

Univerza
v Ljubljani
Fakulteta
*za gradbeništvo
in geodezijo*

*Janova 2
1000 Ljubljana, Slovenija
telefon (01) 47 68 500
faks (01) 42 50 681
fgg@fgg.uni-lj.si*



Univerzitetni program Gradbeništvo,
Hidrotehniška smer

Kandidat:

Peter Batistič

Vrednotenje ekomorfološke kakovosti vodotokov z metodo IFF

Diplomska naloga št.: 2847

Mentor:
prof. dr. Matjaž Mikoš

Somentor:
asist. dr. Aleš Bizjak

Ljubljana, 18. 11. 2005

STRAN ZA POPRAVKE

Stran z napako	Vrstica z napako	Namesto	Naj bo

IZJAVE O PREGLEDU NALOGE

Nalogo so si ogledali učitelji hidrotehnične smeri:

BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK:	504.4:556.53(043.2)
Avtor:	Peter Batistič
Mentor:	izr. prof. dr. Matjaž Mikoš
Somentor:	dr. Aleš Bizjak
Naslov:	Vrednotenje ekomorfološke kakovosti vodotokov z metodo IFF
Obseg in oprema:	103 str., 11 pregl., 40 sl., 16 graf.
Ključne besede:	morfolologija vodotokov, rečni koridor, ekohidrologija, urejanje vodotokov, monitoring, Dragonja, Mestna Gradaščica, Glinščica, Mali graben

Izveček

IFF je ena novejših metod za celovito ocenjevanje rečnih koridorjev. Izvira iz švedske metode RCE-I (Riparian Channel Environmental Inventory), ki jo je leta 1992 izdal R. C. Petersen. Mi smo podrobneje obravnavali italijansko metodo IFF. Cilj diplomskega dela je bil preveriti uporabnost IFF pri analizi eko-morfološkega stanja tekočih voda v Sloveniji. Diplomsko delo je razdeljeno na tri pomembnejše vsebinske sklope. Prvi del je izrazito teoretičen in zajema teorijo ekologije in morfolologije vodotokov, na kateri metoda sloni. V drugem delu je metoda podrobneje predstavljena in razčlenjena. V poglavju Primeri aplikacije najdemo podrobnejši opis aplikacije metode, kratko poročilo o opravljanju tečaja za ekspertne popisovalce in dva praktična primera uporabe, in sicer na Dragonji in na ljubljanskih mestnih vodotokih. V zadnjem delu diplomske naloge skušamo predstaviti prednosti in slabosti metode, ter njeno prilagojenost na specifične karakteristike slovenskega teritorija. Kot priloga je na zgoščenki dodan še prevod priročnika za uporabo metode in datoteka za digitalni zajem podatkov.

BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION

UDC: 504.4:556.53(043.2)
Author: Peter Batistič
Supervisor: prof. dr. Matjaž Mikoš
Co-supervisor: dr. Aleš Bizjak
Title: Assessing Ecomorphological Quality of Watercourses With the IFF Method
Notes: 103 p., 11 tab., 40 fig., 16 graph
Key words: river morphology, river corridor, ecohydrology, river management, monitoring, the Dragonja River, the Mestna Gradaščica River, the Glinščica River, the Mali graben River

Abstract

One of the newest methods for a holistic assessment of a river corridor is IFF. It derives from a Swedish method RCE-I (Riparian Channel Environmental Inventory), that was issued by R.C. Petersen in 1992. In this document we have treated the Italian method IFF in detail. The aim of the diploma was to verify the applicability of the IFF method for analysis of the ecomorphological state of running waters in Slovenia. The diploma is divided in three different parts. The first part is mainly theoretical, and contains ecological and morphological river theories, which form the basis for the method. In the second part the method is fully presented and analysed. The detailed description of the application is found in the chapter "Primeri aplikacije". There is also a report about attending a course for the application of the IFF method, as well as two practical examples of application. In the last part we are trying to present the strong and the weak points of the method and the adaptation of the method to specific characteristics of the Slovenian territory. There is an enclosure on CD, which includes a translation of the handbook for application of the method and a file for data digitalization.

ZAHVALA

Za pomoč pri nastajanju diplomske naloge se iskreno zahvaljujem mentorju,izr. prof. dr. M. Mikošu, in somentorju, dr. A. Bizjaku. Hvala tudi vsem ostalim, ki so mi pomagali pri izdelavi naloge. Posebej bi se rad zahvalil svojim staršem, ki so mi v vseh letih študija stali ob strani in me podpirali.

KAZALO VSEBINE

1	UVOD	1
1.1	Razvoj teorije rečnih koridorjev	1
1.2	Cilji diplome	2
1.3	Vsebina diplome	2
2	OSNOVE EKOLOGIJE IN MORFOLOGIJE VODOTOKOV	4
2.1	Koncept zveznosti vodotoka (RCC)	4
2.2	Energetsko ravnotežje v odprtem sistemu	8
2.3	Kroženje in spiralizacija hranil	12
2.4	Klasifikacija vodotokov	18
2.5	Morfološka raznolikost	19
2.5.1	Prečni prerez struge	19
2.5.2	Gibanje sedimentov v prostoru in času	20
2.5.3	Tlorisne oblike strug	22
2.6	Biotske komponente vodnega ekosistema	26
2.6.1	Makroinvertebrati v lotičnih vodnih elokosistemih	26
2.6.2	Rastlinska komponenta	29
2.6.2.1	Vodno okolje	29
2.6.2.2	Riparijsko okolje	34
2.7	Gozdovi	37
2.8	Ekotoni v rečnih koridorjih	38
3	INDEKS FUNKCIONALNOSTI VODOTOKOV	41
3.1	Uvrščanje indeksa IFF	41
3.2	Cilji	42
3.3	Zgodovinski razvoj	43
3.4	Okvir uporabe	45
3.5	Struktura popisnega lista	46
3.6	Usposobljenost popisovalcev	48
3.7	Predhodne raziskave	48
3.8	Zajemanje podatkov	49
3.9	Stopnje funkcionalnosti in njihov prikaz	51
3.10	Razčlenitev metode	52
4	PRIMERI APLIKACIJE	54
4.1	Splošno o aplikaciji metode	54
4.1.1	Definicija ciljev	54
4.1.2	Predpriprava na teren	55
4.1.3	Pripomočki in oprema na terenu	56
4.1.4	Zajemanje podatkov na terenu	57
4.1.5	Naknadno procesiranje podatkov	59
4.2	Potek tečaja IFF	59
4.2.1	Splošno o tečaju	59
4.2.2	Delo na terenu	61

4.2.3	Prikaz in analiza rezultatov	62
4.3	Primer Dragonja	63
4.3.1	Splošne karakteristike	63
4.3.2	Prikaz in analiza rezultatov	66
4.3.3	Tipski odseki 72	
4.4	Primer Mestna Gradaščica, Mali graben in Glinščica	80
4.4.1	Splošne karakteristike	80
4.4.2	Prikaz in analiza rezultatov	83
4.4.3	Tipski odseki 89	
5	ZAKLJUČKI	97
	VIRI	100
	PRILOGE	

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Razvoj teorije rečnih koridorjev na koncu 20. stoletja	1
Preglednica 2: Razdelitev detrita na tri glavne razrede	6
Preglednica 3: Vplivi hitrosti transporta in presnove na spiralizacijo hranilnih snovi	14
Preglednica 4: Klasifikacija rek v odvisnosti od povprečnega pretoka, prispevne površine in širine struge	18
Preglednica 5: Stopnje funkcionalnosti, pripadajoče ocene in referenčna barva.	51
Preglednica 6: Vednosti IFF in koeficient korelacije	62
Preglednica 7: Mlini in mlinščice na reki Dragonji	65
Preglednica 8: Prikaz rezultatov analize na reki Dragonji	67
Preglednica 9: Prikaz rezultatov analize na Mestni Gradaščici	83
Preglednica 10: Prikaz rezultatov analize na Malem grabnu	85
Preglednica 11: Prikaz rezultatov analize na Glinčici	87

KAZALO GRAFIKONOV

Grafikon 1: Hipotetična distribucija izbranih parametrov po RCC za vodotoke od 1. do 12. stopnje.....	5
Grafikon 2:.....2D prikaz indeksa P/R	9
Grafikon 3: Nelinearnost razredov.....	53
Grafikon 4: Vpliv uteži na končno oceno.....	53
Grafikon 5: Grafični prikaz vrednosti IFF.....	62
Grafikon 6: Hidrogram reke Dragonje za leta 1993, 1994, 1995, 1996 in 1998.....	64
Grafikon 7: Dolžinski procent struge ocenjen z določeno stopnjo funkcionalnosti (Lx).....	69
Grafikon 8: Dolžinski procent struge ocenjen z določeno stopnjo funkcionalnosti (Dx).....	69
Grafikon 9: Dolžina struge z določeno stopnjo funkcionalnosti (Dragonja).....	70
Grafikon 10: Primerjava vrednosti IFF za levi in desni breg (Dragonja).....	71
Grafikon 11: Dolžina struge z določeno stopnjo funkcionalnosti (Mestna Gradaščica).....	84
Grafikon 12: Primerjava vrednosti IFF za levi in desni breg (Mestna Gradaščica).	84
Grafikon 13: Dolžina struge z določeno stopnjo funkcionalnosti (Mali graben).....	86
Grafikon 14: Primerjava vrednosti IFF za levi in desni breg (Mali graben).....	86
Grafikon 15: Dolžina struge z določeno stopnjo funkcionalnosti (Glinščica).....	88
Grafikon 16: Primerjava vrednosti IFF za levi in desni breg (Glinščica).....	88

KAZALO SLIK

Slika 1: Predlagane povezave med velikostjo struge in progresivnimi spremembami v sestavi in funkcionalnosti lotičnih skupnosti	4
Slika 2: Prikaz nekaterih tipičnih odstopanj od teoretičnega stanja v karakteristikah habitatov, od izvira pa do ustja, za nek hipotetičen naravni vodotok	7
Slika 3: Večje spremembe nekaterih ekosistemskih parametrov glede na geomorfološke karakteristike	8
Slika 4: Trodimenzionalni prikaz diagrama pretakanja energije v odprtih ekosistemih	10
Slika 5: Shematski prikaz zaključenega dušikovega in fosforjevega ter odprtega ogljikovega cikla	12
Slika 6: a) Shema ogljikovega cikla, P = fotosinteza, R = dihanje, A = asimilacija b) Poenostavitev sheme A, radij (r), ki ponazarja hitrost kroženja snovi	13
Slika 7: a) Kroženje hranilnih snovi gledano iz take perspektive, ki ne zajema transporta snovi b) Kroženje snovi in dolvodni transport ponazorjen s spiralo	14
Slika 8: Model spiralizacije hranil sestavljen iz dveh delov	16
Slika 9: a) Povezava med stopnjo vodotoka in hidrološkimi karakteristikami na teoretičnem primeru vodotoka 8. stopnje b) Prikaz stopnje vodotoka znotraj nekega povodja	18
Slika 10: Prikaz tipičnega prečnega prereza struge vodotoka z vegetacijo	20
Slika 11: Shema interakcij med različnimi prostorskimi in časovnimi stopnjami znotraj povodja	21
Slika 12: Prikaz kontinuitete v sistemu sedimentov in čas zadrževanja sedimentov v določeni strukturi	22
Slika 13: Tlorisne oblike strug glede na padec struge, stabilnost struge, velikost prevladujoče frakcije plavin in dotok plavin	23
Slika 14: Idealizirana naravna struga	24
Slika 15: Konceptualen model strukture rečnega ekosistema s poudarkom na prehranjevalnih skupinah makroinvertebratov in njihovih virov hranil	27
Slika 16: Teoretičen prerez struge vodotoka s prikazom porazdelitve makrofítov	30
Slika 17: Vzdolžni prerez vodotoka s poplavno ravnico in dolinskim pobočjem	34

Slika 18: Predpogoj za učinkovito delovanje pufterskega pasu	35
Slika 19: Značilni prečni prerez rečnega koridorja z ekotoni	38
Slika 20: Shematski prikaz priprave na terensko delo	55
Slika 21: Shematski prikaz terenskega zajemanja podatkov	58
Slika 22: Delo v skupinah na odseku Sacra - Ponte Arche	61
Slika 23: Mlini na reki Dragonji	66
Slika 24: Reka Dragonja, odsek 30	72
Slika 25: Izpolnjen popisni list za reko Dragonjo, odsek 30	73
Slika 26: Reka Dragonja, odsek 270	74
Slika 27: Izpolnjen popisni list za reko Dragonjo, odsek 270	75
Slika 28: Reka Dragonja, odsek 660	76
Slika 29: Izpolnjen popisni list za reko Dragonjo, odsek 660	77
Slika 30: Reka Dragonja, odsek 800	78
Slika 31: Izpolnjen popisni list za reko Dragonjo, odsek 800	79
Slika 32: Ljubljanski mestni vodotoki	80
Slika 33: Mestna Gradaščica, odsek 60	89
Slika 34: Izpolnjen popisni list za Mestno Gradaščico, odsek 60	90
Slika 35: Mestna Gradaščica, odsek 140	91
Slika 36: Izpolnjen popisni list za Mestno Gradaščico, odsek 140	92
Slika 37: Mali graben, odsek 200	93
Slika 38: Izpolnjen popisni list za Mali graben, odsek 200	94
Slika 39: Glinščica, odsek 120	95
Slika 40: Izpolnjen popisni list za Glinščico, odsek 120	96

KAZALO PRILOG

- Priloga A Popisni list IFF
- Priloga B Potrdilo o opravljanju tečaja za aplikacijo metode IFF
- Priloga C Grafični prikaz stopnje in ocene funkcionalnosti na reki Dragonji
- Priloga D Grafični prikaz stopnje in ocene funkcionalnosti na Ljubljanskih mestnih vodotokih
- Priloga E Zgoščenka
- E1 Diplomsko delo v digitalni obliki
- E2 Prevod priročnika IFF
- E3 Popisni list
- E4 Datoteka za zajemanje podatkov v digitalni obliki
- E5 Dragonja (podatki in slike)
- E6 Ljubljanski mestni vodotoki (podatki in slike)

OKRAJŠAVE

ANPA	Agenzia Nazionale per la Protezione dell’Ambiente
CPOM	Coarse Particulate Organic Matter
D	detrit
DOM	Disolved Organic Metter
E	eksport
FPOM	Fine Particulate Organic Matter
I	import
IFF	Indice di Funzzionalita Flivialle
MZO	minimalni zaznavni odsek
P	primarna produkcija
R	respiracija
RCC	River Continuum Concept
RCE-I	Riparian Channel Environmental Inventory

1 UVOD

1.1 Razvoj teorije rečnih koridorjev

Prve raziskave iz področja teorije rečnih koridorjev je mogoče zaslediti na začetku dvajsetega stoletja. Znanstveniki limnologi so se takrat predvsem ukvarjali s študijami, ki so bile osredotočene na spoznavanje: morfologije, življenjskih ciklov, obnašanja, trofnih zvez med organizmi, ki so naseljevali struge vodotokov. Takratna spoznanja so mnogi raziskovalci skušali strniti v generalizirane in poenostavljene metode, ki so temeljile na opazovanju favne. Raziskave, ki so potekale v petdesetih letih prejšnjega stoletja, so bile predvsem opisne in usmerjene na vodno okolje, medtem ko se je v praksi uveljavil kvantitativni pristop. Od takrat se je način obravnavanja bistveno spremenil iz individualističnega na holističen. (Minshall et al., 1985)

Preglednica 1: Razvoj teorije rečnih koridorjev na koncu 20. stoletja

Področja na katerih je prišlo do intenzivnega razvoja teorije rečnih koridorjev na koncu 20. stoletja
1. prestop iz individualističnega na celovit pogled
2. dojetje pomembnih povezav med strugo vodotoka in njegovo okolico
3. razvoj idej glede ciklizacije materiala v odprtih sistemih
4. spoznanje pomembnosti interakcij, med biotskimi združbami na vodotok

(Povzeto po Minshall et al., 1985)

Eden izmed najpomembnejših preskokov iz individualističnega na celovit pristop predstavlja koncept zveznosti vodotoka RCC (River Continuum Concept). Vannote obravnava vodotok kot zvezen ekosistem od izvira do izliva. Fizikalne karakteristike (širina, globina, hitrost, volumen vode, temperatura,...) vodotoka se zvezno spreminjajo, njim pa sledijo spremembe v organizaciji bioloških struktur. Ustroj in funkcionalnost reke tako ustreza vzorcu disipacije kinetične energije v fizikalnem sistemu. Biotske združbe pa se hitro odzovejo fizikalnim spremembam v strugi. (Vannote et al., 1980)

RCC se je od njegove izvorne oblike še naprej razvijal, testiral in rafiniral. Ta koncept je pomemben tudi zato, ker je vzpodbudil zasnovu novih hipotez na nivoju sistema vodotoka. Te pa so spremenile način obravnavanja vodotoka iz opisnega v napovedovalni.

Hranilne snovi v rečnem sistemu ne krožijo na mestu, ampak se pomikajo dolvodno. To združeno gibanje hranil (kroženje in translacijo) je Webster poimenoval »spiralizacija« (spiralizing). Predlagal pa je tudi povezavo med karakteristikami spiral in sposobnostjo vodotoka, da hranilne snovi porabi. Sedanje znanje na tem področju je v glavnem posledica raziskav na modelih, ki jih je s kolegi zasnoval Newbold v Oak Ridge National Laboratories v osemdesetih letih. Rezultat teh študij je koncept spiralizacije hranil (nutrient spiraling concept). Spoznanja na področju ciklizacije hranil so spremenila videnje rek, ki niso več obravnavana le kot sredstva za transport snovi v morja. Pomembna je tudi njihova vloga pri zadrževanju in presnovi snovi. (Minshall et al., 1985)

1.2 Cilji diplome

Cilj diplomske naloge je preveriti uporabnost italijanske metode IFF (indeks funkcionalnosti vodotokov ali v italijanščini »Indice di Funzionalità Fluviale«) pri analizi eko-morfološkega stanja tekočih voda v Sloveniji.

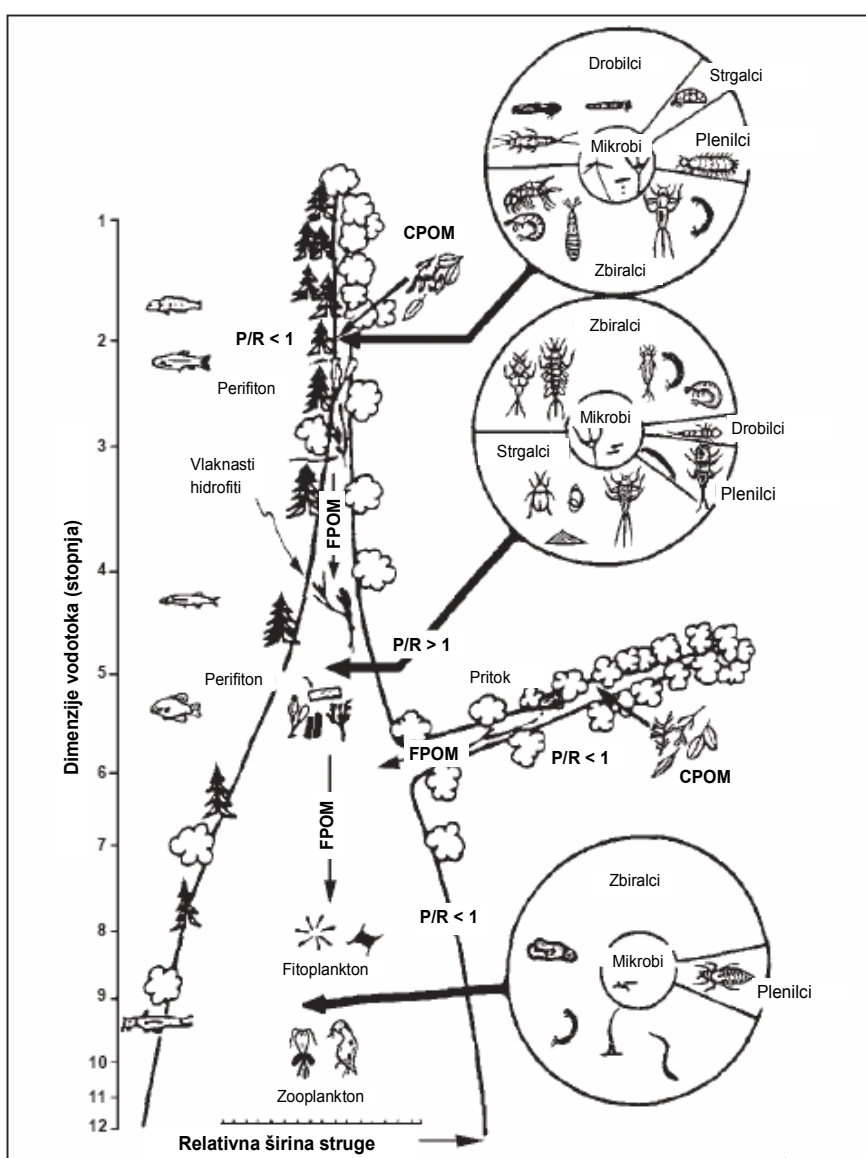
1.3 Vsebina diplome

Diplomsko delo je razdeljeno na tri pomembnejše vsebinske sklope. Prvi del je izrazito teoretičen in zajema teorijo ekologije in morfologije vodotokov, ki je bila osnova za izdelavo metode IFF. V drugem delu je metoda podrobneje predstavljena in razčlenjena. V poglavju Primeri aplikacije najdemo podrobnejši opis aplikacije metode, kratko poročilo o opravljenem tečaju za ekspertne popisovalce in dva praktična primera uporabe in sicer na Dragonji in na

ljubljskih mestnih vodotokih. V zadnjem delu diplomske naloge skušamo predstaviti prednosti in slabosti metode, ter njeno prilagojenost na specifične karakteristike slovenskega teritorija.

