	14,910779	210
57	45,492366	14,914227	209
58	45,496398	14,914797	208
59	45,500094	14,911734	207
60	45,503273	14,915427	206
61	45,5071	14,9152	205
62	45,5114	14,913	202
63	45,5158	14,9136	203
64	45,5202	14,9146	202
65	45,5227	14,9196	202
66	45,5271	14,9205	201
67	45,5282	14,9268	198
68	45,5289	14,9327	201
69	45,526	14,9375	199
70	45,524	14,943	198
71	45,5207	14,9475	198
72	45,518	14,9528	197
73	45,5148	14,957	196
74	45,5117	14,9618	195
75	45,5101	14,9677	194
76	45,5063	14,9709	192
77	45,5029	14,9751	195
78	45,4996	14,9794	193
79	45,4975	14,9848	195
80	45,4962	14,9907	192

Se nadaljuje.

Nadaljevanje.

odsek	zemljepisna širina	zemljepisna dolžina	nadmorska višina
81	45,4965	14,9971	193
82	45,4972	15,0029	192
83	45,4977	15,0093	191
84	45,4959	15,0148	190
85	45,4926	15,0181	189
86	45,4903	15,0236	187
87	45,4861	15,0255	186
88	45,4863	15,0315	186
89	45,4869	15,0378	186
90	45,4886	15,0438	185
91	45,4921	15,0472	185
92	45,4944	15,0519	184
93	45,492696	15,05714	184
94	45,48861	15,059349	184
95	45,488031	15,065502	184
96	45,487469	15,071603	183
97	45,483723	15,075986	182
98	45,48281	15,081102	181
99	45,482203	15,086704	181
100	45,478102	15,084267	181
101	45,473602	15,084606	178
102	45,469202	15,084318	178
103	45,465978	15,087996	178
104	45,463804	15,0939	178
105	45,463403	15,100204	177
106	45,4614	15,10575	177
107	45,457923	15,109669	175
108	45,454464	15,11337	175
109	45,451498	15,118299	175
110	45,448002	15,122178	175
111	45,445999	15,127696	175
112	45,445307	15,133997	174
113	45,443303	15,139655	174
114	45,439206	15,14183	172
115	45,435404	15,145502	171
116	45,431298	15,146833	170
117	45,428062	15,151374	170
118	45,425428	15,156198	170
119	45,423952	15,162302	168
120	45,422351	15,167907	168

Se nadaljuje.

Nadaljevanje.

odsek	zemljepisna širina	zemljepisna dolžina	nadmorska višina
121	45,422757	15,173761	168
122	45,422297	15,179688	168
123	45,425331	15,184414	167
124	45,42814	15,189254	166
125	45,432703	15,188822	166
126	45,436135	15,192195	165
127	45,434291	15,196675	165
128	45,430156	15,199574	165
129	45,42665	15,202603	164
130	45,425172	15,208706	164
131	45,42561	15,215097	162
132	45,425688	15,2215	162
133	45,427531	15,226849	162
134	45,431892	15,228375	162
135	45,436391	15,22838	162
136	45,440128	15,231809	162
137	45,444027	15,234944	162
138	45,447862	15,238309	161
139	45,45148	15,242173	161
140	45,454666	15,246329	161
141	45,456994	15,251697	161
142	45,459764	15,260468	160
143	45,461829	15,266117	160
144	45,465049	15,270519	160
145	45,46605	15,2767	160
146	45,464309	15,28251	158
147	45,462531	15,288205	158
148	45,460564	15,294013	158
149	45,458866	15,299783	156
150	45,458066	15,306096	156
151	45,457014	15,312381	156
152	45,456223	15,318411	154
153	45,453931	15,323896	154
154	45,453122	15,32976	154
155	45,455627	15,335004	154
156	45,457165	15,3411	153
157	45,45741	15,346612	152
158	45,461597	15,348518	152
159	45,465703	15,350704	151
160	45,46892	15,355047	151

Se nadaljuje.

Nadaljevanje.

odsek	zemljepisna širina	zemljepisna dolžina	nadmorska višina
161	45,473397	15,356495	150
162	45,477174	15,359921	151
163	45,479315	15,36578	149
164	45,481503	15,370988	148
165	45,484258	15,376111	148
166	45,485587	15,382298	148
167	45,488301	15,385937	146
168	45,490073	15,380794	146
169	45,493004	15,376195	147
170	45,495798	15,372004	146
171	45,496946	15,36784	145
172	45,494739	15,362823	146
173	45,498063	15,358814	146
174	45,501182	15,354355	145
175	45,50352	15,348893	146
176	45,505868	15,34343	143
177	45,508179	15,337979	143
178	45,510498	15,332503	142
179	45,513795	15,328401	143
180	45,517902	15,32694	141
181	45,521403	15,32353	142
182	45,521862	15,317222	140
183	45,52522	15,313631	140
184	45,529591	15,314116	140
185	45,532344	15,311289	138
186	45,532891	15,305415	138
187	45,536384	15,301478	138
188	45,540802	15,301361	138
189	45,545179	15,299976	138
190	45,54951	15,298949	138
191	45,554017	15,299395	138
192	45,558498	15,299368	137
193	45,56291	15,298431	135
194	45,567391	15,298583	135
195	45,571789	15,299273	135
196	45,576295	15,300206	135
197	45,580706	15,299423	134
198	45,58511	15,298216	135
199	45,588666	15,294223	133
200	45,591763	15,289767	133

Se nadaljuje.

Nadaljevanje.

odsek	zemljepisna širina	zemljepisna dolžina	nadmorska višina
201	45,594933	15,285335	134
202	45,598542	15,28138	131
203	45,602339	15,278156	132
204	45,606278	15,278906	132
205	45,608992	15,283894	131
206	45,611255	15,289419	131
207	45,612697	15,295401	131
208	45,612545	15,301798	131
209	45,613627	15,307664	131
210	45,617787	15,306661	130
211	45,621234	15,303115	129
212	45,625475	15,302048	129
213	45,62984	15,301699	127
214	45,632545	15,306447	129
215	45,633401	15,312801	128
216	45,634103	15,319102	128
217	45,63485	15,32543	127
218	45,634562	15,33156	126
219	45,633518	15,337723	126
220	45,634076	15,343844	125
221	45,635993	15,349526	125
222	45,639576	15,351998	127
223	45,641419	15,346596	127
224	45,643296	15,341913	127
225	45,646264	15,345267	127
226	45,646883	15,351698	127
227	45,645577	15,357848	127
228	45,644226	15,363933	126
229	45,645981	15,369615	126
230	45,642815	15,371762	126
231	45,641097	15,377202	124
232	45,640203	15,383405	124
233	45,637766	15,388237	124
234	45,639033	15,393967	124
235	45,64176	15,398963	124
236	45,645836	15,401738	124
	45,647933	15,406615	124