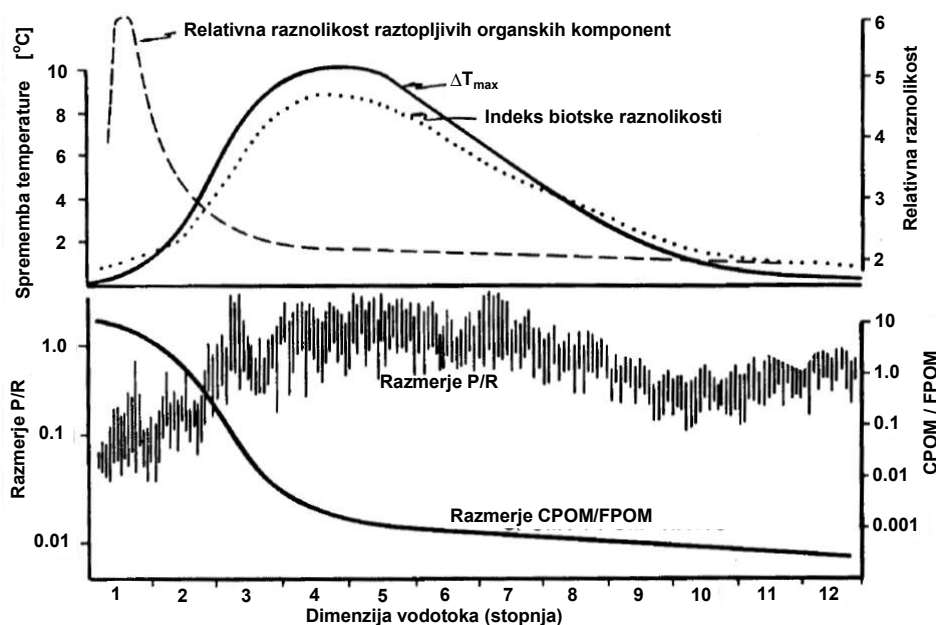
2 OSNOVE EKOLOGIJE IN MORFOLOGIJE VODOTOKOV

2.1 Koncept zveznosti vodotoka (RCC)



Slika 1: Predlagane povezave med velikostjo struge in progresivnimi spremembami v sestavi in funkcionalnosti lotičnih skupnosti (Vannote et al., 1980)

Fizikalne spremenljivke od izvira pa do ustja konstantno spreminjajo fizične karakteristike rečnega okolja. Odzivi na te spremembe se kažejo znotraj obstoječih združb. Vzpostavi se neke vrste zveznost znotraj sistema, ki se kaže v prilagoditvi biotičnih faktorjev, vzorcev obtežbe, transportu, porabi in skladiščenju organskih snovi vzdolž reke. Rečne združbe so tako prilagojene, da uskladijo svoje strukturne in fizikalne karakteristike s povprečnim stanjem, ki vlada v sistemu, oziroma vzpostavi se najverjetnejše ravnotežno stanje. Skupnosti producentov in porabnikov so med seboj v ravnotežju, njihova sestava pa ustreza pričakovani za določen odsek struge. V naravnem rečnem sistemu se vzpostavi tudi časovni kontinuum različnih vrst organizmov. Take spremembe omogočajo boljši izkoristek energetskih virov. Tako se razpoložljiva energija enakomerneje razporedi skozi celotni letni cikel. Biološke skupnosti v naravnih vodotokih razvijejo tako prehrambeno strategijo, da pride do minimalnih izgub razpoložljive energije. Skupnosti dolvodno so tako organizirane, da izkoriščajo presnovne pomanjkljivosti v odsekih gorvodno. Pomanjkljivosti v gorvodnih odsekih in prilagoditve v dolvodnih odsekih so predvidljive. (Vannote et al.,1980)



Grafikon 1: Hipotetična distribucija izbranih parametrov po RCC za vodotoke od 1. do 12. stopnje (Vannote et al.,1980)

Detrit, ki je prisoten v strugi vodotoka je lahko alohtoni (listje, vejice, itd.) ali avtohtoni (alge, mrtve vodne živali, itd.). Delimo ga na tri glavne razrede, kjer je glavno merilo pri ločevanju velikost delcev. (Maltby, 1992)

Preglednica 2: Razdelitev detrita na tri glavne razrede

Razdelitev detrita na glavne razrede		
ENG	SLO	Velikost delca
CPOM (coarse particulate organic matter)	groba organska snov	> 1mm
FPOM (fine particulate organic matter)	fina organska snov	> 0.45 μm , < 1mm
DOM (dissolved organic matter)	raztopljena organska snov	< 0.45 μm

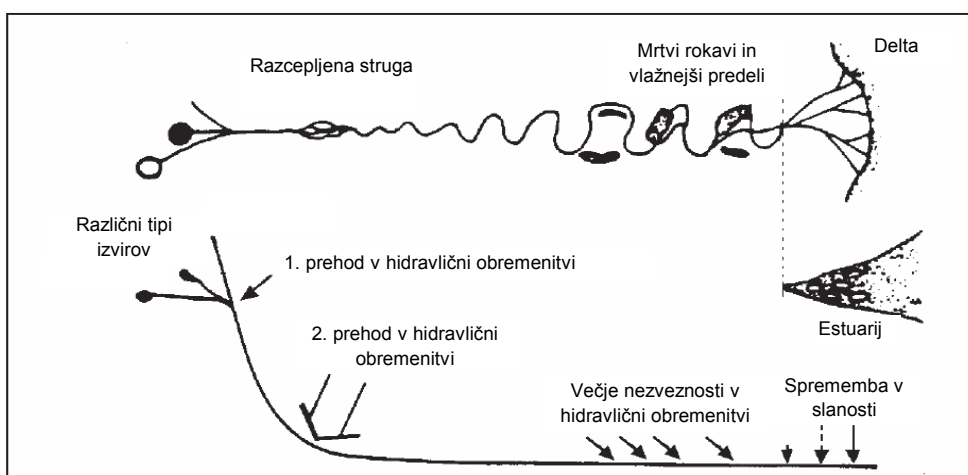
(Povzeto po Maltby, 1992)

Vodotoke lahko glede na njihovo dimenzijo razdelimo v tri razrede: reke v zgornjem toku (1. do 3. stopnja), srednje veliki vodotoki (4. do 6. stopnja) in veliki vodotoki (nad 6. stopnjo). Karakteristike lotičnih skupnosti so za vsak razred na grobo določene. Reke v zgornjem toku so pod močnim vplivom riparijske vegetacije. Zaradi vplivov senčenja se močno zmanjša avtotrofna produkcija, hkrati pa se poveča doprinos aloktonega detrita. S povečevanjem velikosti struge se zmanjšuje vnos organskih snovi s kopnega, poveča se pomen aloktonne produkcije in vpliv transporta organskih snovi iz gorvodno ležečih odsekov. Prehod med rekami v zgornjem toku in srednje velikimi vodotoki se kaže v spremembi v razmerju P/R (P je primarna produkcija, R je respiracija). Reke v zgornjem toku so odvisne od vnosa hranilnih snovi s kopnega in zanje je karakteristično razmerje $P/R < 1$. Srednje veliki vodotoki so energetsko odvisni od produkcije alg in drugih vodnih rastlin, zato je zanje značilno razmerje $P/R > 1$. Tranzicija med heterotrofnim in avtotrofnim okoljem je zelo odvisna od stopnje zasenčenosti vodotoka. Ponavadi se prehod zgodi, ko vodotok doseže 3. stopnjo (Slika 1), lahko pa v posameznih primerih (kanjoni, odsotnost riparijske vegetacije, itd.) zelo variira.

V velike vodotoke prispeva mnogo fine organske materije (FPOM = Fine Particulate Organic Matter), ki je ostanek procesiranja grobe organske snovi (CPOM = Coarse Particulate Organic Matter) v gorvodno ležečih rečnih odsekih. Čeprav ima riparijska vegetacija zanemarljivo majhen vpliv na senčenje, je primarna produkcija majhna zaradi kalnosti in globine vode. Za tak sistem je značilno razmerje $P/R < 1$. Pritoki nižjih redov, ki se iztekajo v srednje velike in

velike reke, imajo različen lokalni vpliv nanje, odvisno od količine in značaja snovi, ki jih vnašajo v sistem. (Vannote et al.,1980)

Koncept zveznosti vodotoka nam prikazuje idealne razmere v reki. V realnem okolju pa pride do odstopanj od teoretično pričakovanega stanja zaradi različnih dejavnikov. Fizične karakteristike se ne spreminjajo enakomerno od izvira do izliva. Lokalno pride do upočasnitve ali pospeševanja določenih procesov, odvisno od prisotnosti: večih osnovnih nivojev (npr.: ob jezerih ali slapovih), konstantno ali občasno priključenih mrtvih rokavov in vlažnejših predelov (Slika 2), pritokov z zaraščenim ali golim koritom, sprememb v tipologiji struge (Slika 3), sprememb v geologiji (npr.: v kraških področjih) in klimatskih posebnosti (npr.: v aridnih predelih). RCC nam torej predstavlja uporabno interpretacijsko shemo, ki pa ne zajema vpliv lokalnih posebnosti. (Siligardi et al., 2000, str. 22-23)



Slika 2: Prikaz nekaterih tipičnih odstopanj od teoretičnega stanja v karakteristikah habitatov, od izvira pa do ustja, za nek hipotetičen naravni vodotok - vsi elementi se ne pojavljajo nujno v realnem primeru (Statzner, Higler, 1985)

Geomorfološke karakteristike			
	Soteska	Razcepljena struga	Meandrirajoča struga
Parameter			
Razmerje površina/pretok	majhno	veliko	povprečno
Prispevek organskih snovi iz riparijskih pasov	majhen	velik	povprečen
Zadrževanje detrita	majhno	veliko	povprečno
Omočena površina	majhna	velika	povprečna

Slika 3: Večje spremembe nekaterih ekosistemskih parametrov glede na geomorfološke karakteristike, ki so odvisne od posebnosti dinamike vodnega toka v posameznih delih struge (Minshall et al., 1985)

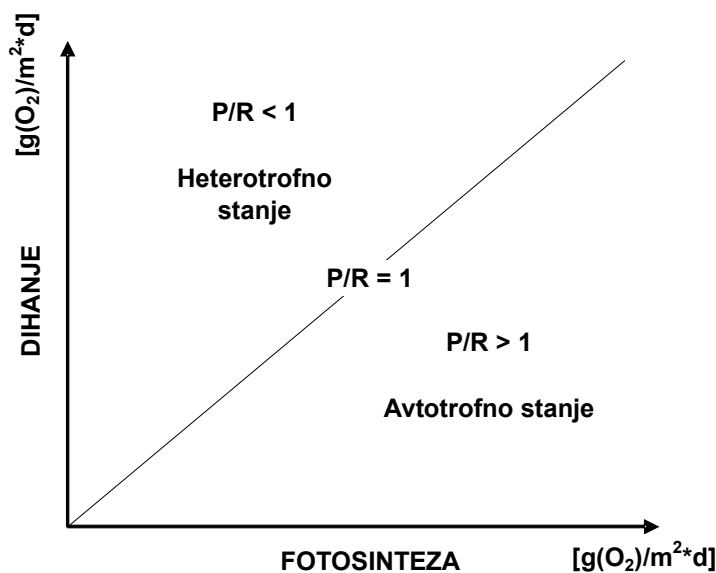
2.2 Energetsko ravnotežje v odprtem sistemu

Med najbolj značilnimi karakteristikami lotičnih sistemov je njihov spremenljiv značaj v vzdolžni smeri. Za vodotoke je v zgornjem toku značilen velik vpliv vegetacije na zasenčenost struge in posledično na prevlado heterotrofnih procesov. Primarna produkcija postane pomembnejša šele v srednjem toku, kjer se vpliv senčenja zmanjša. Zaradi obtežbe s sedimenti, ki preprečujejo učinkovito prodiranje svetlobe, postanejo v spodnjem toku spet dominantni heterotrofni procesi. Razmerje P/R, med proizvodnjo fotosinteze in dihanjem, se uporablja kot indikator stanja predvsem lentičnih sistemov. Ko je vrednost razmerja P/R manjša od 1, je to indikator avtotrofnosti, če pa je $P/R > 1$, je sistem heterotrofen (Grafikon 2). Spremembe razmerja P/R vzdolž reke so nazorno prikazane na sliki 1 in 2. Ponavadi so za reke v zgornjem toku karakteristične vrednosti manjše od 1, za srednji večje od 1 in za spodnji tok pa ponovno manjše od 1. Seveda se razmere v realnosti lahko, predvsem zaradi lokalnih motenj, bistveno razlikujejo od teoretičnih. Pritoki lahko v lotičnih sistemih povzročijo lokalne spremembe vrednosti indeksa P/R.

Za energetske stabilne sisteme je značilno, da sta produkcija in poraba v ravnotežju (t.j. tam, kjer je $P = R$). Za rečni odsek pa to ne velja, saj je to odprt sistem, ki se regulira s pomočjo dinamičnih procesov. To mu omogoča, da doseže vrhunec tudi kadar produkcija ni enaka porabi. Na posamičnem odseku reke se tako viški produkcije ($P/R > 1$) odvajajo dolvodno (export), primanjkljaji pa se nadomeščajo z dovajanjem (import). (Callow, 1992)

V primeru odprtega sistema je uporaba razmerja P/R kot indikator stanja precej nezanesljiva. Njegova nezanesljivost pa še narašča z odprtostjo sistema. (Siligardi et al., 2000, str. 24-26)

V dvodimenzionalnem diagramu lahko prikažemo ravnotežno stanje med P in R s pomočjo poltraka, ki ima izhodišče v presečišču osi in nam razdeli prostor na dve polovici. Prostor je tako razdeljen na heterotrofne ($P/R < 1$) zgoraj in avtotrofne ($P/R > 1$) spodaj, medtem ko poltrak predstavlja zrelo stanje sistema, ko je metabolizem uravnotežen ($P/R = 1$). (Siligardi et al., 2000, str. 24-26)



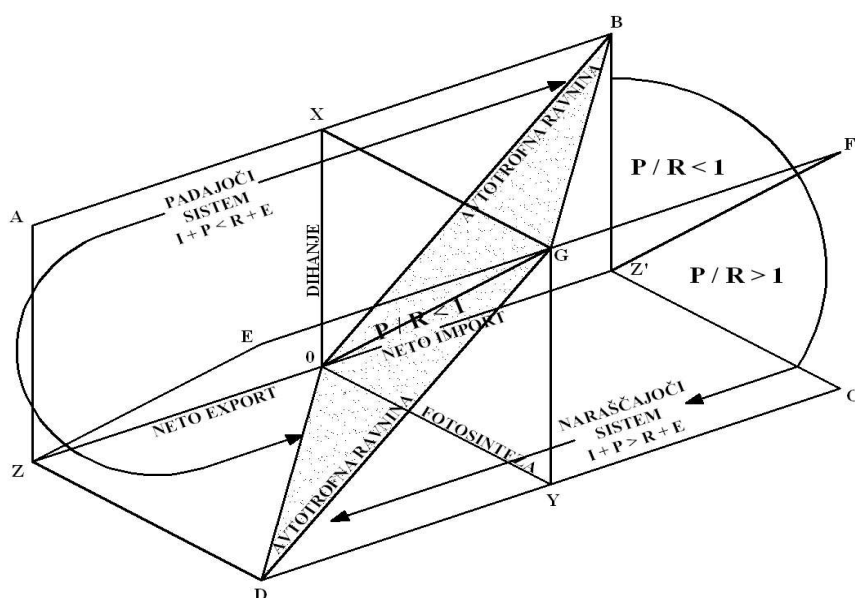
Grafikon 2:

2D prikaz indeksa P/R - indeks je brezdimenzijski, medtem ko imata dihanje (R) in proizvodnja fotosinteze (P) isto enoto $[g(O_2)/m^2 \cdot d]$ (Siligardi et al., 2000, str. 24)

Da bi lahko bolje opisali izmenjavo energije, ki se dogaja v nekem diskretnem odseku reke, je potrebno spremenljivkam P in R dodati še tri nove: I (import), E (export) in D (detrit). Kot I in E upoštevamo grobo organsko snov (CPOM), fino organsko snov (FPOM) in raztopljeno organsko snov (DOM = Dissolved Organic Matter), ki prihaja v in izven odseka. D predstavlja delež energije, ki je skladiščen v sistemu, kot razpoložljiva fina organska snov. Celoten model lahko zgoščeno zapišemo s pomočjo enostavne enačbe:

$$I + P = R + E + D$$

Iz enačbe je lepo razvidno, da sprememba enega od parametrov poruši staro ravnotežje, ter tako inducira spremembo enega ali več drugih parametrov. Tako se ponovno vzpostavi ravnovesno stanje v sistemu. Povečanje importa ob upoštevanju konstantne produkcije ima lahko kot posledico: povečanje dihanja (t.j. poveča se količina aerobnih organizmov in s tem biomasa), povečanje exporta dolvodno in povečanje deleža energetske rezerv. Slika 4 učinkovito prikazuje obstoječe povezave med različnimi parametri in na novo definira pojem ravnotežja. (Siligardi et al., 2000, str. 24-26)



Slika 4: Trodimenzionalni prikaz diagrama pretakanja energije v odprtih ekosistemih

P=neto import, E=export, N.I.=import (I-E), N.E.=neto export (E-I) (Siligardi et al., 2000, str. 25)

Če v dvodimenzionalnem prikazu ravnotežje predstavlja daljica (OG), ki območje deli na dva dela, je v treh dimenzijah to nagnjena ploskev (OBGD). Ploskev, ki predstavlja pogoj $P/R = 1$, razdeli prostor v grafu na dva dela:

- Prvi del (desno od nagnjene ploskve (Slika 4)) predstavlja prostor, kjer sistemu energija raste (akumulacija energije). Opišemo ga z enačbo 2.

$$I + P > R + E$$

- Drugi del (levo od nagnjene ploskve (Slika 4)) pa ponazarja prostor, v katerem prevladujejo elementi iztoka, kjer energija sistema upada (izvažanje energije). Opišemo ga lahko z enačbo 3.

$$I + P < R + E$$

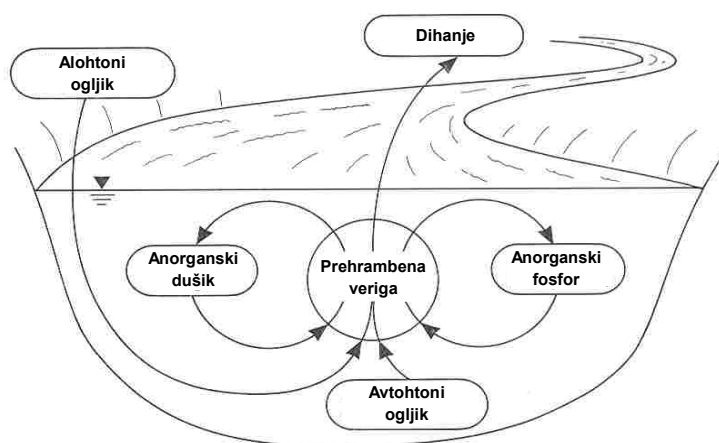
Rast in upadanje energije v sistemu je lastnost sistema, vezana na vzpostavljanje ravnotežja v vodnem telesu. Nihanja v količini rezerve (D) so odvisna predvsem od lastnosti povodja in določajo neke vrste mobilno ravnotežje v sistemu.

Spremenjeni parametri v novo vzpostavljenem ravnotežju povzročajo spremembe tudi v sestavi biocenoze, ki se prilagaja novim razpoložljivim virom energije. Ta nova energija v metabolizmu reke povzroči kvalitativne in kvantitativne spremembe v populaciji makroinvertebratov. Očitno je, da z imisijo tujega organskega materiala v sistem (npr.: kanalizacijske vode) povzročimo vzpostavitev novega ravnovesja, ki sloni na povečanem dihanju in večjih količinah detrita. Spremeni se tudi sestava bentonske skupnosti. Prožnost sistema omogoča, da se sistem ne poruši. Preko dinamičnih sprememb v metabolizmu reke ter ob spremembi strukture bentonske skupnosti se vzpostavi novo metastabilno stanje. (Siligardi et al., 2000, str. 24-26)

2.3 Kroženje in spiralizacija hranil

Vodotoki igrajo pomembno vlogo pri kroženju ter transportu snovi iz kopenskih okolij v morja. Velik del teh snovi so hranila, ki jih lahko uporabijo rečni organizmi za svojo rast. Posebno pomembni elementi so: dušik, fosfor in ogljik. Teh elementov in njihovih spojin je v rečnih sistemih relativno malo. Zato so ti elementi med njihovo potjo dolvodno večkrat uporabljeni.

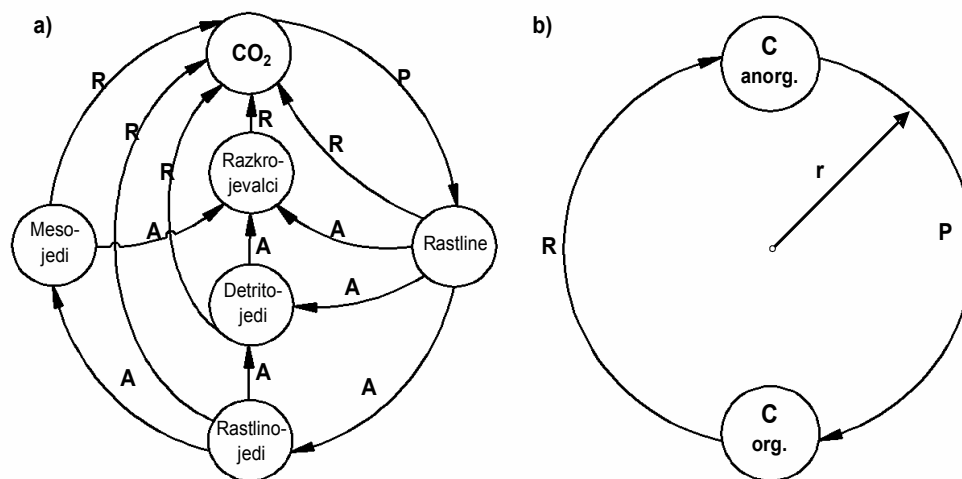
Živi organizmi ne le odstranjujejo hranilne snovi iz vode, ampak jih vanjo tudi vračajo. Pri kroženju snovi organizmi vplivajo na koncentracijo hranil v vodi. Dogaja pa se tudi obratno, saj tudi koncentracija hranilnih snovi vpliva na rast in razvoj živih organizmov. Te interakcije vedno potekajo pod vplivom rečnega transporta. Proces, ki se odvijajo v prerezih gorvodno, tako vplivajo na tiste dolvodno. Atomi snovi prehajajo skozi različne faze preden se vrnejo v prvotno stanje in tako zaključijo cikel, medtem pa hkrati opravijo določeno pot v smeri toka. Tak način kroženja snovi, kjer pride do longitudinalnega premika imenujemo spiralizacija. (Newbold, 1992)



Slika 5: Shematski prikaz zaključenega dušikovega in fosforjevega ter odprtega ogljikovega cikla (Newbold, 1992, str 379)

Oglejmo si primer ribnika in atoma ogljika v anorganski obliki (t.j. CO_2). Opazimo lahko, da se taka molekula s pomočjo vodne vegetacije in preko procesa fotosinteze spremeni v organski ogljik. Zaradi dihanja nekega rastlinojedega ali mesojedega organizma pa spet preide

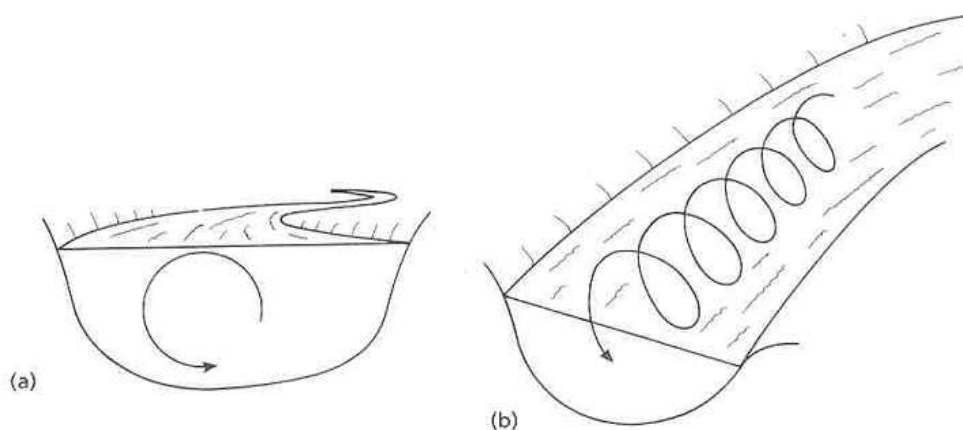
v anorganski CO₂ ali pa zato poskrbi kakšen razkrojevalec (Slika 6a). Te procese lahko shematiziramo s krogom določenega radija, ki je manjši, če so biološki procesi, ki privedejo do zaključka cikla hitrejši in obratno (če so procesi počasnejši je radij večji) (Slika 6b). (Siligardi et al., 2000, str. 26-30)



Slika 6:

- a) Shema ogljikovega cikla, P = fotosinteza, R = dihanje, A = asimilacija
 - b) Poenostavitev sheme A, radij (r), ki ponazarja hitrost kroženja snovi
- (Prirejeno po Siligardi et al., 2000, str. 27)


S strani spiralizacije hranil lahko gledamo na kroženje kot na pojav, ki se dogaja znotraj nekega določenega kontrolnega volumna ali območja (Slika 7a). V tem smislu se cikli vedno dogajajo na istem mestu neglede na to, da se opazovana populacija vedno spreminja, saj atomi hranilnih snovi ne ostanejo na istem mestu dovolj časa, da bi zaključili cikel. Koncept spiralizacije pa zajema oboje: kroženje snovi in longitudinalni pomik snovi dolvodno. Razdaljo med posameznimi cikli je tako mogoče nazorno prikazati (Slika 7b). (Newbold, 1992)



Slika 7:

- a) Kroženje hranilnih snovi gledano iz take perspektive, ki ne zajema transporta snovi
 b) Kroženje snovi in dolvodni transport ponazorjen s spiralo
 (Newbold, 1992, str. 380)

Preglednica 3: Vplivi hitrosti transporta in presnove na spiralizacijo hranilnih snovi

Mehanizmi:		Ciklizacija:		Odgovor ekosistema na dodajanje hranil	Stabilnost ekosistema
Zadrževalna sposobnost	Delovanje	Stopnja	Razdalja med spiralami		
velika	veliko	hitra 	kratka	KONSERVATIVEN (I > E)	velika
velika	majhno	počasna 	kratka	AKUMULATIVEN (I > E)	velika
majhna	veliko	hitra 	dolga	KONSERVATIVEN VMESEN < A > D	majhna
majhna	majhno	počasna 	dolga	EKSPORTATIVEN (I = E)	majhna

Tem manjši kot je radij cikla, toliko večja je hitrost kroženja snovi. Razdalja med posameznimi cikli ponazarja prepotovano razdaljo v smeri toka. I = import, E = export (Prirejeno po Siligardi et al., 2000, str. 28)

Določen atom hranilne snovi je med svojo potjo dolvodno vedno znova uporabljen. Pogostost izkoriščanja je prikazana s pomočjo razdalje med posameznimi cikli oziroma s stisnjenostjo spirale (Tabela 3). Oblika spirale ni odvisna le od hitrosti ciklizacije, ampak tudi od

zadrževalne sposobnosti sistema oziroma od razmerja med transportom snovi dolvodno in hitrostjo vode.

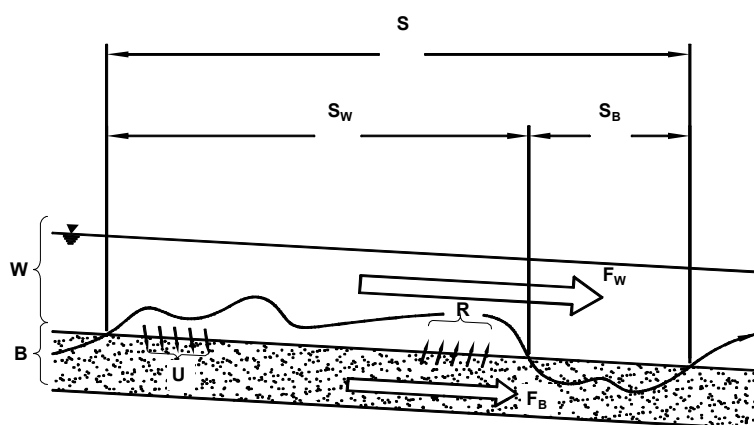
Recimo, da je povprečni čas, ki ga nek reprezentativni atom hranilne snovi potrebuje, da opravi en cikel, enak t_C , povprečna hitrost pa v_T . Takrat lahko definiramo S kot povprečno razdaljo, ki jo zgoraj omenjeni atom prepotuje dolvodno, medtem ko opravi en cikel.

$$S = v_T \cdot t_C$$

V velikih rekah se hitrost v_T približa hitrosti vode v_W , medtem ko je v vodotokih z večjo zadrževalno sposobnostjo, kjer se hranilne snovi posedajo in ustavljajo za daljši čas, ta hitrost bistveno manjša.

Kroženje hranilnih snovi kot so fosfor in dušik lahko razdelimo na dve fazi. Prva faza je prevzemanje snovi iz vode s strani živih organizmov (ang. Uptake). Druga faza pa je gibanje hranil skozi prehrambeno verigo, dokler se ponovno ne vrnejo v anorgansko obliko. Razdaljo med spiralami S lahko, za nek reprezentativen atom hranilne snovi, definiramo kot seštevek prepotovane razdalje v anorganski obliki, dokler ne pride do prevzema in razdalje, ki jo ta isti atom prepotuje znotraj živih organizmov, dokler se ne vrne v prvotno obliko. (Newbold, 1992)

V nadaljevanju je prikazan model, ki na hiter in razumljiv način predstavi procesa uporabe in transporta nekega povprečnega atoma hranilne snovi po reki. Poleg tega nam omogoča karakterizirati vodotok glede na sposobnost ciklizacije hranil in učinkovitost zadrževalnih organov, ki zmanjšujejo tok hranilnih snovi (Slika 8). (Siligardi et al., 2000, str. 26-30)



Slika 8: Model spiralizacije hranil sestavljen iz dveh delov (Newbold, 1992)

Prvi del (W) predstavlja vodno, drugi del (B) pa biotsko komponento modela.

Ta poenostavljen model potovanja hranil skozi rečni sistem (Slika 8) je sestavljen iz dveh komponent.

1. Vodna komponenta (W)

V to skupino spadajo hranilne snovi raztopljene v vodi v anorganski obliki.

2. Biotska komponenta (B)

V to skupino spadajo hranilne snovi, ki so del žive narave. V tem primeru ni nujno, da so v organski obliki. Pomembno je le, da niso razpoložljive, kot anorganska raztopina v vodi, za prevzemanje s strani drugih živih organizmov.

Prevzemanje hranilnih snovi (U) je definirano kot masa na enoto površine na enoto časa, torej ima enoto ($\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$). Tok v vodi raztopljenih hranil (F_W) je definiran kot masa na enoto širine na enoto časa, zato ima enoto ($\text{g}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$). Torej velja, da biotska komponenta prevzame nase določen delež hranilnih snovi k_{LW} , na vsak tekoči meter vodotoka.

$$k_{LW}(\text{m}^{-1}) = U/F_W$$

Povprečna prepotovana razdalja raztopljenih hranil v vodi je recipročna vrednost k_L .

$$S_W(\text{m}) = 1/k_{LW} = F_W/U$$

Če pa nas zanima povprečni čas potovanja hranil v vodi, je bolje definirati prevzemanje na časovno enoto k_W . Povprečni čas bomo nato dobili kot recipročno vrednost k_W .

$$k_W (s^{-1}) = k_{LW} \cdot v_W = \frac{U}{F_W} \cdot v_W$$

Podobno velja za vračanje hranilnih snovi (R), ki ima isto enoto kot prevzemanje hranil (U) in za tok hranilnih snovi vsebovanih v biotski komponenti (F_B), ki ima enoto ($g \cdot m^{-1} s^{-1}$). Tudi tu lahko definiramo delež vračanja snovi na tekoči meter (k_{LB}) in na časovno enoto (k_B).

$$k_{LB} (m^{-1}) = R / F_B$$

$$k_B (s^{-1}) = k_{LB} \cdot v_B = \frac{R}{F_B} \cdot v_B$$

Povprečna prepotovana razdalja hranilnih snovi kot del žive narave (S_b) je torej:

$$S_b (m) = 1 / k_{LB} = F_B / R$$

Celotno razdaljo, ki jo hranilne snovi prepotujejo v enem povprečnem ciklu, lahko torej zapišemo kot:

$$S (m) = S_w + S_b = F_W / U + F_B / R$$

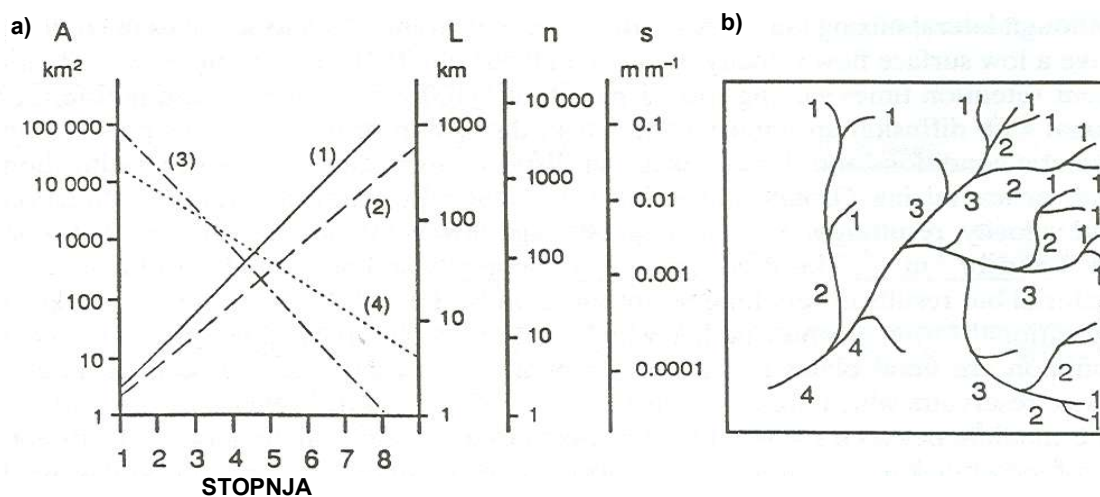
V idealnih razmerah, ko je reka v stabilnem stanju in je razdalja med spiralami konstantna po dolžini vodotoka, sta prevzemanje in vračanje hranilnih snovi v ravnotežju ($R = U$). Takrat velja:

$$S = F_T / U = F_T / R,$$

če je $F_T = F_W + F_B$ skupni tok hranilnih snovi v sistemu. Enačba 12 potrjuje domnevo, da večje kot je prevzemanje snovi, manjša je razdalja med spiralami. (Newbold, 1992)

2.4 Klasifikacija vodotokov

Reke so kompleksni sistemi tekočih voda, ki se napajajo iz določenih zbiralnih površin. Razvejani sistemi strug drenirajo vodo iz teh prispevnih območij, ki se potem zbira v vedno večje reke. Postopoma se torej velikost (stopnja) vodotokov povečuje od zelo majhnih (1. stopnja) pa do večjih glavnih odvodnjikov (8. stopnja in več) (Slika 9). Stopnja vodotoka je v glavnem odvisna od velikosti lastnih prispevnih površin. Poleg velikosti povodja pa se kot merilo lahko uporabljajo tudi druge karakteristike vodotoka kot so širina struge in povprečni letni pretok (Preglednica 4). Stopnja vodotoka je sorazmerna z dolžino vodotoka in z velikostjo prispevnega območja ter obratno sorazmerna s padcem struge in s številom pritokov. (Gray, 2002)



Slika 9:

- a) Povezava med stopnjo vodotoka in hidrološkimi karakteristikami na teoretičnem primeru vodotoka 8. stopnje; (1) velikost prispevnih površin, (2) dolžina struge, (3) padec [m m⁻¹]
- b) Prikaz stopnje vodotoka znotraj nekega povodja (Gray, 2002)

Preglednica 4: Klasifikacija rek v odvisnosti od povprečnega pretoka, prispevne površine in širine struge

POVPREČNI PRETOK [m ³ s ⁻¹]		PRISPEVNA POVRŠINA [km ²]		ŠIRINA STRUGE [m]		STOPNJA VODOTOKA	
od	do	od	do	od	do	od	do
10 000	-	10 ⁶	-	1500	-	10	12
1000	10 000	100 000	10 ⁶	800	1500	7	11
100	1000	10 000	100 000	200	800	6	9
10	100	1 000	10 000	40	200	4	7
1	10	100	1 000	8	40	3	6
0.1	1	10	100	1	8	2	5
-	0.1	-	10	-	1	1	3

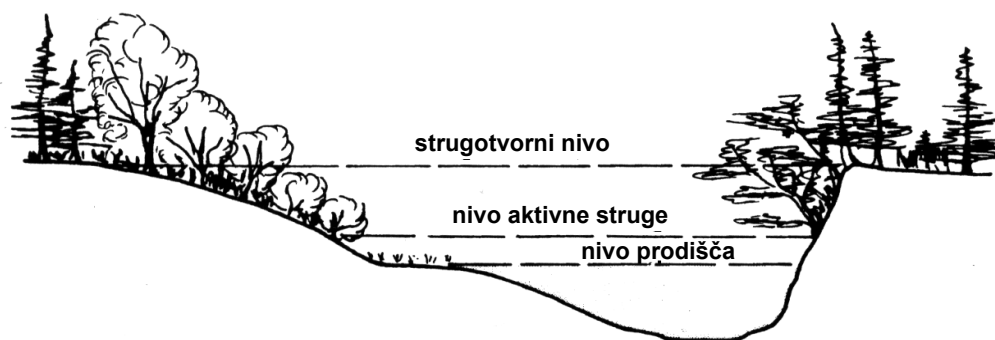
(Prirejeno po Gray, 2002)

2.5 Morfološka raznolikost

Več faktorjev vpliva na fizične procese, ki določajo morfologijo vodotokov. Primarni so: časovna in prostorska porazdelitev vode, tipologija in količine sedimentov, ki se izmenjujejo v sistemu ter lokalne geološke karakteristike. Pomembnejši sekundarni faktorji pa so: lokalne klimatske razmere, riparijska vegetacija in raba okoljskega teritorija.

2.5.1 Prečni prerez struge

Velikost in oblika prečnega prereza struge vodotoka sta odvisna od vodnih količin in njihove porazdelitve. Posebno so pomembne tiste visoke vode, pri katerih pride do povečanja delovanja erozije. Statistično gledano so to pretoki s povratno dobo 1.5 do 2.5 let, čeprav v praksi to ne velja vedno. Tak pretok imenujemo strugotvorni pretok (slika 10).



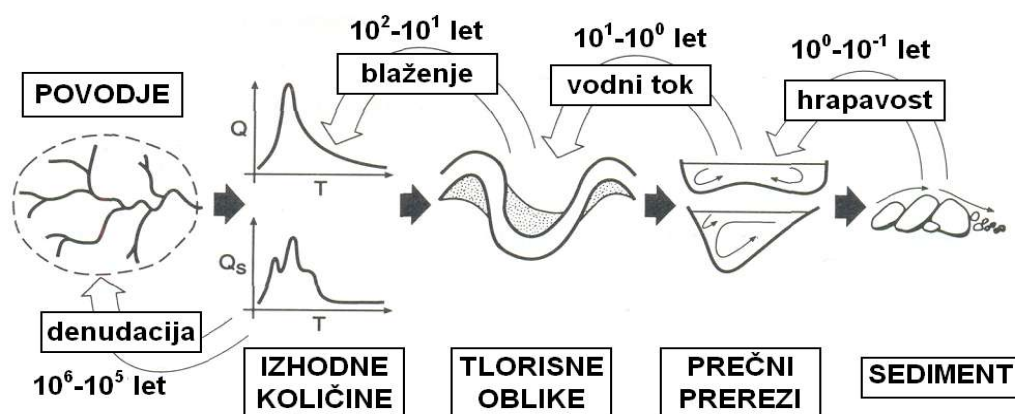
Slika 10: Prikaz tipičnega prečnega prereza struge vodotoka z vegetacijo (Church et al., 1996)

V zgornji sliki je razvidno, da obstaja neke vrste interaktivna povezava med različnimi faktorji, ki oblikujejo prečni prerez. Močno so povezani predvsem vegetacijski in erozijski procesi. Pri tem igrajo bistveno vlogo: abrazijska sposobnost vodotoka, lokalne geološke razmere, hitrost s katero različne rastline kolonizirajo brežine in sposobnost vegetacije, da stabilizira zemljino. (Church et al., 1996)

2.5.2 Gibanje sedimentov v prostoru in času

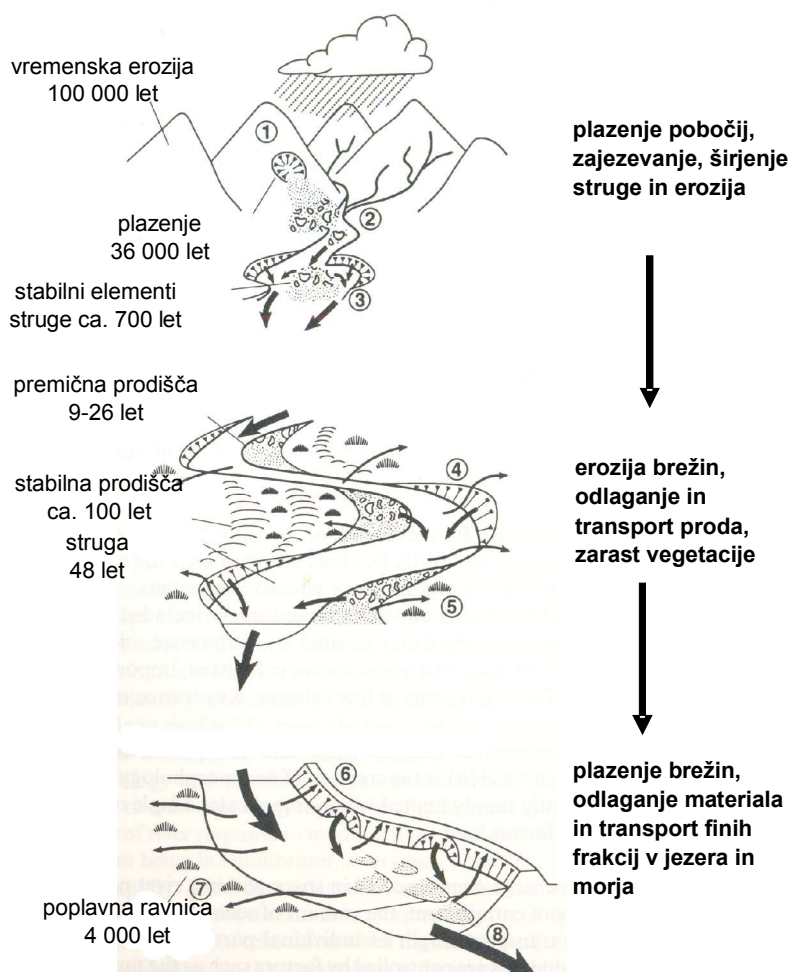
Gibanje sedimentov si lahko predstavljamo kot zvezen sistem v katerem delujejo procesi erozije, transporta in odlaganja snovi. Prostorsko in časovno lahko ta sistem razdelimo na različne podsisteme, ki so med seboj interaktivno povezani. Nivo povodja obravnavamo kot osnovni, največji nivo. Predstavljamo si ga lahko kot funkcionalno enoto povodja, ki ima to sposobnost, da se samostojno uravnava (slika 11). (Brookes et al., 1996) Naravni procesi preperevanja predelujejo kamnine v zemljine, ki se sproščajo in pod vplivom različnih erozijskih sil (od snežne, ledeniške, plazne, podorne in vetrne erozije) premeščajo in končno odlagajo v različnih vrstah odkladnin. S spiranjem in spodkopavanjem preperelega kamninskega ali erozijskega drobirja, hudournimi, murastimi ali blatnimi tokovi prispeje ta material v vedno večje odvodnike in vpliva na stabilnost njihovih strug. Še en vzrok sproščanja plavin je erozija tal, ki je pogosto odvisna od gospodarjenja in rabe tal. Veter in padavine razrahljajo površine, kar vodi k površinskemu spiranju in odplavljanju delcev, pri koncentriranju vodnih tokov pa v brazdasto in jarkasto erozijo. Vodotoki premeščajo plavine

v začasne odkladnine (prodišča, naplavne ravnice...) ali pa dokončno v jezera in morja. Velikokrat se vodotoki zarežejo tudi v starejše odkladnine kot so: ledeniške groblje ali morene, jezerske odkladnine in podobno. Načeloma vodotok, ki premešča preveč plavin, zaproja in dviguje dno svoje struge. Obratno pa se vodotok, ki premešča premalo plavin, pogloblja in erodira svoje brežine. (Mikoš, 2000)



Slika 11: Shema interakcij med različnimi prostorskimi in časovnimi stopnjami znotraj povodja (Brookes et al., 1996, str. 153)

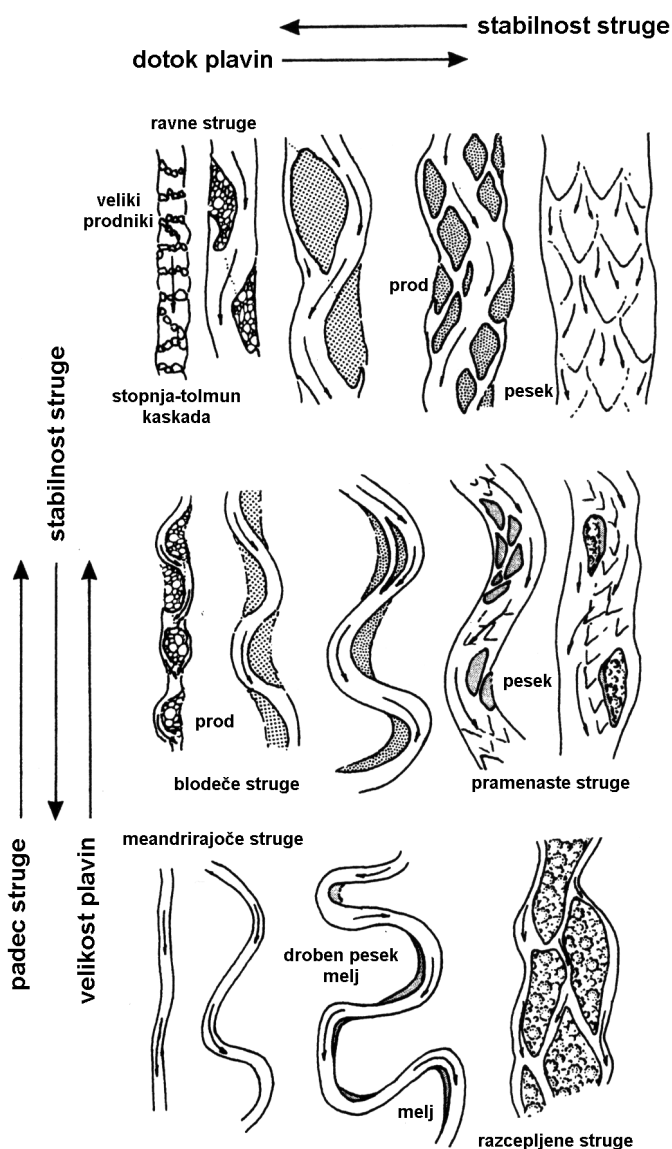
Gibanje sedimentov skozi povodje je v veliki meri odvisno od obnašanja sistema v gorvodnih odsekih. Plazovi, murasti tokovi in drugi večji erozijski pojavi sprožijo neke vrste domino efekt. Večje količine sedimentov se pričnejo gibati po sistemu, posledica tega pa so različni pojavi gorvodno in dolvodno (povečanje odlaganja snovi, sprememba stabilnosti brežin, povečana hrapavost struge...). Sistem gibanja sedimentov je možno zelo nazorno prikazati s pomočjo povprečnega zadrževalnega časa sedimentov na različnih prostorskih nivojih. Ta je lahko zelo različen v odvisnosti od: fizičnih karakteristik sedimentov, razpoložljivega prostora, kjer lahko pride do odlaganja sedimentov, tipa odkladnine, pokritosti z vegetacijo in oddaljenosti od struge. (Brookes et al., 1996)



Slika 12: Prikaz kontinuitete v sistemu sedimentov in čas zadrževanja sedimentov v določeni strukturi (Brookes et al., 1996, str. 153)

2.5.3 Tlorisne oblike strug

V praksi se je uveljavila razvrstitev po Leopoldu in Wolmanu, ki sta jo leta 1957 objavila pod naslovom: »River Channel Patterns – Braided, Meandering and Straight«. Avtorja sta skušala razdeliti struge, glede na njihovo tlorisno obliko, na tri različne tipe: ravne, meandrirajoče in razvejane. (Torne et al., 1997)



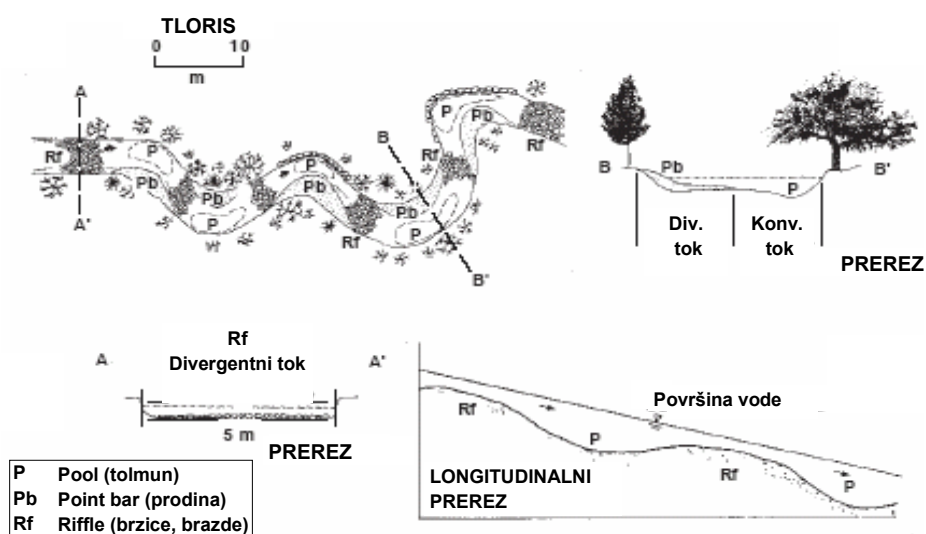
Slika 13: Tlorisne oblike strug glede na padec struge, stabilnost struge, velikost prevladujoče frakcije plavin in dotok plavin (Bizjak, 2003, str. 18)

Ravne struge so praktično vedno posledica regulacijskih ureditev vodotokov. Po naravni poti se ravne struge lahko izoblikujejo le zaradi skalnih pragov ali brežin, ki preprečijo bočno oziroma globinsko erozijo in včasih zaradi vegetacije. Pri velikih padcih dna vodotoka (npr. v hudournikih) se lahko pojavi ravna struga kot vmesen raven odsek dolžine do desetkratne širine struge, ali pa se ravna struga pojavi ob pogojih majhne prodonosnosti, če se struga počasi erodira v podlago in je praktično na straneh obložena z velikimi kamnitimi bloki.

Meandrirajoče struge so še vedno enovite struge z jasno določeno glavno strugo. Razpoznavajo se po več ali manj rednem zaporedju meandrov – zavojev, z ustreznimi bočnimi spodjedami na zunanji strani zavojev.

Razvejane struge predstavljajo obliko večkratnih strug, ko se pretok razdeli na dve ali več glavnih strug. V glavnem jih srečamo v zgornjem bolj strmem toku rek, njihova značilnost pa je izrazita nestabilnost strug. V ravninah prav tako prihaja do razvejanih strug v obliki rečnih delt, vendar pa je zaradi večje stabilnosti strug tudi razdelitev na struge stabilnejša. (Mikoš, 2000)

V naravnih vodotokih se hitrost vodnega toka časovno in prostorsko zelo hitro spreminja. Tok na splošno ni konstanten in tokovnice niso vzporedne niti med seboj, niti z brežino. V strugi vodotoka se tako pojavljajo območja konvergiranja in divergiranja vodnega toka. Na območju, kjer tok konvergira, pride do odnašanja materiala in posledično do poglobljanja struge. Na območjih, kjer tok divergira, pa se material odlaga (slika 14). Strugo vodotoka tako oblikujeta spremenljiva narava vodnega toka in prisotnost nevezanih sedimentov. V rekah s sinusoidnimi strugami, ki tečejo po prodnatih tleh, lahko opazimo karakteristične morfološke formacije, ki se samostojno obnavljajo. Te se vzpostavijo vedno na istih mestih in ostajajo stabilne za daljša časovna obdobja, dokler jih visoke vode z določeno povratno dobo ne destabilizirajo. (Brookes, 1996)



Slika 14: Idealizirana naravna struga (Siligardi et al., 2000, str. 32)

Nekateri izmed karakterističnih elementov strug naravnih vodotokov:

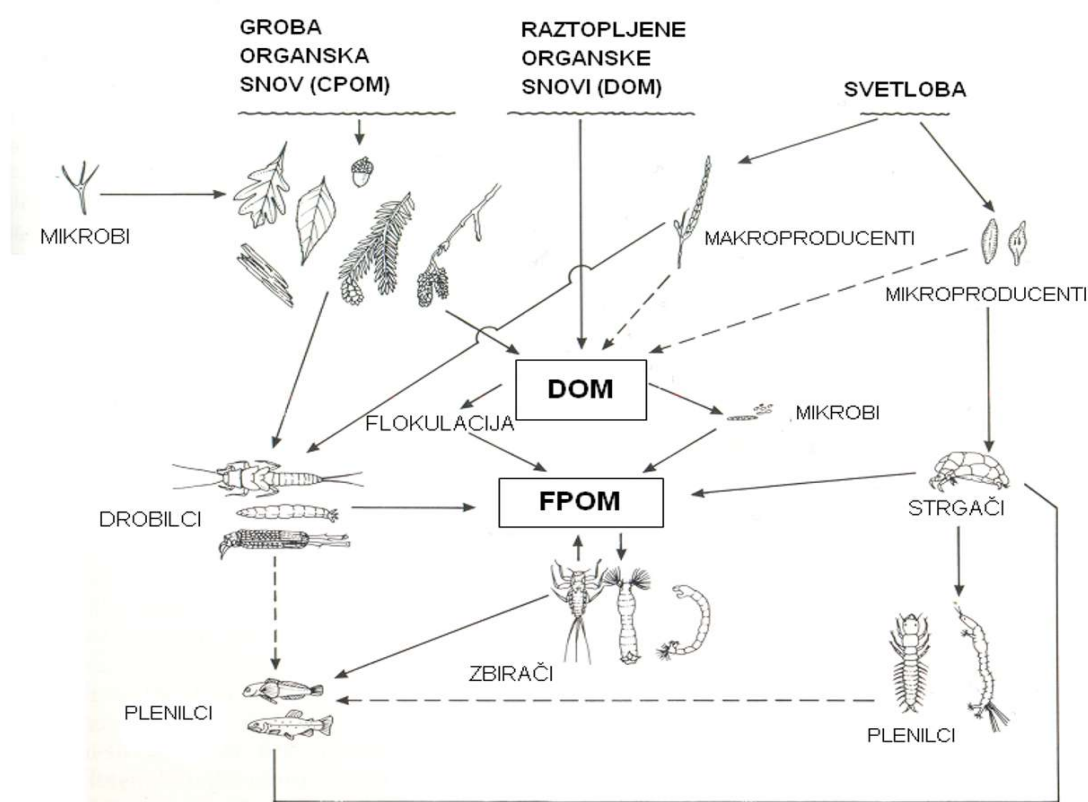
- Tolmuni: Tolmuni so poglobljena območja struge, ki se formirajo tam, kjer pride do koncentracije toka ob pojavu visokih voda. Ob nizkih pretokih je za ta območja karakteristična nizka hitrost ter večja globina vode. Ponavadi se nahajajo na zunanji strani zavoja, na njihovem dnu pa se nabira težje usedliv material (pesek, listje, ...).
- Vodne brazde: Topografsko gledano so to dvignjena področja, ki jih ponavadi najdemo na ravnih odsekih struge. Tam se namreč ob visokih pretokih pojavlja divergentni tok. Struga je na teh mestih ponavadi simetrična, njeno dno pa je prekrito s težje premičnim materialom. Za ta območja je ob nižjih pretokih značilna visoka hitrost vode ter velik padec.
- Prodišča: Stalna prodišča se ponavadi nahajajo na notranji strani zavojev v kombinaciji z erozijskimi tolmuni. Na takem mestu je zato prečni prerez struge karakteristično asimetričen. Večinoma so sestavljena iz grobih plavin. Izmenična prodišča pa so sestavljena iz rinjenih plavin in potujejo po strugi dolvodno.
- Poplavna ravnica: Struga vodotoka in njena poplavna ravnica sta sestavna dela istega sistema. Reke redno prekoračijo bregove in tako aktivno oblikujejo poplavne ravnice. Procesi bočne erozije in odlaganja materiala tako sooblikujejo rečno okolje. Med elemente poplavne ravnice ponavadi prištevamo tudi otoke.
- Otoki: Med otoke uvrščamo le tiste, ki so stabilni za daljša časovna obdobja. Prepoznamo jih lahko po starosti vegetacije, ki jih prekriva, po njihovi velikosti in sestavi. Ob pojavu visokih voda so ti otoki ponavadi poplavljeni. Otoke prekrite z vegetacijo lahko zasledimo na rečnih odsekih z razcepljeno strugo.
- Vegetacija: Vegetacija je eden pomembnejših elementov naravnih vodotokov, saj bistveno vpliva na stabilnost brežin in struge. Poleg vplivov na erozijske procese pa ima še bistveno vlogo pri: dovajanju hranilnih snovi v rečni sistem, kontroli temperature vode ter povečanju pestrosti in kvalitete vodnih habitatov. (Brookes, 1996)

2.6 Biotske komponente vodnega ekosistema

2.6.1 Makroinvertebrati v lotičnih vodnih ekosistemih

Nevretenčarje, ki živijo v lotičnih ekosistemih, zaradi praktičnih razlogov, delimo na mikro in makroinvertebrate. Mikroinvertebrati so organizmi, ki le redko kdaj presežejo dolžino en milimeter. Makroinvertebrati pa so organizmi, katerih dolžina ponavadi presega milimeter (v zadnjem stadiju larvalnega razvoja). V to skupino spadajo: insekti, raki, mehkužci, maloščetinci, pijavke, ploski črvi, in drugi manj pogosti. Ti organizmi vsaj del njihovega življenjskega cikla preživijo na različnih substratih, ki so pod direktnim vplivom vodnega toka, čemur so se tudi ustrezno prilagodili. (Sansoni, 1988, str. 9-16)

Zgodovinsko gledano so nevretenčarji ena najbolj raziskanih skupin organizmov med biotskimi komponentami lotičnih sistemov, za kar obstaja več tehtnih razlogov. Makroinvertebrati so organizmi, ki predstavljajo vezni člen v prehrambeni verigi tekočih voda. Sami se pretežno prehranjujejo z algami in mikroorganizmi, predstavljajo pa glavni vir hrane za ribe in druge vretenčarje. Zanimivi so tudi zaradi njihovega življenjskega cikla (od nekaj tednov pa do enega ali celo dveh let), saj je ta ravno pravšnji za opravljanje različnih raziskav. Po trajanju ga uvrščamo nekje med kratkim ciklom mikroorganizmov in med razmeroma dolgim ribjim življenjskim ciklom. Enostavno je tudi njihovo vzorčenje s pomočjo posebne mrežice ali pa kar ročno. Na terenu jih je možno hitro prepoznati kar s prostim očesom in jih uvrstiti v posamezno prehranjevalno skupino. (Cummins et al., 1992)



Slika 15: Konceptualen model strukture rečnega ekosistema s poudarkom na prehranjevalnih skupinah makroinvertebratov (drobilci, zbirachi, strgači in plenilci) in njihovih virov hranil (Cummins et al., 1992)

Nekatere skupine makroinvertebratov so še posebej občutljive na različne motnje v okolju in so ravno zato primerne kot indikatorji. Taki organizmi bi morali v optimalnih razmerah kolonizirati vodotoke, ki jim po tipologiji ustrezajo. Njihova zastopanost oziroma nezastopanost nam tako poda informacijo o kvaliteti določenega habitata. Potrebno je omeniti še, da na razporeditev bentoških nevretenčarjev ne vpliva le onesnaženost voda, ampak tudi spreminjanje in monotonizacija neživih elementov vodnih ekosistemov. Posledica sprememb v longitudinalnem in transversalnem smislu je oviran ali preprečen življenjski cikel. Večina vodnih organizmov namreč potrebuje specifične tipologije habitatov za opravljanje pomembnih življenjskih funkcij kot so razmnoževanje, prehranjevanje in druge. Zlasti so pomembne variacije v globini vode, hitrosti toka in tipologiji substrata. (Siligardi et al., 2000, str. 34-35)

Deljenje makroinvertebratov na funkcijske skupine glede na njihov način prehranjevanja se je začelo uveljavljati na začetku sedemdesetih let prejšnjega stoletja. Sama metoda sloni na razumevanju prehrabnih navad in prilagoditev posameznih skupin makroinvertebratov na razmere, ki vladajo v lotičnih ekosistemih.

Razpoložljive vire hranilnih snovi lahko razdelimo na naslednje skupine:

- detritus: t.j. groba organska snov (CPOM) in fina organska snov (FPOM) ter nanju vezani mikroorganizmi
- perifiton: t.j. mrežasto povezan sistem alg in drugih vanj ulovljenih snovi in v njem živečih organizmov
- makrofiti: t.j. višje rastline, ki uspevajo v vodnem okolju
- plen: t.j. plenjeni organizmi

Makroinvertebrati so v lotičnih okoljih razvili posebne morfološke značilnosti in strategije prehranjevanja, ki jim omogočajo zelo učinkovito izkoriščanje razpoložljivih virov hranil. Nekatere vrste so se specializirale in se hranijo le z eno od prej naštetih skupin, nekatere pa so se sposobne prilagajati trenutnim razmeram v vodotoku. Posledica tega je različna toleranca posameznih vrst na spremembe v ekosistemu. Prisotnost velikega števila organizmov iz različnih funkcijskih prehrabnih skupin je direktno povezana z razpoložljivostjo hranilnih snovi in njihovo raznolikostjo ter kvaliteto.

Makroinvertebrate tako delimo na naslednje prehrabne skupine:

- drobilci: ti se prehranjujejo pretežno z večjimi organskimi delci, ki izvirajo iz riparijskega okolja (CPOM) ali živimi makrofiti
- zbirači: ti se prehranjujejo s finim organskim materialom (FPOM) tako, da ga filtrirajo (aktivni in pasivni precejevalci) ali pa tako, da ga kopljejo iz sedimentov in drugih površin, kjer se zbira (minerji in detrivori zbiralci)
- strgači: ta skupina organizmov se prehranjuje s perifitonom

- prebadalci: hranijo se z algami in drugimi vodnimi rastlinami tako, da prebadajo posamične celice
- plenilci: ponavadi so njihov plen drugi mikro in makro invertebrati

Posamezne funkcijske prehranjevalne skupine organizmov niso med seboj neodvisne. Pomanjkanje drobilcev v zgornjem toku neke reke ima vpliv na porazdelitev ostalih makroinvertebratov dolvodno. Poleg tega pa imajo vpliv na čistilno sposobnost posameznega vodotoka (n.pr.: drobilci predelajo vsaj 30% vsega CPOM-ja v FPOM) in na sposobnost zadrževanja hranilnih snovi v sistemu (ciklizacija). (Cummins et al., 1992)

2.6.2 Rastlinska komponenta

2.6.2.1 Vodno okolje

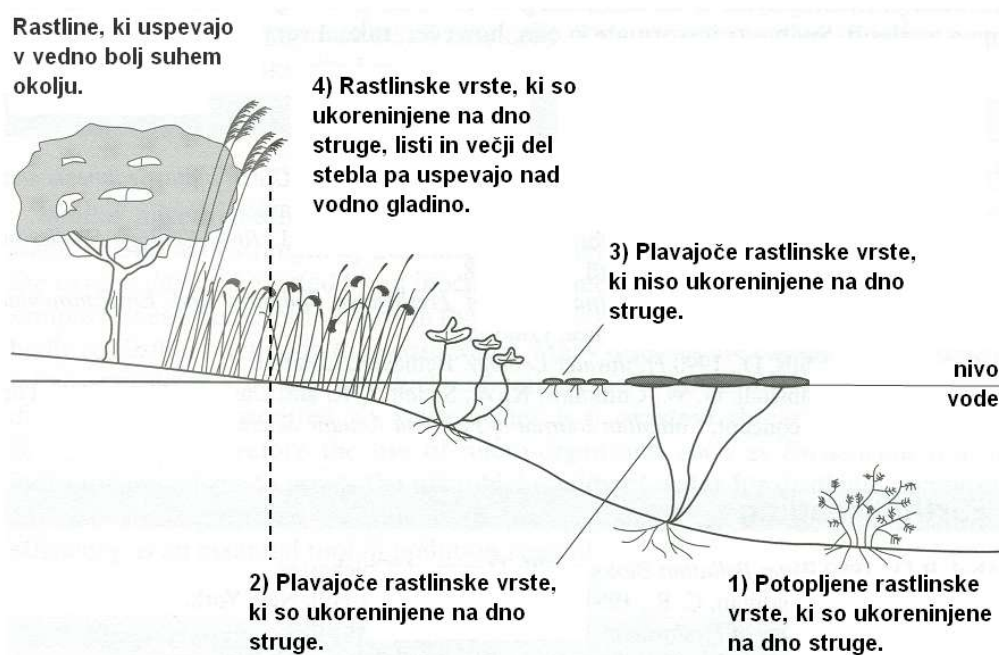
To poglavje obravnava določene vrste rastlin, ki so se prilagodile vodnemu okolju v taki meri, da lahko uspevajo, delno ali v celoti potopljene v sladki vodi. V strokovnih krogih sta se uveljavila izraza vodne rastline in makrofiti, ki pa nista enolično definirana.

Izraz vodne rastline se ponavadi nanaša na tiste rastline, katerih deli, ki opravljajo procese fotosinteze, se nahajajo pod vodno gladino. Obstajajo pa tudi drugačne razlage, kjer je npr. zahtevano, da je celotna rastlina pod nivojem vode oziroma, da se celoten cikel razmnoževanja dogaja v vodnem okolju.

Izraz makrofiti je omejen na makroskopsko floro. Ponavadi jih delimo na štiri skupine, glede na to, kako najbolje uspevajo v vodnem okolju. Nekateri znanstveniki štejejo med makrofite tudi makroskopske alge, le te bodo obravnavane ločeno. (Fox et al., 1992)

V okviru rečnih ekosistemov je včasih bolj ugodno upoštevati vse rastlinske populacije skupaj, ki so se razvile v mejah omočenega dela struge in ne samo tiste, ki so popolnoma

potopljene. Možno je načrtovati shemo porazdelitve takih rastlinskih populacij, ki živijo v tlorisu omočenega oboda tako, da jih prikažemo v sklopu nekega teoretičnega prereza. To naredimo tako, da upoštevamo njihove karakteristike (Slika 16).



Slika 16: Teoretičen presek struge vodotoka s prikazom porazdelitve makrofitov (Prirejeno po Gray, 2002, str. 87)

Če opazujemo teoretičen presek vodotoka na sredinskem delu, naletimo na rastline, ki so v vodi ukoreninjene in potopljene. Te so popolnoma potopljene in zasidrane na substratu s pomočjo korenin, ki ponavadi nimajo nobene vloge pri oskrbi rastline s hranilnimi snovmi (pr.: *Ceratophyllum sp.* in *Chara sp.*).

Tam, kjer je globina vode nekoliko manjša, najdemo predstavnike ukoreninjenih plavajočih rastlin. Tudi te so usidrane v substrat na dnu vodotoka s pomočjo korenin, ampak obstajajo deli rastline, ki plavajo na vodni gladini. Ponavadi so to listi ali razmnoževalni organi. Pri takih rastlinah je dostikrat opazen dimorfizem, saj se karakteristike listov pod in nad površino vode bistveno spremenijo (pr.: *Potamogeton*, *Nuphar* in *Ranunculus*).

Na predelih z majhno ali nično hitrostjo vode je na površini vode mogoče najti predstavnike neukoreninjenih plavajočih rastlin. Te vrste rastlin plavajo na vodni gladini in niso na noben način sidrane na dno. Nekatere vrste imajo razvit koreninski sistem, ki pa prosto lebdi v vodi in nima nobene funkcije sidranja (pr.: *Lemna* in *Trapa*).

V bližini obalnega pasu pa se naselijo amfibijske vrste. V tem primeru so to v vodi ukoreninjene rastline, večji del njihovega vegetacijskega telesa pa je nad gladino. Zanje je značilno, da so manj prilagojene vodnemu okolju kot prej navedeni tipi rastlin, saj lahko vzdržijo več časa tudi na suhem. Amfibijske vrste se razvijajo v tistem delu struge, ki je pod največjim vplivom nihanja gladine vode. K takim rastlinam štejemo trsje in pionirske vrste, ki uspevajo na prodini. Te zadnje se naseljujejo na obrežju od povprečnega nivoja letne vode pa do nivoja letne visoke vode, njihov življenjski cikel pa traja ponavadi eno leto. Njihove sposobnosti jim omogočajo, da uspevajo na revnih substratih z malo ali nič pedogeneze. Hitro se širijo, kar jim omogoča, da preživijo v takih okoljih, kjer ne more priti do razvoja prave fitocenoze zaradi prepogostega preplavljanja.

Vse do sedaj opisane vodne populacije rastlin se pojavljajo v okolju večinoma skoraj brez vsakršne medsebojne koordinacije med vrstami. Sklicujoč se na to dejstvo, so nekateri avtorji prišli do zaključka, da te rastline ni mogoče definirati kot cenozo. V nekaterih primerih je mogoče opaziti prevlado nekaterih vrst nad posameznimi embdemitскими ali lokalnimi vrstami, kar potrjuje pomanjkanje sinergije.

V okviru rečnih ekosistemov predstavljajo vodne rastline pomemben člen, saj niso pomembne le kot primarni producent (večji delež primarne produkcije vrši perifiton), ampak tudi kot sestavni del habitatov. Zaradi kolonizacije prečnega prereza vodotoka s strani različnih sklopov vegetacije, se vzpostavi obilica novih mikrohabitatov. Ti lahko nudijo zavetje velikemu številu različnih organizmov. Pomembno nalogo vršijo tudi s tem, ko asimilirajo hranilne snovi, saj tako pripomorejo k samočistilnim procesom, ki se vršijo v sistemu.

Preko analize strukture in kompozicije populacij vodnih rastlin lahko pridemo do pomembnih informacij, s katerimi lahko dokaj točno določimo kemijske, fizikalne in biološke spremembe v kvaliteti vode. To je mogoče, ker so rastlinske vrste, ki uspevajo na določeni lokaciji,

odvisne v celoti ali pa v večji meri od hranil, ki jih črpajo iz vode. Tudi amfibijske vrste, ki se naseljujejo na pogosto poplavljenih substratih so odvisne od kvalitete vode. Dosti metodologij za monitoring tekočih voda, ki temeljijo na sistemu indikatorjev, je bilo že izdelanih s pomočjo vodnih rastlin. Bolj točno povedano, mnogo indeksov je temeljilo na korelaciji med organskim onesnaženjem in karakteristikami rastlinske populacije. Nekateri znanstveniki trdijo, da so rastlinski organizmi bolj občutljivi na organsko onesnaženje kot zoobentos in ga zato prej in natančneje zaznavajo. (Siligardi et al., 2000, str. 39-42)

Alge predstavljajo velik delež rastlinske komponente v rekah. Njihova vloga v primarni produkciji je bistvenega pomena, saj so v določenih pogojih ravno alge največji primarni producent. Kljub njihovi uspešnosti pa lahko ugotovimo, da rečni sistemi zanje niso ravno najprimernejši. Nanje vpliva veliko število različnih faktorjev kot so: konstanten transport snovi in samih alg dolvodno, spremembe v hitrosti vodnega toka in nivoju vode, premeščanje sedimentov, kalnost, abrazijske sposobnosti vode, selektivno prehranjevanje v vodi živečih organizmov, osenčenost struge, ... Večina alg v lotičnih sistemih je sidrana na substrat, rastline ali pa na druge alge. V vodotokih z nizko hitrostjo vode (reke v spodnjem toku, jezera, ...) pa postanejo vse bolj pogoste tudi suspendirane alge. V metodah za hitro ocenjevanje vodotokov ponavadi alge niso obravnavane kot samostojni element. Običajno nas zanimajo le alge kot sestavni del perifitona. (Reynolds et al., 1992)

Možno je opisati dva različna pristopa k študiji perifitona, ki sta se razvila v zadnjih desetletjih in si nasprotujeta. Prvi ga obravnava kot ene vrste biofilm, z dokaj nerazvito strukturo, ki prekriva vse tipe potopljenih substratov. Za drugega pa je perifiton kompleksna večslojna skupnost.

Termin perifiton je sedaj prišel že v širšo rabo in označuje kompleksno skupnost mikroorganizmov, ki živijo prilepljeni na različnih vrstah potopljenih substratov in to organskih, anorganskih, živih in mrtvih. Sestavljajo pa ga: alge, bakterije, glive, protozoe, organski in anorganski detrit. Poleg tega pa prištevamo k perifitonu še organizme, ki so prisesani na substrat in tiste, ki se gibljejo po tridimenzionalni mreži, ki ga sestavlja. Ponavadi je torej perifiton strukturirana skupnost, sestavljena iz organizmov, ki imajo zelo različne velikosti, od par mikronov pa do nekaj centimetrov. Med najbolj reprezentativnimi je mikro

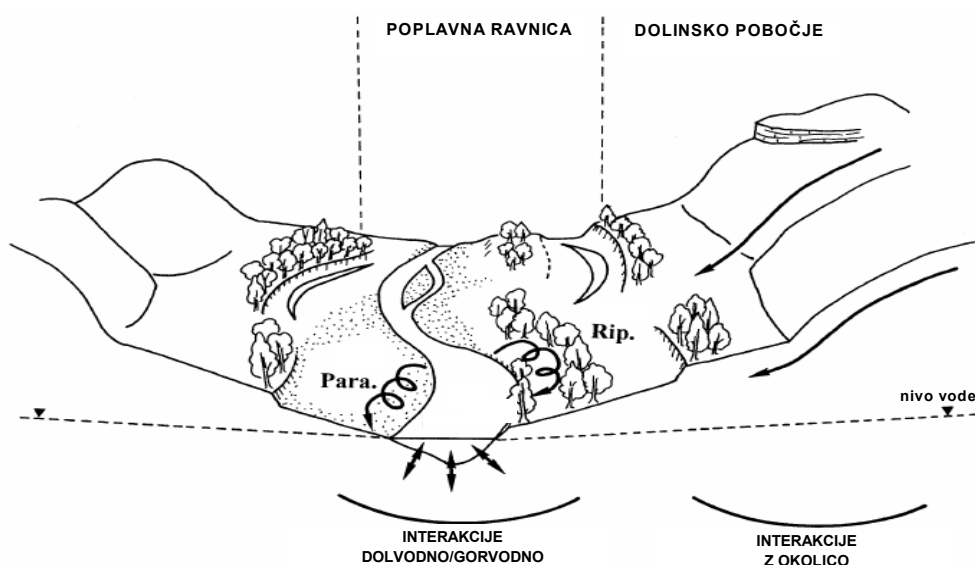
alga diatomeja (*Diatomeae*), najdemo pa še veliko drugih bentonskih alg iz različnih družin. Če upoštevamo biomaso, je perifiton v glavnem sestavljen iz avtotrofnih organizmov. Med najbolj pomembnimi vlogami, ki jih opravlja perifiton v rečnem ekosistemu, je primarna produkcija. Znano je namreč, da je v okolju s tekočo vodo delovanje fitoplanktona minimalno v primerjavi s tem, kar se dogaja v okoljih z majhno hitrostjo vode. Poleg tega ni zanemarljiva niti funkcija, ki jo perifiton opravlja v povezavi s favno bentonskih nevretenčarjev. Služi jim namreč kot prehrana in tudi kot svojevrsten mikrohabitat, ki nastaja na površju potopljenih substratov.

Okoljski dejavniki, ki vplivajo na sestavo in strukturo vegetacijskih sklopov vzdolž vodotokov, na splošno močno vplivajo tudi na perifiton. Tako lahko zaznamo specifične spremembe v sestavi skupnosti, spremembe v dimenzijah in obliki kolonij ter razlike v hitrosti razmnoževanja perifitona. Na razvoj perifitona najbolj vplivajo naslednji faktorji: prisotnost različnih hranil, hitrost vodnega toka, abrazijske sposobnosti vodotoka, kalnost vode (Ta vpliva na abrazijske sposobnosti vodotoka ter na količino svetlobe, ki doseže perifiton, torej na energijo, ki jo lahko organizmi uporabijo za proces fotosinteze.), zasenčenost vodotoka, vrsta substrata, in hranjenje rastlinojedih bentonskih organizmov.

Skupnosti organizmov, ki živijo v perifitonu, se prilagajajo na obremenitve okolja z večjimi ali manjšimi spremembami v strukturi populacije. Spremeni se specifična sestava in izginejo nekatere bolj občutljive vrste organizmov. Poznani so tudi primeri, kjer se zaradi prevelike količine organskih snovi perifiton razvije do take mere, da se večina biomase spremeni v neke vrste zaves, ki se plapolajo v strugi. Ta pojav imenujemo »blanket weeds«. Te zaves pa so večinoma sestavljene iz makrofitskih alg. Na osnovi občutljivosti perifitona na spremembe v okolju sloni mnogo metod biološkega monitoringa, s katerimi se večinoma ocenjuje obremenitev okolja z organskimi snovmi. Najbolj razširjene metode temeljijo na uporabi diatomeje, obstajajo pa tudi druge vrste alg, katerih lastnosti se izkorišča v ta namen. (Siligardi et al., 2000, str. 39-42)

2.6.2.2 Riparijsko okolje

Povodje oziroma rečni sistem lahko razdelimo na več podsistemov. Eden od teh podsistemov je tako imenovana poplavna ravnica, ki jo glede na interakcije med površinsko vodo in podtalnico delimo na več delov oziroma pasov. (Dahm et al., 1998)



Slika 17: Vzdolžni prezek vodotoka s poplavno ravnico in dolinskim pobočjem

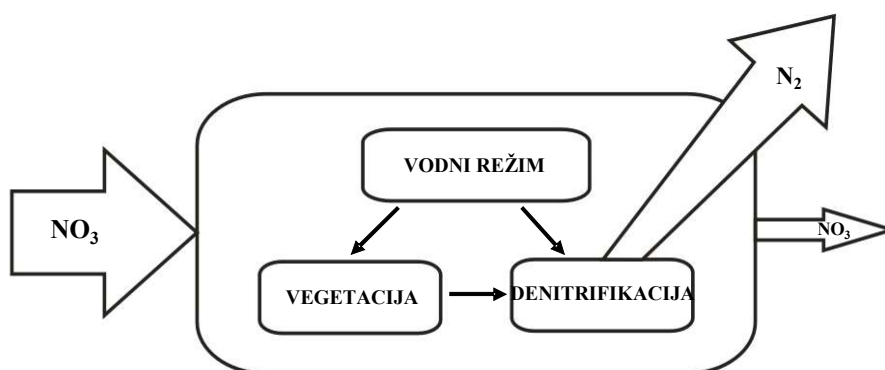
Prikazana sta riparijski in parafluvijalni pas, interakcije gorvodno/dolvodno, ciklizacija snovi in intrakcije v prečni smeri. (Dahm et al., 1998)

Izraz parafluvijalni pas se nanaša na območje znotraj aktivne struge vodotoka in izven območja nizkih voda. Ta pas je pogosto poraščen z vegetacijo, ki je sezonskega značaja. Ponavadi so to trave in druge pionirske rastlinske vrste, katere uspevajo krajša časovna obdobja, dokler jih visoke vode ne odplavijo (Slike 10, 16 in 17).

Riparijski pas je pogosto definiran kot umestni pas, ki ločuje vodne habitate od kopenskih habitatov. Za to območje so karakteristične preplavitve ob pojavu visokih vod z višjo povratno dobo (nad 5 let). Riparijski pas pa lahko definiramo tudi s pomočjo vegetacije, ki je zanj karakteristična. Na njem namreč uspevajo pretežno rastlinske vrste, ki so bolj prilagojene

spremenljivim razmeram v podtalnici. Nekatere od teh so sposobne preživeti tudi daljša obdobja potopitve. Za vse te rastline pa je značilno, da dosegajo tudi višje stopnje razvitosti, kar se v parafluvjalnem pasu ponavadi ne dogaja. Kadar imamo opravka z večjimi rekami, se za riparijski pas uporabljata še izraza poplavni gozd in riparijski gozd. (Dahm et al., 1998)

Več raziskav je že pokazalo vplive riparijskih pasov pri zaščiti vodotokov pred vnosom hranilnih snovi, ki izvirajo iz kmetijskih površin. Karakteristiko teh pasov, da zmanjšujejo in časovno porazdelijo pretok hranilnih snovi iz okolice v reko, si lahko predstavljamo kot nekakšno puftersko sposobnost. Pufterska sposobnost posameznih obrežnih pasov je v glavni meri odvisna od delovanja dveh mehanizmov. Bakterije, ki se nahajajo v tleh, vršijo denitrifikacijo, medtem ko rastline prevzemajo hranilne snovi iz tal in jih vežejo v organske spojine znotraj lastne biomase. Za učinkovito delovanje takega pufterskega pasu sta ključnega pomena vodni režim in dobro razvita vegetacija. Ta dva faktorja pa nista med seboj popolnoma neodvisna. Znano je, da vegetacija vpliva na nivo podtalnice, velja pa tudi obratno. Vodni režim v okolici vodotoka namreč vpliva na vegetacijo in na njeno rast. V riparijskem pasu tako uspevajo pretežno rastline, ki so razvile posebne mehanizme, ki jim omogočajo uspevati v takem vodnatem okolju. Vegetacijske združbe, ki se tako tvorijo, so sposobne absorbirati znatno večje količine hranil kot tiste, ki so se razvile v suhem okolju. Potrebno je še omeniti njihovo vlogo kot primarni producent ter njihovo časovno usklajenost z drugimi naravnimi življenjskimi cikli znotraj rečnega sistema. (Haycock et al., 1993)



Slika 18: Predpogoj za učinkovito delovanje pufterskega pasu (Haycock et al., 1993)

Pri procesu denitrifikacije pride do razpada dušikovitih spojin na plinski dušik (N_2), ki se sprosti v atmosfero (Slika 18). Proces se odvija s pomočjo bakterij, ki zaradi pomanjkanja kisika za dihanje uporabljajo nitrato (NO_3). Taki anoksični pogoji nastopijo takrat, ko je zemljina z vodo popolnoma zasičena (t.j. takrat, ko je nivo podtalnice visok). Denitrifikacija je torej najbolj odvisna od pogostosti in trajanja obdobja preplavitve riparijskih pasov. Spremembe v teh naravnih ciklih lahko povzročijo konkretno zmanjšanje količine odvečnega dušika oddanega v atmosfero. Denitrifikacija zahteva razpoložljivost organskega ogljika kot vir energije. V riparijskem okolju ta vir zagotavljajo odpadlo listje in veje, razpadajoče korenine in humus. Poleg tega pa na ta proces vplivajo še temperatura, vlažnost tal, struktura sedimentov in nazadnje še pH. (Siligardi et al., 2000, str. 47-49) Vegetacija tako vpliva na globino, na kateri se denitrifikacijski procesi vršijo. Koreninski sistemi rastlin, ki uspevajo v riparijskem pasu, vplivajo na razpoložljivost organskega ogljika v globljih slojih zemljine. Tako pripomorejo k ustvarjanju boljših pogojev pri procesu denitrifikacije. (Haycock et al., 1993)

Riparijske vegetacijske združbe imajo temeljno vlogo pri oblikovanju in karakteristikah rečnih ekosistemov in bistveno pripomorejo k njihovi ekološki funkcionalnosti. Prisotnost razvitih riparijskih združb precej zmanjša erozijo bregov, nekateri znanstveniki trdijo, da tudi za tridesetkrat. Poleg tega vplivajo še na transport sedimentov tako, da fizično zadržujejo material ter spremenijo hidravlične razmere v strugi. Ob pojavu visokih voda prisotnost riparijskih združb nudi ribam zavetje pred vodnim tokom in močno pospeši odlaganje sedimenta in organskih snovi. Prisotnost le travastih združb ni dovolj za zagotavljanje vseh teh funkcij. Po tej plati je učinek, ki ga ima travnata vegetacija, očitno nezadovoljiv. Še bolj pridejo te pomanjkljivosti do izraza zaradi številnih pojavov visokih voda v relativno kratkem časovnem obdobju. Prisotnost pasov dobro razvite riparijske vegetacije preprečuje hitro odtekanje ob pojavu visokih voda. To pripomore k usedanju finejših frakcij materiala in daljšemu času zadrževanja vlage v tleh. Riparijske združbe bistveno vplivajo na mikroklimatske razmere v rečnem okolju. Še posebej se pozna vpliv na temperaturo vode in tal.

Poleg tega riparijska vegetacija s tem, ko s pomočjo koreninskega sistema in krošnje prestreže površinsko odtekajočo vodo in jo s transpiracijo vrne v atmosfero, ohlaja preostalo vodo, ki v

vodotok priteka iz strani. Ta mehanizem odvzemanja latentne toplote pripomore bolj k ohranjanju nizkih temperatur vode v rekah, kot pa učinek senčenja. (Siligardi et al., 2000, str. 47-49)

Višje rastlinske vrste, ki ponavadi tvorijo riparijsko vegetacijo, so posebej prilagojene za življenje v bolj vlažnih pogojih. Njihove korenine, debla in veje so izrazito prožne in prilagodljive. Mnoge med njimi prenesejo tudi daljša obdobja potopitve. Nekatere vrste so sposobne vegetativnega razmnoževanja, tako da se polomljene vejice, korenine in debla ponovno zakoreninijo. To njihovo sposobnost mnogokrat izkoriščamo tudi pri ponovni zasaditvi brežin ob sanacijskih ukrepih. Tipični predstavniki teh rastlin spadajo v družino *Beatulaceae* (brezovke) kot je rod *Alnus* (jelše) ali pa v družino *Slicaceae* (vrbovke) kot sta rodova *Salix* (vrbe) in *Populus* (topoli). Nekaj tipičnih drevesnic in grmovnic, ki tvorijo avtohtono riparijsko vegetacijo pri nas: Črna jelša (*Alnus glutinosa*), Siva jelša (*Alnus incana*), Iva (*Salix caprea*), Bela vrba (*Salix alba*), Siva vrba (*Salix eleagnos Scop.*), Krhka vrba (*Salix fragilis*), Beka (*Salix viminalis*), Črni topol (*Populus nigra*) in Beli topol (*Populus alba*). Večina višjih rastlin, ki tvorijo riparijski pas, spada med prej naštetih rodove, čeprav se med njimi vedno najde tudi predstavnike rastlin, ki so značilne za manj vlažne habitate. (Kotar et al., 1999)

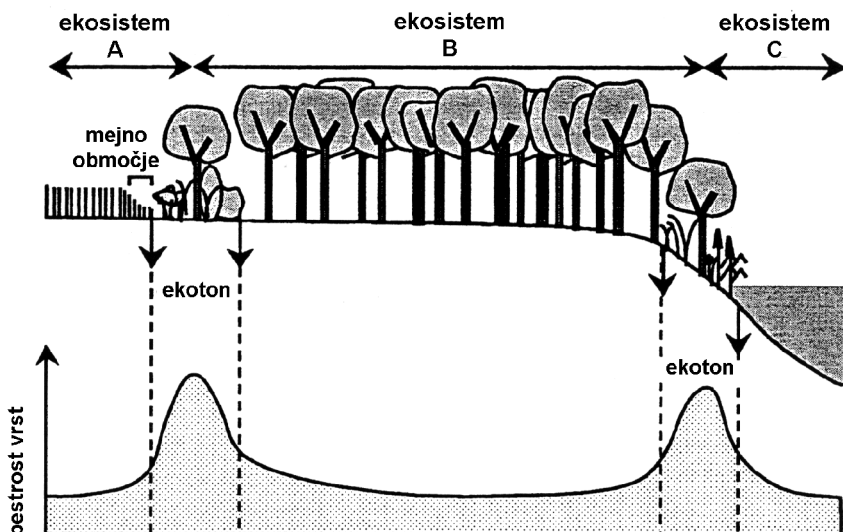
2.7 Gozdovi

Od vseh funkcij in vlog gozdov nas zanimajo predvsem okoljske. Te imajo tudi največji vpliv na funkcionalnost vodotokov. V gozdarski stroki se jih deli na: protierozijsko vlogo, vodno vlogo, pestrostno vlogo, klimatsko vlogo, zaščitno vlogo in zdravstveno vlogo. Podrobneje bomo obravnavali le vodno vlogo gozdov, saj so iz našega vidika v njej posredno zajete tudi ostale. Vodno vlogo gozdov opredeljuje predvsem vegetacijska odeja, ki vpliva na vodo in tla. (Anko et al., 1995) Njene hidrološke funkcije so naslednje: prestreza in deloma porablja padavine, zmanjšuje prehitro in škodljivo odtekanje površinskih voda, jih mehansko in kemijsko čisti, jih zadržuje in shranjuje ter skrbi za enakomernejše razporejanje količin v prostoru in času. Gozd nastopa torej kot eden izmed posrednikov med padavinami in tokom

vode v reki. Gozd vpliva na delež vode, ki bo površinsko odtekal, se vpil v gozdna tla, izhlapel v ozračje in napajal podtalnico, ki bo preko izvirov polnila struge vodotokov. Dokazov o ugodnih vplivih gozdov je več, eden najpogostejših je presihanje izvirov potem, ko smo posekali gozdove na območjih iz katerih so se napajali. Pomembno je torej ohraniti primerno stopnjo gozdnosti, saj so gozdovi bistven element v hidrološkem ciklu. (Brecelj M et al., 1994)

2.8 Ekotoni v rečnih koridorjih

Prehodi med vodnimi in kopenskimi ambientami v naravnih rečnih okoljih niso omejeni na ozke pasove riparijske vegetacije. Tranzicija se dogaja preko območja posejanega z rahlo nadvišanimi in nižinskimi predeli. Posebej raznolika so vlažna področja kot so: struge z manjšim pretokom, mrtvi rokavi, mlake, močvirja, poplavna območja in poplavni gozdovi.



Slika 19: Značilni prečni presek rečnega koridorja z ekotoni (Bizjak, 2003, str. 10)

Ti vmesni pasovi med tekočo vodo in kopenskim okoljem opravljajo mnogo funkcij.

- **ZASENČEVANJE VODOTOKA:** Prisotnost drevesne riparijske vegetacije zavaruje vodo pred prevelikim sončnim sevanjem in na ta način preprečuje povečanje temperature, ki povzroča zmanjšanje količine raztopljivega kisika. Senčni predeli so nepogrešljivi za razvoj več ribjih vrst. Ker ribe nimajo vek, slabo prenašajo okolja s preveč močno osvetlitvijo. Poleg tega senca omejuje pretirano razvijanje hidrifit.
- **ZAŠČITA BREŽIN:** Drevesne in grmičaste vrste prilagojene na to okolje (npr. vrbe in jelše) imajo močno razvite koreninske sisteme, ki sežejo globoko v zemljino in ji tako podeljujejo večjo erozijsko odpornost ter tako konsolidirajo brežine.
- **POVEČEVANJE OKOLJSKE RAZNOLIKOSTI:** Prisotnost korenin, vej, vdolbin, itd. ustvarja veliko število mikrookolij, ki povečujejo biodiverzitetu in uravnovešajo celotno biološko skupnost.
- **DOPRINOS ENERGIJE:** Vodotoki so okolja odprtega tipa. Zanje je značilno, da pridobivajo energijo iz okolišnjih virov, večinoma v obliki listja in drugega organskega drobirja. Odsotnost riparijske vegetacije je zato viden v zmanjšanju števila tistih nevretenčarjev, ki zmrviijo večje organske delce. To posledično povzroči neuravnoteženost celotne biološke skupnosti.
- **HABITAT ZA OBILO VRETENČARJEV IN NEVRETENČARJEV:** Riparijsko okolje je pomemben vir hrane in zavetja. Za sesalce predstavlja ekološki koridor, ki jim olajša njihovo gibanje. Ptice ga uporabljajo kot počivališče med selitvijo in tudi kot območje gnezdenja. Za nekatere plazilce je to preferencialni habitat, za dvoživke pa območje razmnoževanja in razvoja. Štrleče veje in korenine nudijo habitate, ki jih lahko mnoge ribje vrste uporabljajo v njihovem življenjskem ciklu.
- **EKOLOŠKI KORIDOR:** Riparijski pasovi sledijo longitudinalnemu razvoju rek tako, da prečkajo teritorij in ga tudi združujejo. V zelo antropogenih okoljih predstavljajo edini varen sistem gibanja za favno.

- **POVEČANJE BIODIVERZITETE:** Ekotonski značaj območij, ki spremljajo vodotoke in so podvržena pogostim spremembam, pripomore k prisotnosti živalskih in rastlinskih združb. Te se konstantno razvijajo in izmenjujejo med mejnimi območji. To omogoča obstoj kvantitativno in kvalitativno zelo bogatih skupnosti, v primerjavi s striktno kopenskimi okolji. Tako obilje in raznolikost sta pomembna že sama po sebi in tudi zato, ker se lahko naknadno širi na bližnje teritorije.
- **BIOLOŠKI FILTER:** Na področjih, kjer je kmetijstvo močno razvito, je doprinos dušika in fosforja preko površinsko odtekajoče vode zelo velik. To v veliki meri pripomore k eutrofizaciji rek in recipientov, v katere se te reke izlivajo (morja in jezera). Dobro razvit riparijski pas lahko prestreže velike količine takih snovi in jih nato porabi tako, da jih asimilira. Poleg tega pa še dodatno pospešuje proces denitrifikacije. (Siligardi et al., 2000, str. 47-52)

3 INDEKS FUNKCIONALNOSTI VODOTOKOV

3.1 Uvrščanje indeksa IFF

Zgodovinsko gledano so bili kriteriji presoje nekega vodotoka vedno osredotočeni na posamezne vidike vodnega ekosistema. Cilj je bil doseči neko sistematično metodo ocenjevanja na osnovi omejenega števila spremenljivk. Tako so se množili različni indeksi, zasnovani na kemijskih in bioloških raziskavah.

Indeksi, ki so rezultat obdelave posameznih parametrov, nosijo s seboj karakteristike indikatorjev, ki so v njih vključeni. Bioindikatorji zajemajo več nivojev biološke organiziranosti in jih je možno razvrstiti po njihovi odzivni hitrosti. Obstajajo namreč indikatorji, katerih značilnost je kratek odzivni čas in majhna ekološka teža in drugi, ki imajo daljši odzivni čas, vendar dajejo rezultate z večjo ekološko težo. Na primer kemijski indikatorji imajo majhen odzivni čas, ampak imajo tudi majhno ekološko težo. Nasprotno pa indikatorji na nivoju populacije lahko podajo sliko daljšega časovna obdobja in imajo večjo ekološko težo. To pa zaradi dolgotrajnih efektov, ki jih imajo obremenitve okolja na živo naravo.

Biotski indeksi za vrednotenje kvalitete vodnih okolij, kot je pri nas saprobni indeks, ohranjajo v celoti svoj pomen, ker dajejo bistveno bolj popolne podatke o območju, ki je predmet raziskave. Kljub temu se je pojavila potreba po raziskovanju drugih metod, ki naj bi bolj celostno in zgoščeno opisale fizikalno in kemijsko dinamiko procesov v vodotokih. Da bi dosegli ta cilj, pa je potrebno razširiti obzorja raziskave tako, da zajemajo širši spekter elementov ekosistema in jih obravnavamo kot celoto. Med take metode štejemo tudi IFF. (Siligardi et al., 2000, str. 57-58)

3.2 Cilji

Razširjena uporaba indeksa IFF, naj bi omogočila dosledno dokumentirati stanje, ki je mnogim znanstvenikom, ki se ukvarjajo z nadzorom ekološkega stanja vodotokov že dolgo jasno. Pokazal naj bi se močan vpliv, ki ga imajo mnogi ureditveni ukrepi na vodotoke, posledično pa naj bi se pojavila potreba po uporabi novih, okolju bolj prijaznih, ureditvenih ukrepov.

Glavni cilj metode je omogočiti ocenitev stanja vodnih okolij in njihove funkcionalnosti kot celota. V to celoto je potrebno zajeti vse elemente žive in nežive narave ter interakcije med njimi. Le tako je možno dobiti pravo sliko delovanja nekega tako kompleksnega sistema.

S pomočjo opisa morfoloških, strukturnih in biotskih dejavnikov, zaznamo njihovo vlogo ter njihovo eventualno odstopanje od stanja maksimalne funkcionalnosti. Kritično in celovito zaznavanje posameznih karakteristik sistema pa nam omogoča določitev skupnega indeksa. Taka metoda ravno zaradi svojega celovitega pristopa podaja posebne informacije. Te se lahko tudi bistveno razlikujejo od tistih, pridobljenih s pomočjo drugih indeksov in metod, ki omejujejo področje raziskave na majhno število spremenljivk. Primeri takih indeksov so: saprobni indeks, kemijske analize, mikrobiološke analize, itd. Te metode se med seboj razlikujejo po pristopu, uporabljeni tehniki in po različni velikosti opazovanega območja. Kemijske in mikrobiološke metode so osredotočene le na posamezne elemente, kot je npr. voda. Biotski indeksi področje raziskav razširijo na omočeno strugo vodotoka, IFF pa zajema celoten rečni sistem. Bolj kot se zoži območje raziskav na nižje nivoje prostora, tem bolj kompleksna orodja je potrebno uporabljati. Glede na nivo okolja, ki ga analiziramo, so tudi dobljeni rezultati bolj ali manj natančni in podrobni. Neka metoda, ki zajema podatke na nivoju povodja, nam bo podala rezultate, ki bodo imeli zelo veliko širino. Zaradi zmanjšane natančnosti pa se v njej izgubijo podrobnosti. Pri raziskavah, ki so osredotočene na nižje nivoje okolja, je potrebno uporabljati natančne merilne inštrumente, saj je le tako mogoče pridobiti podatke, ki nas zanimajo. Ko pa raziskujemo višje nivoje okolja, je potrebno zamenjati mikroskop z »makroskopom«. Ne gre torej za alternativne metode, ki tekmujejo med seboj za prevlado, ampak za take, ki se medsebojno dopolnjujejo in skupaj pripomorejo k

boljšemu poznavanju vseh hierarhičnih nivojev rečnih sistemov. (Siligardi et al., 2000, str. 58-59)

3.3 Zgodovinski razvoj

Indeks IFF izhaja iz metode RCE-I (Riparian Channel Environmental Inventory). To metodo je zasnoval R. C. Petersen iz Inštituta za Limnografijo na Univerzi v Lurdu (Švedska) proti koncu osemdesetih let prejšnjega stoletja in jo izdal leta 1992. Pri Petersenovi metodi se uporablja popisni list s šestnajstimi vprašanji, s štirimi možnimi odgovori na vsako vprašanje. Metoda je bila v osnovi namenjena zajemanju podatkov povezanih z glavnimi ekološkimi karakteristikami vodotoka. S tako pridobljenimi podatki naj bi sestavili inventuro stanja strug in riparijskih pasov na švedskem. V okviru metode je možno pridobiti ekomorfološko oceno vodotoka, ki pa ni bil mišljen kot glavni cilj raziskave.

V letu 1990 je bila metoda uporabljena v pokrajini Trento na 480 odsekih pomembnejših vodotokov. Kritična analiza tako pridobljenih podatkov je poudarila potrebo po modifikaciji originalne metode. Prilagajanje metode na morfološke ekološke karakteristike italijanskih vodotokov je bilo potrebno predvsem zaradi njihovega alpskega in predalpskega značaja. Ob vsaki novi aplikaciji, je postajala vedno bolj jasna vloga, ki jo metoda lahko zavzame. Možno jo je aplicirati, ne le kot pripomoček pri popisovanju karakteristik vodotokov, ampak predvsem kot orodje za definicijo kvalitete okolja. Tako je bila predlagana metoda RCE-2, z novim popisnim listom za ocenjevanje.

Vedno bolj se je v znanstvenih krogih pojavljala potreba po novih orodjih za vrednotenje ekosistemov, ki bi bila komplementarna že obstoječim in uveljavljenim biološkim, mikrobiološkim in kemijskim metodam, ki ostajajo še vedno temeljnega pomena. To se je pokazalo tudi s hitrim širjenjem aplikacije novega indeksa RCE-2 na italijanskem teritoriju.

Kot zelo ugodno se izkaže dejstvo, da je mogoče presoditi kvaliteto vodnih okolij z nekim metodičnim orodjem, primernim za odkrivanje funkcionalnosti in medsebojnih interakcij med podsistemi, ki sestavljajo rečni koridor. Zanimanje za metodo se je začelo širiti iz bioloških

krogov. Začenjali so jo uporabljati ne le v alpskem in predalpskem svetu, ampak tudi v Apeninih in v nižinskih predelih južne Italije.

Leta 1997 je bila v Saluggiji delavnica z naslovom: "Kvaliteta okolja v vodotokih: RCE-2 Riparian Channel and Environmental Inventory". Tam se je izkazalo, da so raziskovalci iz najrazličnejših akademskih krogov v večji ali manjši meri spreminjali popisni list RCE-2. Tako so skušali metodo prilagoditi lokalnim razmeram ali pa za uporabo v posebne namene. Številne različne aplikacije v praksi in obilica sprememb v metodi so dokazovale izjemno zanimanje zanjo ter njeno široko področje uporabe. Pokazala pa se je tudi druga stran medalje, saj se metoda ni dovolj prilagajala različnim tipologijam italijanskih vodotokov. Uresničevale so se napovedi pojavljanja množice metod iz družine RCE z različnimi vsebinami in cilji. Pokazala se je potreba po posodobitvi in posplošitvi metode tako, da bi: zajemala različne tipologije italijanskih vodotokov, bili bolj opredeljeni njeni cilji in področje uporabe in da bi bila zagotovljena primerljivost rezultatov. To zadnje naj bi se doseglo z izdajo smernic in natančnih navodil za uporabnike.

Leta 1998 je ANPA (Agenzia Nazionale per la Protezione dell'Ambiente) oblikovala delovno skupino. Ta je problematiko poglobljeno obravnavala in prediskutirala, ter se tako dogovorila o spremembah popisnega lista, možnih odgovorih na vprašanja ter njihovi teži. Zaradi vseh opravljenih sprememb, ki so bile včasih tudi male, a bistvenega pomena, se je metoda tako spremenila, da je bilo potrebno spremeniti tudi njeno ime. Tako so metodo poimenovali IFF, ali indeks funkcionalnosti vodotokov. Tako ime bolje ponazarja koncept na katerem metoda sloni in definira njen cilj. (Siligardi et al., 2000, str. 59-61)

3.4 Okvir uporabe

Indeks Funkcionalnosti vodotokov je tako zasnovan, da omogoča aplikacijo na vsakem rečnem okolju, tako gorskem kot nižinskem. Lahko ga torej uporabljamo na hudournikih in rekah, kot tudi na dovodnih in derivacijskih kanalih. Edini pogoj je prisotnost tekoče vode. Prilagojen je uporabi v alpskih, apeninskih in otoških razmerah, ali splošneje v mediteranskih razmerah. Kot pri vseh ostalih metodah tudi tu obstajajo omejitve pri aplikaciji. Obstajajo namreč taka okolja, kjer naletimo na določene težave pri uporabi tega orodja. Te se pojavljajo v posebnih primerih predvsem zaradi lokalnih posebnosti določenega območja. V nekaterih primerih torej odsvetujemo uporabo metode, v drugih pa je potrebno dobljene rezultate podrobneje preučiti, da ne bi prišlo do napačne interpretacije.

Primer, kjer aplikacija ni možna, so nekatera prehodna območja in ustja rek. Tam slanost vode in vpliv plimovanja na tok reke pripomoreta k oblikovanju takega okolja, kjer se razmere bistveno razlikujejo od sladkovodnih okolij tekočih voda. Zato tako okolje ni primerno za ocenjevanje s tem indeksom. Zaradi istih razlogov ni možna aplikacija tega orodja v okoljih, kjer voda miruje (jezera, lagune, mlake, ribniki, zaostale vode, itd.). Kadar se v zgornjem toku rek struga nahaja nad mejo drevesne vegetacije ali nad zgornjo vegetacijsko mejo, z aplikacijo metode dobimo zelo nizko oceno funkcionalnosti vodotoka. Razvidno je, da imajo lahko tudi povsem naravna okolja po fiziološki plati zelo slabo funkcionalnost. Rečne ekosisteme, predvsem tiste na visokih nadmorskih višinah, zaznamuje visoka stopnja oligotrofije, ki določa »šibko« fiziologijo sistema v ekološko-funkcionalnem smislu. Na visokih nadmorskih višinah lahko apliciramo metodo in z interpretacijo dobljenih rezultatov odkrijemo odseke, ki so močno ranljivi. Vidimo torej, da je dolžnost uporabnika, da pravilno tolmači, kar je razvidno iz rezultatov raziskav, prikazanih na kartah v grafični obliki.

Najprimernejše obdobje za opravljanje meritev je, ko je pretok nekje med sušnim in povprečnim letnim. Časovno gledano pa se morajo meritve opravljati med vegetacijsko dobo rastlin. Te zahteve so vzrok, da je potrebno obdobje meritev prilagoditi vodotokom in lokalnim hidrološkim razmeram. V primeru, da ima vodotok sezonsko suho strugo, je

potrebno meritve opravljati ob prisotnosti vode in kadar je struga popolnoma poseljena s strani vodnih združb. (Siligardi et al., 2000, str. 61-62)

3.5 *Struktura popisnega lista*

Popisni list IFF (Priloga A) je sestavljen iz prvega dela, ki se nanaša na spremne okoljske informacije in iz vprašalnika (14 vprašanj). Ta se nanašajo na glavne ekomorfološke značilnosti vodotoka in nanje je možno odgovoriti le z enim od štirih vnaprej določenih odgovorov. Spremne informacije o vodotoku vključujejo: povodje, vodotok, kraj, širino aktivne struge in dolžino homogenega odseka, ki ga obravnavamo.

Potrebno je še omeniti, da se razdelitev toka na laminarni in turbulentni, ki se zahteva pri odgovarjanju na dvanajsto vprašanje, ne ujema s klasično. Ponavadi se uporablja Reynoldsovo število, ki nam ob poznani povprečni hitrosti toka, kinematični viskoznosti tekočine in globini toka omogoča opredeljevanje toka na laminarni, turbulentni in prehodni. Biologi pa uporabljajo popolnoma drugačno delitev vodnega toka na laminarni in turbulentni, ki je precej bolj ohlapna in ni kompatibilna s klasično. Iz biološkega stališča je predvsem važno, kdaj se pričnejo na dnu struge kopičiti blazinice alg ali razvijati sklopi ukoreninjenih in plavajočih hidrofit. Glede na to pa delijo tok na laminarni ali turbulentni. Za potrebe indeksa IFF se opravi vizualna ocena, kjer privzamemo, da je tok laminaren tam, kjer je gladina vode mirna in turbulenten tam, kjer je površina vode razburkana.

Na koncu popisnega lista je še prostor, kjer lahko zapišemo: stanje kalnosti vode, posebnosti pri zajemanju podatkov, okoljske posebnosti, sestavo tal (karbonatna ali silikatna)... Tip substrata še posebno vpliva na količino raztopljenih soli v vodi in tako tudi na živo naravo. Karbonatni skalnati substrati, ki jih sestavljajo apnenčaste sedimentne kamnine, dolomiti, laporji ali metamorfne kamnine kot naprimer marmor, pripomorejo k alkalnosti vode in večji količini raztopljenih soli v njej. Posledica tega je lahko povečanje biomase nevretenčarjev, ki živijo v vodi.

Substrati iz kamnin na silicijevi osnovi so manj topljivi, sestavljajo pa jih globočnine (granit, diorit in gabro), predornine (riolit, porfir in bazalt) in metamorfne kamnine kot filit, sljuda in gnajs. Silikatne so tudi sedimentne kamnine kot jaspis, radiolarit in druge. Mešani substrati so sestavljeni iz različnih kamninskih skupin, ki izhajajo iz pobočij z različno litološko zgradbo. Oblika popisnega lista IFF omogoča študijo različnih plati okolja.

Vprašanja lahko razdelimo na različne funkcijske skupine.

- Vprašanja od 1 do 4 se tičejo stanja vegetacije na brežinah in v bližnji okolici vodotoka. Z njimi skušamo analizirati različne tipologije in sestavo vegetacije, ki vplivajo na rečno okolje, kot npr. raba okoliškega teritorija in širina naravnega riparijskega pasu.
- Vprašnji 5 in 6 se nanašata na relativno širino omočene struge ter fizične in morfološke karakteristike obalnega pasu. Odgovora na ti dve vprašanji nam podajata informacije o hidravličnih karakteristikah vodotoka.
- Vprašanja od 7 do 11 upoštevajo sestavo struge. Tukaj skušamo razpoznati različne tipologije, ki povečujejo okoljsko raznolikost in samočistilno sposobnost.
- Vprašanja od 12 do 14 zajemajo biološke karakteristike. Na ta vprašanja odgovorimo tako, da analiziramo skupnosti makrofitov in nevretenčarjev ter sestavo detrita.

Na vsak odgovor je vezana različna računsko utež (od minimalno 1 pa do maksimalno 30), ki odraža razliko v funkcionalnosti med posameznimi odgovori. Dodeljene uteži posamičnim odgovorom nimajo nobene matematične osnove, ampak izvirajo iz ocenjevanja vplivov posamičnega elementa na funkcionalne procese celotnega sistema. Vrednost indeksa IFF, ki ga dobimo, če seštejemo številčne uteži posamičnih odgovorov, lahko zavzemajo vrednosti od minimalno 14 do maksimalno 300.

Dve vprašanji (vprašanje 2 in 12) se delita na še dve različni verziji istega vprašanja. Vedno je potrebno odgovoriti le na eno od dveh variant in to na tisto, ki ustreza primeru, ki ga obravnavamo. Vprašanje 2 se nanaša na primarni ali naravni obrežni pas, vprašanje 2* pa na sekundarni ali umetni obrežni pas. Na vprašanje 12 odgovarjamo v primeru turbulentnega toka vode (po definiciji biologov), če pa je tok laminaren (po definiciji biologov) odgovarjamo na vprašanje 12*. (Siligardi et al., 2000, str. 62-65)

3.6 Usposobljenost popisovalcev

Osnovni predpogoj za apliciranje indeksa IFF s strani popisovalcev je primerno znanje na področju ekologije vodotokov in dinamike procesov, ki so povezani s funkcionalnostjo. Čeprav je res, da omogoča popisni list IFF zajemanje realnih karakteristik vodotoka, je vprašalnik tako sestavljen, da zahteva od popisovalca kritičen pristop pri razbiranju podatkov in nato še dodaten razmislek pred odločitvijo. Vedno si je potrebno zapomniti, da se odgovori na vprašanja, ki jih imamo na razpolago, ne nanašajo na cilj naše raziskave. Sestavljena so tako, da odražajo vizualni vidik nekega funkcionalnega sklopa. Površno izpolnjevanje popisnega lista lahko prikaže napačno stanje, ki se od pravilne ocene vodotoka bistveno razlikuje. (Siligardi et al., 2000, str. 69)

V vsakem primeru je potrebno, vsaj pri prvem izpolnjevanju popisnega lista, to opraviti pod vodstvom izkušenega popisovalca ali opraviti ustrezen tečaj za usposabljanje (Priloga B).

3.7 Predhodne raziskave

Preden pričnemo z izvajanjem metode in uporabo popisnega lista IFF je potrebno izvesti poglobljene študije okolja, na katerem bomo delovali. Potrebno je pridobiti ustrezno kartografijo, ki nam omogoči pregled nad celotnim vodotokom, določanje rabe terena in nenazadnje moramo odkriti, kje se nahajajo poti, ki nudijo najbolj ugoden dostop do vodotoka. Kot zelo uporabne se lahko izkažejo tematske karte (npr. vegetacija, izraba terena, itd.) in letalski posnetki. Neglede na merilo v katerem se odločimo, da bomo predstavili končne rezultate, je potrebno za delo na terenu nabaviti karte v merilu 1:25.000. To nam omogoča, da z določeno stopnjo natančnosti razpoznamo elemente, ki so potrebni za okoljsko analizo. (Siligardi et al., 2000, str. 72)

3.8 Zajemanje podatkov

Popisni list je potrebno izpolnjevati spotoma, ko se gibljemo peš po vodotoku v gorvodni smeri in opazujemo oba brega. Delo nam olajša prisotnost stez in poti na nasipih in ob strugi ter pogosti dostopi do reke. Čeprav je dostop in prehod otežen, je še vedno potrebno prehoditi vse odseke reke. V odvisnosti od dolžine vodotoka ter njegove prehodnosti je potrebno predvideti ustrezno število dni na terenu. Zaradi varnostnih in praktičnih razlogov je priporočljivo, da podatke zajemata vsaj dva popisovalca hkrati.

Kot smo že predhodno omenili, metoda in popisni list IFF nista primerna za aplikacijo tam, kjer zaradi plimovanja ob iztokih rek pride do povečane slanosti. Obdobje, ki je primerno za terensko delo, je odvisno od vodnega režima in vegetacije. Meritve se vršijo, ko je pretok nekje vmes med sušnim in strugotvornim, vedno pa v vegetacijskem obdobju rastlin.

Med tem, ko hodimo po vodotoku v smeri gorvodno, je potrebno določiti homogene odseke, kjer se karakteristike, ki jih metoda zaznava, ne spreminjajo. Za vsak tak odsek se nato izpolni en popisni list. Takoj, ko opazimo pomembnejšo spremembo, tudi samo v enem od parametrov, ki jih popisujemo, je potrebno določiti meje novega odseka, za katerega uporabimo nov popisni list. Tako je lahko odsek s homogenimi karakteristikami dolg ali kratek, ne glede na širino struge vodotoka. Kljub temu se je potrebno izogibati izpolnjevanju popisnih listov za izredno kratke odseke. Prekratki odseki bi poslabšali preglednost grafičnega prikaza rezultatov in velika količina izstopajočih primerov bi odvrčala pozornost od vodotoka kot celote. Da bi se izognili tem nevarnostim, je vredno upoštevati naslednja priporočila glede dolžine minimalnega zaznavnega odseka (MZO) (italijansko: TMR – Ttatto Minimo Rilevabile), ta je podana v odvisnosti od širine aktivne struge.

- Če je širina aktivne struge do 5 metrov upoštevamo dolžino MZO enako 30 metrov.
- Če je širina aktivne struge do 10 metrov upoštevamo dolžino MZO enako 40 metrov.
- Če je širina aktivne struge do 30 metrov upoštevamo dolžino MZO enako 60 metrov.
- Če je širina aktivne struge do 50 metrov upoštevamo dolžino MZO enako 75 metrov.

- Če je širina aktivne struge do 100 metrov upoštevamo dolžino MZO enako 100 metrov.
- Če je širina aktivne struge več kot 100 metrov upoštevamo dolžino MZO enako širini aktivne struge.

Prisotnost mostov ali drugih podobnih objektov, ki prečkajo strugo, ne opravičuje izpolnjevanje posebnega popisnega lista. Okolje je potrebno torej popisovati zvezno, brez upoštevanja točkovnih motenj. To pravilo pa ne velja, če so spremembe opazne na dolžini, ki je večja od MZO. Analogno se ne upošteva prisotnost jezov in pragov, če le ti niso tako veliki, da vplivajo na karakteristike vodotoka na odseku, ki je daljši od MZO.

Vprašanja v popisnem listu IFF imajo po štiri možne odgovore za vsak obravnavani element rečnega koridorja. Ti so ovrednoteni regresivno tako, da prvi odgovor pomeni najvišjo stopnjo funkcionalnosti za določeni okoljski parameter, četrti pa najnižjo. Ker je naravno okolje tako raznoliko, se je včasih težko opredeliti samo za enega od štirih možnih odgovorov, saj gotovo ne more odgovarjati realnemu stanju. V takih primerih mora popisovalec, ki se znajde v težavah, natančno prebrati navodila v priročniku, ter temeljito razmisliti o pravem pomenu vprašanja. Nato pa se je potrebno opredeliti in izbrati tisti odgovor, ki najbolje opisuje realno stanje. Vsekakor pa je potrebno odgovoriti na vsa vprašanja, ki so na popisnem listu.

Za nekatera vprašanja je predvidena možnost, da dodelimo različno število točk za levi breg reke (Lx) in desni breg reke (Dx). V primeru, ko imata oba bregova podobne karakteristike, je potrebno označiti isto število točk v obeh stolpcih. Če je popisani parameter isti za oba bregova, torej se nanaša na omočeno strugo ali na strugo v širšem smislu, je potrebno označiti ustrezen odgovor v srednjem stolpcu.

Če hočemo nabrati kar največ informacij, ki se tičejo posameznega odseka vodotoka, je dobro, da situacijo dokumentiramo še s fotografskim gradivom. Bistveno pa je, da na popisni list zabeležimo številko fotografije in tako preprečimo, da pride do nepotrebnih zmešnjav. Za beleženje nekaterih podatkov in posebnosti si lahko pomagamo s skiciranjem tlorisa in/ali prečnega prereza stanja. Tako lahko zabeležimo veličine kot so širina omočene in strugotvorne struge, širina riparijskih pasov itd.

Po izpolnitvi popisnega lista je potrebno opraviti seštevek vseh točk in nato določiti stopnjo funkcionalnosti IFF, za vsak breg posebej. Potrebno je biti posebno pozoren, da se prišteje točke, ki smo jih dodelili v srednji koloni, k točkam za levi in desni breg. K tako dobljenim vrednostim indeksa IFF se nato pripiše še ustrezno stopnjo funkcionalnosti in oceno funkcionalnosti. (Siligardi et al., 2000, str. 73-75)

3.9 Stopnje funkcionalnosti in njihov prikaz

Vrednosti indeksa IFF pretvorimo v pet stopenj funkcionalnosti, ki jih označimo z rimskimi številkami od I, ki označuje najboljše razmere, pa do V, ki predstavlja najslabše stanje. K vsaki stopnji funkcionalnosti je prirejena opisna ocena funkcionalnosti. Predvidene so še umestne stopnje tako, da je možno bolj natančno prikazati prehode med posameznimi glavnimi stopnjami (Preglednica 5).

Preglednica 5: Stopnje funkcionalnosti, pripadajoče ocene in referenčna barva.

Stopnja funkcionalnosti	Vrednost indeksa I.F.F.		Ocena funkcionalnosti	Barva
	od	do		
I	261	300	visoka	modra
I-II	251	260	dobra do visoka	zeleno modra
II	201	250	dobra	zelená
II-III	181	200	povprečna do dobra	rumeno zelena
III	121	180	povprečna	rumena
III-IV	101	120	slaba do povprečna	oranžno rumena
IV	61	100	slaba	oranžna
IV-V	51	60	zelo slaba do slaba	rdeče oranžna
V	14	50	zelo slaba	rdeča

(Siligardi et al., 2000, str. 68)

Vsaka stopnja funkcionalnosti ima svojo standardno barvo za uporabo pri grafičnem prikazovanju (Prilogi C in D) na kartografiji. Umestni nivoji so prikazani s polji, v katerih se izmenjujeta po dve barvi. Pri grafični predstavitvi rezultatov se uporabljata dve krivulji, ki

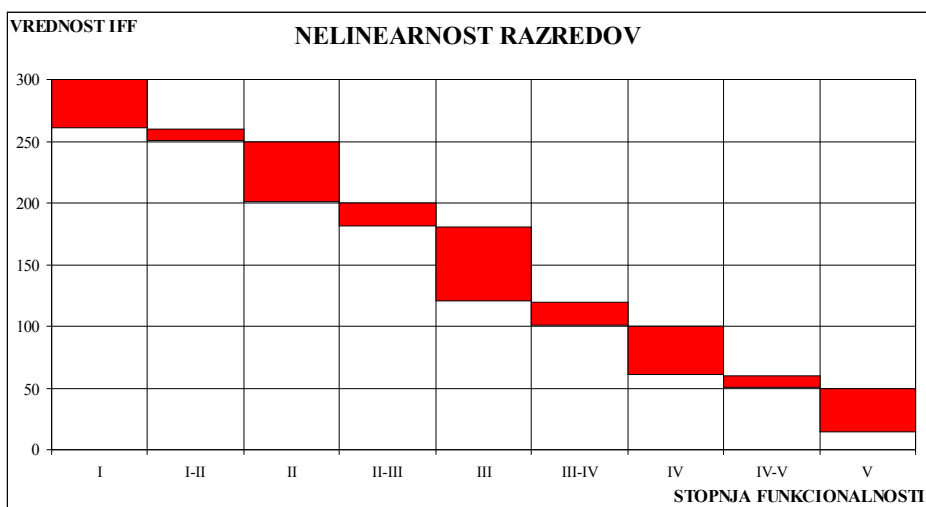
omejujeta os struge z leve in z desne, ter z ustreznimi barvami prikažeta stopnjo funkcionalnosti za vsak breg posebej. Tak način prikaza lahko uporabljamo v kombinaciji s kartami 1:10.000 in 1:25.000 za natančen prikaz, ter 1:100.000 za bolj celovit prikaz stanja. Če je pri prikazovanju potrebno, zaradi kartografskih razlogov, združiti več odsekov v enega, se to naredi tako, da se upošteva prevladujočo stopnjo funkcionalnosti, ter se krivuljo označi z ustrežno barvo.

V praksi ni dovolj, da se pri pregledu rezultatov osredotočimo le na grafični prikaz. Za pravilno interpretacijo je pomembno pregledati vrednosti indeksa IFF in po potrebi še posamezne sklope vprašanj.

V primeru, ko je skupna dolžina odsekov s stopnjo funkcionalnosti I večja ali enaka trikratni vrednosti seštevka dolžin ostalih odsekov, ki so v razredih od II do V, potem lahko vodotok obravnavamo kot neobremenjen s škodljivimi zunanjimi vplivi človeka. Primerno pa je tudi natančno pojasniti razloge za zmanjšanje funkcionalnosti v posameznih odsekih in predlagati možne ukrepe za sanacijo. (Siligardi et al., 2000, str. 68-69)

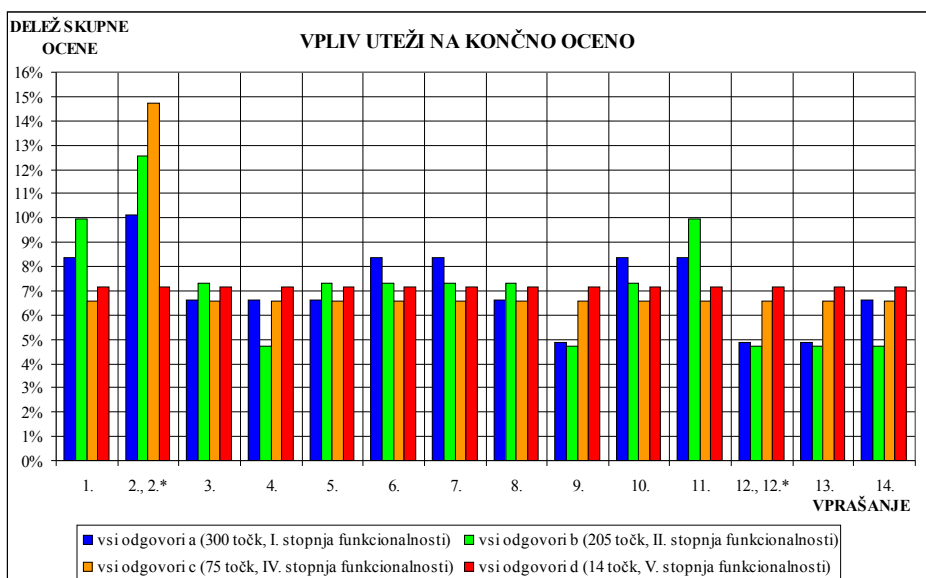
3.10 Razčlenitev metode

Ob poskusu, da bi matematično definirali ocenjevalni sistem metode, smo ugotovili, da je metoda iz tega vidika izredno kompleksna. Že samo končno število možnih točk se razlikuje glede na to ali je obrežni pas naraven (300 možnih točk) ali umeten (290 možnih točk). Vsako vprašanje ima po štiri možne odgovore (a, b, c in d). Vsak odgovor ima prirejeno določeno število točk (utež), ki določa vpliv odgovora na končni rezultat. Seštevek vseh točk, za določen odsek je definiran kot vrednost IFF, na podlagi katere določimo stopnjo in oceno funkcionalnosti. Najnižja možna vrednost IFF je 14, najvišja pa 300. Delitev na različne stopnje funkcionalnosti ni linearna. Nekatere stopnje funkcionalnosti so zelo ozke, druge pa široke (Grafikon 3).



Grafikon 3: Nelinearnost razredov

Že prej smo omenili, da so uteži vezane na posamezen odgovor in ne na vprašanje. Znotraj vsakega vprašanja so bile uteži podeljene na podlagi terenskega umerjanja metode in se jih ne da opisati z nobeno enostavno matematično funkcijo. Posledično se vpliv vprašanja na končni rezultat spreminja glede na izbrane odgovore (Grafikon 4).



Grafikon 4: Vpliv uteži na končno oceno

4 PRIMERI APLIKACIJE

4.1 *Splošno o aplikaciji metode*

4.1.1 Definicija ciljev

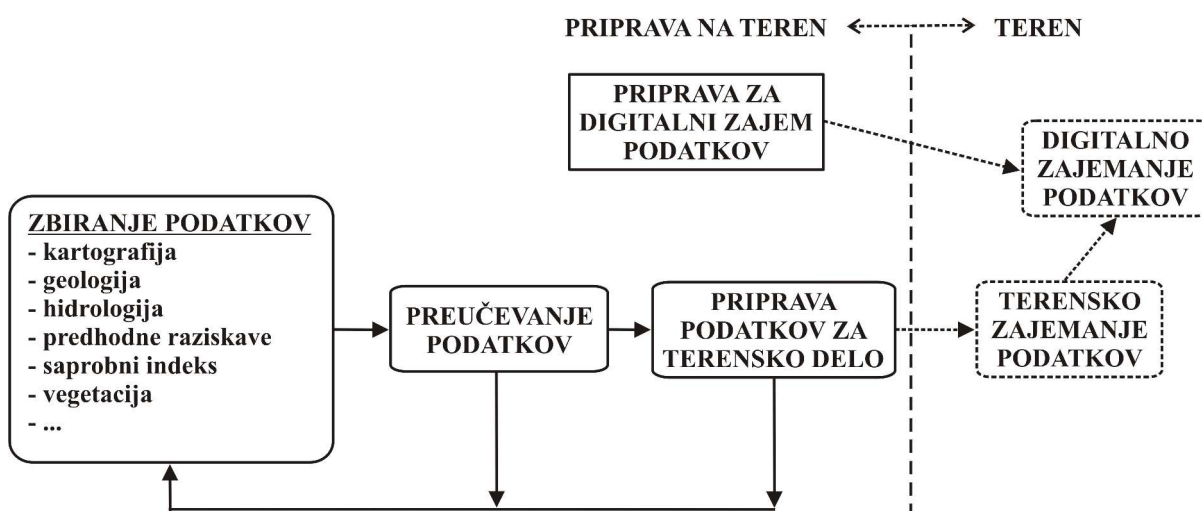
Naš glavni cilj je bil testirati metodo IFF na slovenskih rekah in ugotoviti, ali je primerna za aplikacijo pri nas. Drugi cilj pa je bil omogočiti kasnejše primerjanje podatkov in rezultatov te metode z drugimi podobnimi. Izbira vodotokov, na katerih smo metodo aplicirali, ni naključna. Da bi dosegli naš glavi cilj, je bilo potrebno uporabiti metodo na takih vodotokih, kjer bi prišel do izraza celoten spekter rezultatov. Tako smo izbrali kot prvi testni vodotok reko Dragonjo. Pravilno smo predvidevali, da bomo na njej popisali odseke od prve do tretje stopnje funkcionalnosti po IFF. Za kritje nižjih stopenj funkcionalnosti, od tri do pet, pa smo se zanašali na mestne vodotoke v Ljubljani in okolici. Izbira Dragonje, Malega Grabna, Mestne Gradaščice in Glinščice nam je omogočila testiranje metode na vodotokih, ki so s strani človeka različno obremenjeni. Poleg tega pa so to še testni vodotoki, na katerih je bilo opravljenih že veliko študij in apliciranih mnogo najrazličnejših metod.

Indeks funkcionalnosti vodotokov (IFF) je tako sestavljen, da se kar čimbolj prilagaja različnim namenom uporabe. Tako lahko na primer spreminjamo natančnost zajemanja podatkov, v odvisnosti od merila, v katerem bodo obdelani podatki prikazani. Ravno tako lahko prilagajamo število in časovni razmak med posameznimi meritvami. Kljub veliki sposobnosti prilagajanja metode pa ta ni najbolje zastavljena za uporabo v študijske namene. Ena glavnih pomanjkljivosti popisnega lista kot tudi same metode je, da ta že v osnovi ne predvideva zajemanja GPS koordinat, čeprav tega tudi ne prepoveduje. V okviru študije smo si dovolili modificirati popisni list tako, da smo mu dodali posebno vrstico za zapisovanje

GPS koordinat (Priloga A). To nam je omogočilo boljše in enostavnejše orientiranje, hitrejše popisovanje in enostavnejšo primerjavo podatkov in rezultatov med različnimi metodami. Preden smo se lotili z delom vezanim na teren, je bilo potrebno določiti še natančnost popisovanja in morebitni časovni razmak med meritvami. Odločili smo se, da bo za študijske potrebe najbolj primerno popisovati na najvišjem nivoju natančnosti. Ta izbira je logična predvsem zato, ker je v našem primeru zaželen večja količina podatkov in ker nas ne omejuje merilo pri grafičnem prikazovanju. Upoštevali smo torej le omejitev glede minimalne zaznavne dolžine odseka MZO, ki je odvisna od širine aktivne struge vodotoka. Metodo bomo na posameznem vodotoku aplicirali le enkrat, tako da definiranje časovnih presledkov med meritvami v našem primeru ni smiselno.

4.1.2 Predpriprava na teren

Pisarniško delo preden se odpravimo na teren lahko razdelimo na: zbiranje podatkov, proučevanje podatkov, priprava podatkov za uporabo na terenu ter priprava na zajemanje podatkov v digitalni obliki (Slika 20).



Slika 20: Shematski prikaz priprave na terensko delo

Pripravljalno delo pričnemo z zbiranjem podatkov o povodju. Zbiramo vse relevantne podatke o povodju, ki so nam dostopni. Zanimajo nas predvsem topografija terena, geološka sestava tal, hidrološki podatki, podatki o karakteristični vegetaciji in podatki od predhodno opravljenih raziskavah na sploh. Njihova količina pa naj bo obratno sorazmerna s predhodnim poznavanjem terena. Obvezno je potrebno pridobiti le ustrezne kartografske podatke. Za aplikacijo metode na terenu so primerne topografske karte v merilu 1:25000 ali natančnejše, ki pa jih ni mogoče dobiti v redni prodaji. Lahko so v klasični papirnati obliki ali pa v digitalni obliki, kar nam olajša kasnejše prikazovanje rezultatov.

Primarno selekcijo podatkov opravimo že kar med zbiranjem, tako da izločimo neuporabne. Natančnejšo selekcijo opravimo naknadno v fazi njihovega preučevanja. V tej fazi ugotovimo tudi, če jih imamo dovolj in če se je potrebno ponovno vrniti k njihovem zbiranju. Ko podatke osvojimo je potrebno: določiti območje na katerem se bo metoda aplicirala, ugotoviti lokacijo in primernost posameznih dostopnih poti in natančneje definirati časovni ter prostorski potek terenskega dela.

Nekateri podatki so v taki obliki, ki ni primerna za terensko delo, zato jih je potrebno fizično pripraviti za na teren. Najlažje je, da originale topografskih kart in ortofoto posnetkov fotokopiramo ali ponovno natisnemo. Ostale podatke pa si na njih označimo, tako da jih bo možno uporabiti na terenu.

Preden se odpravimo na teren je potrebno pripraviti programsko orodje za zajemanje podatkov v digitalni obliki. Tako orodje mora omogočati: enostaven vnos podatkov, kontrolo vnosa podatkov, kontrolo smiselnosti podatkov, nezahtevno obdelavo podatkov med vnosom, zahtevnejše kasnejše obdelovanje podatkov in njihovo zanesljivo hranitev. Mi smo v ta namen uporabljali komercialni program excel in v njem izdelali orodje (Priloga E4), ki v zadostni meri zadošča prej navedenim zahtevam.

4.1.3 Pripomočki in oprema na terenu

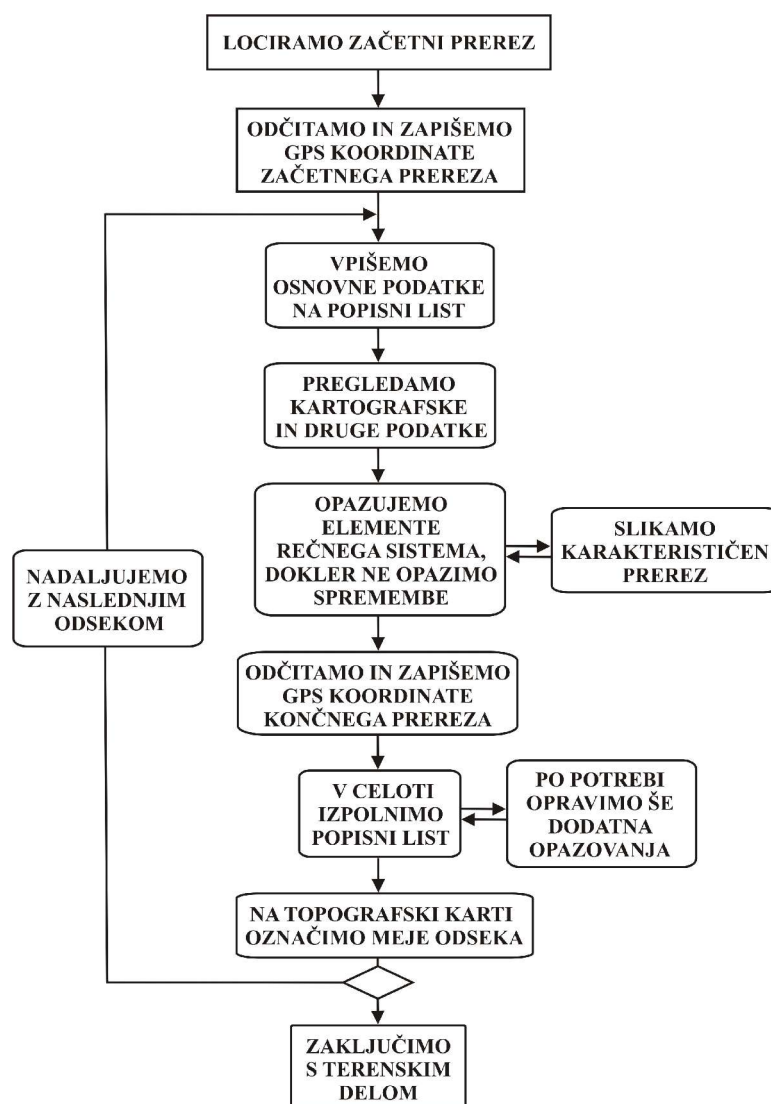
Pri zajemanju podatkov na terenu je potrebno biti ustrezno opremljen. Količina opreme in pripomočkov, ki so potrebni za uspešno popisovanje vodotokov, pa je odvisna od natančnosti popisovanja ter izkušenosti in navad popisovalca. Na terenu smo uporabljali naslednje pripomočke in opremo: topografske karte v merilu 1:25000 ali bolj natančne, ortofoto, žepni merilnik GPS, kompas, digitalni fotoaparati, ribiške škornje, priročnik IFF, zadostno število popisnih listov, svinčnik, radirko in podlogo.

4.1.4 Zajemanje podatkov na terenu

Na teren se odpravimo v skladu s predhodno definiranim planom, v katerem smo predvideli časovni in prostorski potek popisovanja. Ker smo v okviru istega plana določili tudi katere dostopne poti bomo uporabljali, nimamo pretiranih težav z lociranjem štartne točke popisovanja. Pri iskanju določene lokacije pa si lahko še vedno pomagamo z uporabo žepnega GPS merilnika. Vodotok vedno popisujemo v smeri gorvodno, ker to od nas zahteva metoda. Kadar začnemo s popisovanjem, je potrebno na topografski karti označiti lokacijo začetne točke popisovanja, ter odčitati in zapisati njene GPS koordinate na prvi popisni list. Prvi odsek namreč nima prirejenega predhodnega odseka, ki bi mu določal začetno točko. GPS koordinate začetnih in končnih točk merimo na ustreznem pravokotnem prerezu, čim bliže osi struge vodotoka.

Popisovanje odseka pričnemo tako, da v nov popisni list vpišemo osnovne podatke (povodje, vodotok, kraj, dan, list in šifra). Nato pregledamo kopiji topografskega načrta in ortofoto posnetka, ki smo jih predhodno dopolnili z vsemi dodatnimi informacijami, ki jih potrebujemo na terenu. Ko smo to opravili, smo pripravljeni za pričetek opazovanja odseka. Počasi se začnemo pomikati gorvodno in hkrati spremljamo stanje vseh elementov rečnega sistema, ki so zajeti v popisnem listu. Aktivno je potrebno spremljati: stanje okoliškega teritorija, stanje obrežnega pasu, vegetacijo v obrežnem pasu, širino riparijske vegetacije, zveznost riparijske vegetacije, hidravlične razmere v strugi, zgradbo obalnega pasu, prisotnost struktur za zadrževanje hranilnih snovi, pojav erozije, stanje prečnega prereza, strukturo dna vodotoka, tlorisne oblike struge, karakteristike vodnega toka, vegetacijo v strugi, prisotnost

organskega detrita in stanje makrobentosa. Po potrebi si lahko na popisni list kaj zapišemo ali pa skiciramo. Stanje tudi ustrezno dokumentiramo s sliko karakterističnega prereza in pri tem pazimo, da fotografiramo vedno v isti smeri. Mi smo slikali vedno v smeri toka vode. Ko opazimo spremembo stanja, ki je prisotna in/ali ki vpliva na odsek daljši od MZO, ter jo metoda zaznava, takrat je potrebno odsek zaključiti. Končna točka zaključenega odseka tako leži na osi struge vodotoka v tistem prerezu, kjer se prvič pojavlja zgoraj opisana sprememba. Ko je končna točka odseka znana, je potrebno njene GPS koordinate odčitati in jih vpisati v popisni list. Ko smo to opravili je potrebno le še izpolniti vprašalnik na popisnem listu. Če smo pri odgovarjanju na kako vprašanje v dvomih, si lahko odsek ponovno ogledamo in/ali si pomagamo s priročnikom in prej nabranimi podatki. Preden pristopimo k popisovanju novega odseka, je potrebno na topografski karti označiti meje starega, in ponovno kontrolirati, če je popisni list praviloma in v celoti izpolnjen. Če je vse v redu, se lahko lotimo s popisovanjem naslednjega odseka oziroma zaključimo s terenskim delom.



Slika 21: Shematski prikaz terenskega zajemanja podatkov

4.1.5 Naknadno procesiranje podatkov

Po opravljenih meritvah na terenu je potrebno zajete podatke čimprej digitalizirati. To delo je priporočljivo opraviti še isti dan, saj tako lažje odkrijemo morebitne napake. V ta namen uporabimo predhodno izdelano programsko orodje, ki nam omogoča enostavno testiranje digitalnih podatkov in njihovo obdelavo. Nivo obdelave podatkov je odvisen od uporabljenega programa. Naš je omogočal avtomatsko testiranje pravilnosti in smiselnosti

vnesenih podatkov, numerično ter delno grafično obdelavo podatkov. Tako dobljene rezultate je bilo potrebno naknadno prenesti še v grafično obliko. Tekst, slike, tabele in ostale rezultate smo prikazali v papirnati in v digitalni obliki (Priloge C, D, E5, E6).

4.2 Potek tečaja IFF

4.2.1 Splošno o tečaju

Tečaj je potekal od 7. do 11. junija 2004 v italijanskem mestu Trento ter v njegovi okolici. Organizator je bila APPA Trento (Agenzia Provinciale per la Protezione dell'Ambiente, Provincia Autonoma di Trento). Glavni predavatelj in odgovorni vodja tečaja je bil dr. Maurizio Siligardi, ki je tudi eden izmed avtorjev metode. Tečaja se je udeležilo 32 učencev in 14 inštruktorjev. Tečaj je bil deljen na teoretični in praktični del, ter je obsegal skupno 34 ur. Po opravljenem tečaju smo prejeli potrdilo, ki dokazuje našo uspešno udeležbo (Priloga B).

Redna cena tečaja je znašala 150 € (+ davek) in je zajemala: vpis, učni material, prevoz na teren z avtobusom in tri kosila na terenu. Kot povabljeni udeleženci tečaja smo bili oproščeni plačila.

Potek tečaja:

Ponedeljek 7. junij:

- 14:00 otvoritev tečaja
 ing. Enrico Toso
- 14:15 – 18:00 predavanje: Cenni di ecologia fluviale ed esposizione del metodo
 dr. Maurizio Siligardi in dr. M. Rita Mincardi

Torek 8. junij:

- 8:00 – 12:30 terenske vaje
 reka: Avisio, kraj: Cascata Masi di Cavalese
- 12:30 – 14:00 kosilo
- 14:00 – 18:30 terenske vaje
 reka: Travignolo, kraj: Paneveggio

Sreda 9. junij:

- 8:00 – 12:30 terenske vaje
 reka: Sacra

kraj: Ponte Arche

- 12:30 – 14:00 kosilo
- 14:00 – 18:30 terenske vaje
 reka: Sacra, kraj: Preore

Črtek 10. junij:

- 8:00 – 12:30 terenske vaje
 reka: Brenta, kraj: S. Giuliana
- 12:30 – 14:00 kosilo
- 14:00 – 18:30 samostojno delo
 reka: Fresina, kraj: Canezza

Petek 11. junij:

- 9:00 – 12:00 zaključna razprava
- 12:00 podelitev potrdil in zaključek

4.2.2 Delo na terenu

Pri terenskem delu smo bili razdeljeni v skupine po tri ali štiri učence na inštruktorja. Preostali inštruktorji so delovali kot referenčna skupina. Skupaj je bilo 11 skupin, od tega ena referenčna. Našo skupino smo sestavljali Giulia Scotti, Natale Casino, Peter Batistič ter inštruktor dr. Giuseppe Sansoni.

Terenske vaje so zajemale le praktični del aplikacije metode na terenu. Vsi potrebni podatki so bili predhodno pripravljene s strani organizatorja, ki je določil tudi dolžino odsekov. Vsaka skupina je samostojno popisovala odseke vodotokov ob prisotnosti inštruktorja, ki je vodil opazovanja. Na koncu vsakega odseka je sledila strokovna analiza. Zadnji dan je organizator predvidel preizkus sposobnosti novih popisovalcev. Vsaka skupina je morala brez vodstva inštruktorja popisati določen odsek vodotoka. Rezultati samostojnega dela so bili nato ocenjeni.



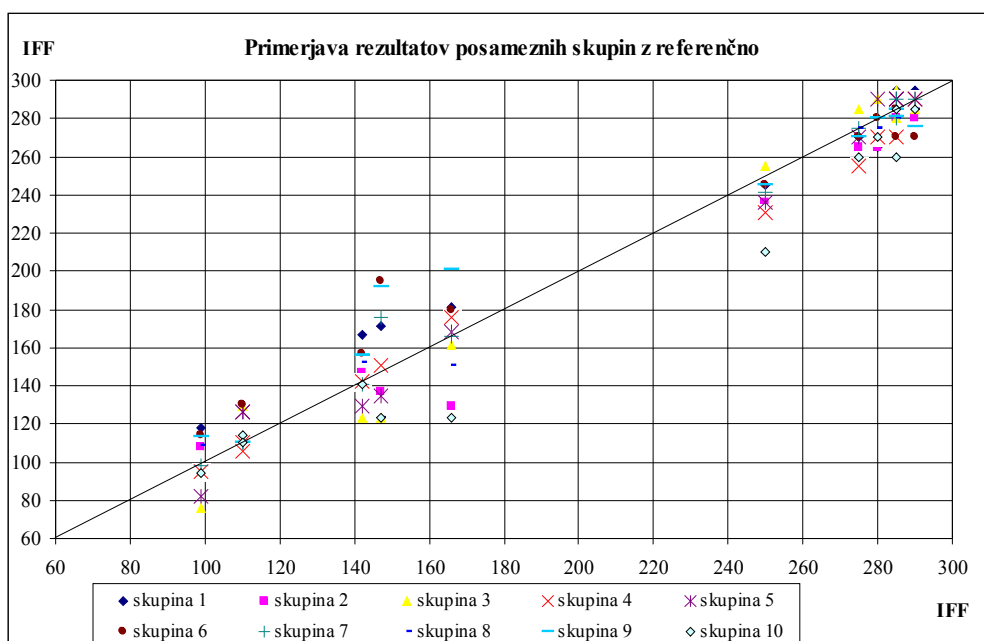
Slika 22: Delo v skupinah na odseku Sacra - Ponte Arche

4.2.3 Prikaz in analiza rezultatov

Analiza podatkov na nivoju vrednosti indeksa IFF nam je pokazala, da je ujemanje med posameznimi skupinami in referenčno skupino zelo veliko. Najvišji koeficient korelacije znaša 0,9935 za skupino 9, najnižji pa 0,9789 za skupino 4.

Preglednica 6: Vednosti IFF in koeficient korelacije

SKUPINA	ODSEK												KOEFIICIENT KORELACIJE
	Avisio Cavalese		Tarvignolo Pnevoggio		Sarca P. Arche		Sarca Preore		Brenta S. Giuliana		Fersina Canezza		
	breg		breg		breg		breg		breg		breg		
	Lx	Dx	Lx	Dx	Lx	Dx	Lx	Dx	Lx	Dx	Lx	Dx	
1	171	181	295	295	270	265	111	111	167	118	280	245	0.9898
2	137	129	290	280	265	265	112	108	147	108	280	236	0.9881
3	123	161	280	285	285	290	129	110	123	76	295	255	0.9890
4	151	176	290	290	255	270	110	106	142	95	270	231	0.9935
5	135	168	290	290	270	290	126	126	129	82	290	236	0.9899
6	195	180	270	270	270	280	130	130	157	114	285	245	0.9854
7	176	166	290	290	275	280	110	110	141	98	280	241	0.9934
8	123	151	285	285	275	275	110	110	152	109	280	245	0.9931
9	192	201	281	276	270	280	110	110	156	113	285	245	0.9789
10	123	123	285	285	260	270	114	110	141	94	260	210	0.9800
REF.	147	166	285	290	275	280	110	110	142	99	285	250	1.0000



Grafikon 5: Grafični prikaz vrednosti IFF

4.3 Primer Dragonja

4.3.1 Splošne karakteristike

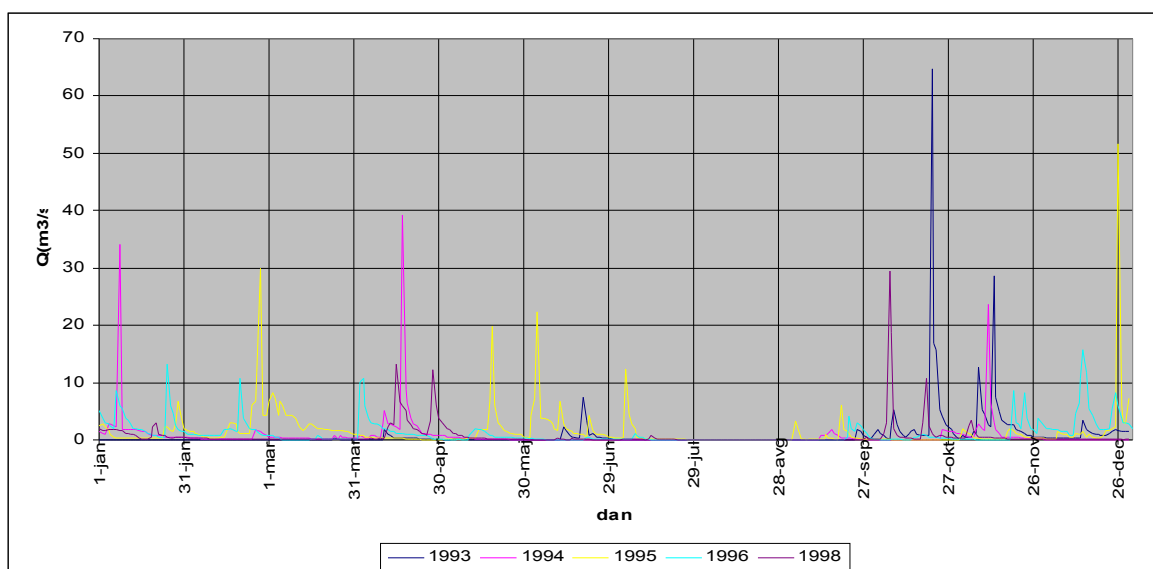
Reka Dragonja se nahaja na skrajno jugozahodnem delu Slovenije. Njeno povodje obsega cca 100 km² in večinoma leži na teritoriju Republike Slovenije, deloma pa na hrvaškem. Dolga je nekaj manj kot 29 km in izvira na nadmorski višini cca 250 m, v bližini vasi Poletiči ob vznožju Čičarije. Svojo pot zaključi v sečovljskih solinah, kjer poteka po kanalu Sv. Odorika in se nato izliva v Jadransko morje. Stara struga reke Dragonje poteka severneje skozi kraj Sečovlje.

Zgornji tok reke, od izvira pa do mosta pri kraju Škrline, je dolg cca 11 km. Povprečen padec na njem znaša 1,45%. Reka na tem odseku poteka v ozki dolini in ima pretežno hudourniški značaj. Srednji tok reke se konča ob začetku modernega nasipa v bližini mednarodnega mejnega prehoda Dragonja. Ta odsek je dolg cca 10,5 km, njegov povprečen naklon pa znaša 0,60 %. Zadnji odsek struge je dolg cca 7 km po naših meritvah, povprečen naklon pa znaša 0,20%.

V zgornjem in srednjem toku poteka struga po flišni podlagi iz obdobja eocena (starost cca 53 milijonov let). Tvorita ga peščenjak in lapor, ki nista odporna na erozijo. Ta je še posebno močna ob intenzivnejših nalivih. Za zgornji tok je tako značilen destruktivski rečno-denudacijski relief, medtem ko je za spodnji tok karakterističen akumulacijski rečno-denudacijski relief. Nanosi, ki se oblikujejo, so pretežno iz gline ali melja. Prodih nanosov je manj, saj je ta neobstoje in hitro razpade. Material, ki ga je reka odlagala v holocenu, je oblikoval široko in nizko dolino ob ustju Dragonje. To je omogočilo razvoj solinarstva v obalnem predelu in kmetijstva v zaledju. (Pogačnik et al., 1998. str. 74 do 82)

Povodje reke Dragonje se nahaja na območju obalno submediteranskega in zaledno submediteranskega podnebja. Za obalni tip, ki je znan tudi kot podnebje oljke, velja, da je povprečna temperatura najhladnejšega meseca nad 4°C, najtoplejšega pa več kot 22°C. Povprečna količina padavin znaša med 1000 do 1200 mm letno. Za zaledni podtip, ki je prisoten na zgornjem toku reke, velja, da je povprečna temperatura najhladnejšega meseca med 0 in 4°C, najtoplejšega pa od 20 do 22°C. Povprečna količina padavin je v tem primeru večja in znaša med 1200 do 1700 mm letno. Skoraj celotno povodje je v območju najdaljšega sončnega obsevanja v Sloveniji, kar omogoča rastlinam izjemno dolgo vegetacijsko dobo. (Pogačnik et al., 1998. str. 110 do 113)

Za reko Dragonjo je značilen padavinski ali pluvialni režim mediteranskega tipa. Obdobje nadpovprečnega pretoka traja od novembra do aprila, z viškom v novembru, od maja do septembra pa nastopi obdobje podpovprečnih pretokov. Najnižji pretoki se pojavljajo ravno julija in avgusta, ko so potrebe po vodi največje. Vodonepropustna flišna podlaga bistveno vpliva na hitrost odtekanja vode. Ob pojavu intenzivnejših padavin voda hitro odteče, tako da se vodostaji dvignejo in pride do izraza hudourniški značaj reke. V sušnih poletnih mesecih pa vodotok skoraj v celoti presahne. Ta pojav je še dodatno poudarjen tam, kjer struga poteka po prodnatih nanosih. (Pogačnik et al., 1998. str. 94 do 95)



Grafikon 6: Hidrogram reke Dragonje za leta 1993, 1994, 1995, 1996 in 1998 (Bizjak, 2003)

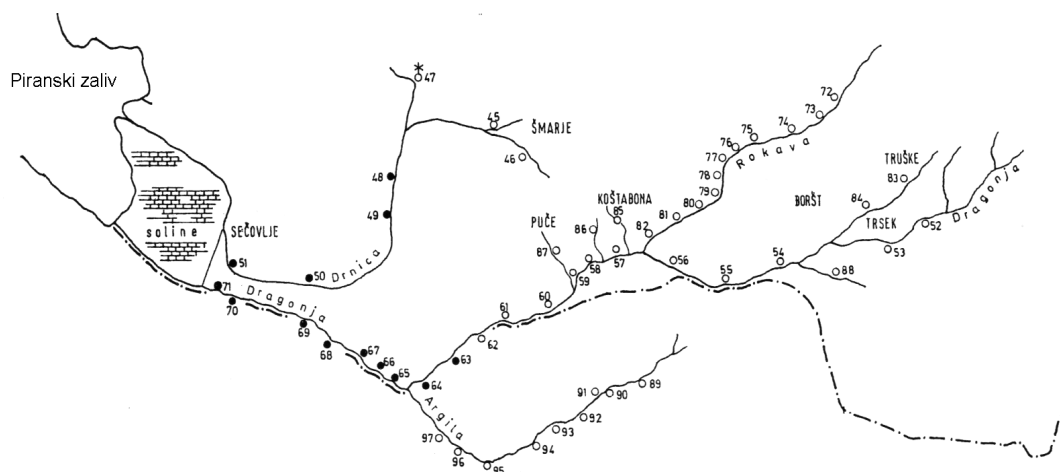
Trenutna poseljenost območja je zelo majhna, kmetovanje v dolini pa precej razširjeno. Območje v zgornjem toku je skoraj v celoti zapuščeno. S širjenjem doline proti vzhodu se pričnejo pojavljati vedno večja območja, ki so namenjena najprej zmernemu, potem pa kar intenzivnemu kmetovanju. Med najbolj pogostimi oblikami se pojavljajo sadjarstvo, vinogradništvo in vrtnarstvo. Prebivalstvo je večinoma strnjeno v manjših naseljih in vasicah kot so Križišče, Mlini in Jamnjek. Gostota prebivalstva na najbolj poseljenem predelu doline je leta 1991 znašala od 50 do 100 ljudi/km², povprečno pa je bila precej manjša in je znašala med 10 in 50 ljudi/km². (Pogačnik et al., 1998. str. 146 do 147)

Poleg kmetijstva in solinarstva v dolini reke Dragonje ni drugih večjih industrijskih kompleksov. V preteklosti je obratovalo večje število aktivnih mlinov, ki so v prvi polovici prejšnjega stoletja prenehali delovati. Mlinščice ter druge ureditve struge, ki so služile mlinarstvu, od takrat propadajo in jih je sčasoma okolje skoraj v celoti absorbiralo. Izjema je mlin Ratikljan, ki je bil v času opravljanja meritev ravno v fazi obnove (Preglednica 7, Slika 23).

Preglednica 7: Mlini in mlinščice na reki Dragonji

ime mlina	k.o.	breg	tek reke	prenehal delovati
Mazurin (52)	Trsek	L	zgornji	1960
Žankoliči (53)	Trsek	D	zgornji	1960
Žbrinčev mlin (54)	Boršt	L	zgornji	1956
Prleža (55)	Labor	L	zgornji	1948
pri Fermu (56)	Labor	D	zgornji	1948
Ratikljan (57)	Koštabona	D	srednji	1954
Košolana (58)	Koštabona	D	srednji	1945
Nemčev mlin (59)	Koštabona	D	srednji	1948
Blažev mlin (60)	Krkavče	D	srednji	1968
pri Tometiču (61)	Krkavče	D	srednji	1940
Dopijev mlin (62)	Merišče	L	srednji	1955
Fabijev mlin (63)	Merišče	L	srednji	1948
pod Dramcem (64)	Merišče	L	srednji	1948
Mučev mlin (65)	Dragonja	D	srednji	1945
Vidanišev mlin (66)	Dragonja	D	srednji	1943
Makinja (67)	Dragonja	D	srednji	1945
Škodelin (68)	Mlini	L	spodnji	1938
Bužin (69)	Mlini	L	spodnji	1919
Veliki mlin (70)	Mlini	L	spodnji	1935
pri Klimiču (71)	Mlini	D	spodnji	1943

(Bizjak 2003 str. 100)



Slika 23: Mlini na reki Dragonji (Bizjak, 2003 str. 101)

4.3.2 Prikaz in analiza rezultatov

Reko Dragonjo smo testirali na dolžini cca 17 km. Zajemanje podatkov na terenu je trajalo cca 36 ur in je bilo izvedeno konec oktobra 2004. Zaradi daljšega sušnega obdobja je bil vodostaj reke nizek. Glede na omejitve metode ni bilo mogoče popisati razmer na ustju reke ter v območju solin. Za začetni prerez smo tako izbrali prerez na mostu ob mejnem prehodu Sečovlje. Metodo smo nato zvezno uporabili v smeri gorvodno, dokler nismo dosegli stabilnega stanja, kjer sta bila oba bregova ocenjena z najvišjo stopnjo funkcionalnosti. Zadnji popisani odsek se nahaja v zgornjem toku reke, v bližini naselja Jurinčiči.

V nadaljevanju sledi preglednica s prikazom rezultatov analize na reki Dragonji. V stolpcu »delne vrednosti« so prikazani procenti maksimalnega števila točk, ki ga je mogoče doseči za posamezen ocenjevani del rečnega koridorja. V stolpcu Lx so vrednosti, ki se nanašajo na levi breg, v stolpcu x so vrednosti, ki se nanašajo na strugo vodotoka in v stolpcu Dx so vrednosti, ki se nanašajo na desni breg.

Rezultate metode smo prikazali grafično na karti v merilu 1:25 000 (Priloga C).

Preglednica 8: Prikaz rezultatov analize na reki Dragonji

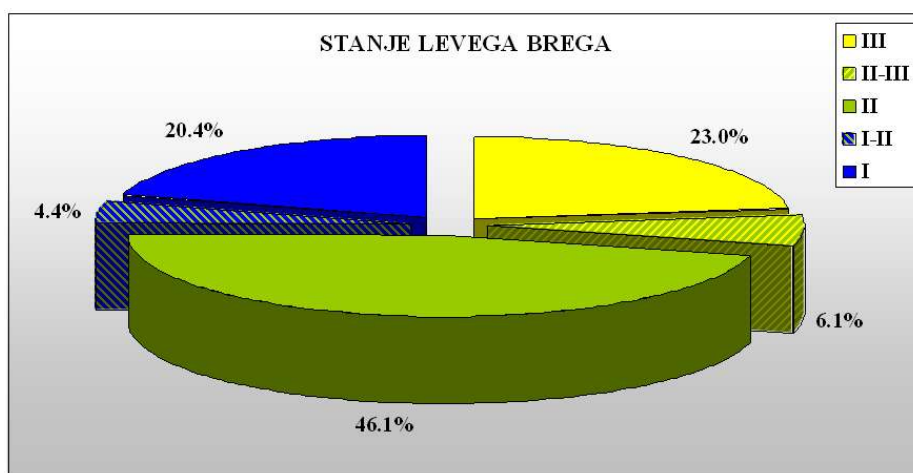
ODSEK	DOLŽINA	DELNE VREDNOSTI			VREDNOST IFF		STOPNJA FUNKCIONALNOSTI	
		#	[m]	Lx	x	Dx	Lx	Dx
10	80	29%	58%	46%	147	170	III	III
20	330	36%	61%	60%	162	195	III	II-III
30	290	26%	58%	60%	143	190	III	II-III
40	100	26%	54%	49%	137	170	III	III
50	60	16%	54%	49%	123	170	III	III
60	590	26%	54%	53%	137	175	III	III
70	330	26%	54%	53%	137	175	III	III
80	70	53%	58%	60%	180	190	III	II-III
90	420	39%	54%	53%	156	175	III	III
100	240	29%	54%	53%	142	175	III	III
110	140	19%	54%	53%	128	175	III	III
120	240	40%	48%	53%	147	165	III	III
130	100	60%	54%	53%	185	175	II-III	III
140	130	36%	54%	53%	152	175	III	III
150	130	19%	58%	60%	132	190	III	II-III
160	250	49%	61%	49%	180	180	III	III
170	110	35%	61%	71%	160	210	III	II
180	300	42%	61%	42%	170	170	III	III
190	170	64%	70%	53%	215	200	II	II-III
200	360	81%	73%	56%	245	210	II	II
210	110	78%	64%	39%	225	170	II	III
220	110	81%	73%	49%	245	200	II	II-III
230	110	81%	73%	64%	245	220	II	II
240	80	85%	73%	53%	250	205	II	II
250	470	85%	83%	60%	265	230	I	II
260	360	60%	83%	60%	230	230	II	II
270	110	64%	79%	64%	230	230	II	II
280	700	56%	64%	49%	195	185	II-III	II-III
290	180	71%	64%	67%	215	210	II	II
300	270	74%	73%	64%	235	220	II	II
310	170	71%	67%	56%	220	200	II	II-III
320	230	67%	64%	49%	210	185	II	II-III
330	430	74%	67%	64%	225	210	II	II
340	250	74%	61%	49%	215	180	II	III
350	100	61%	64%	56%	201	195	II	II-III
360	270	71%	61%	67%	210	205	II	II
370	140	89%	67%	71%	245	220	II	II
380	120	81%	64%	67%	230	210	II	II
390	70	81%	64%	67%	230	210	II	II
400	170	71%	67%	74%	220	225	II	II
410	100	81%	67%	71%	235	220	II	II
420	500	78%	64%	74%	225	220	II	II
430	500	81%	73%	74%	245	235	II	II
440	210	81%	64%	67%	230	210	II	II

se nadaljuje

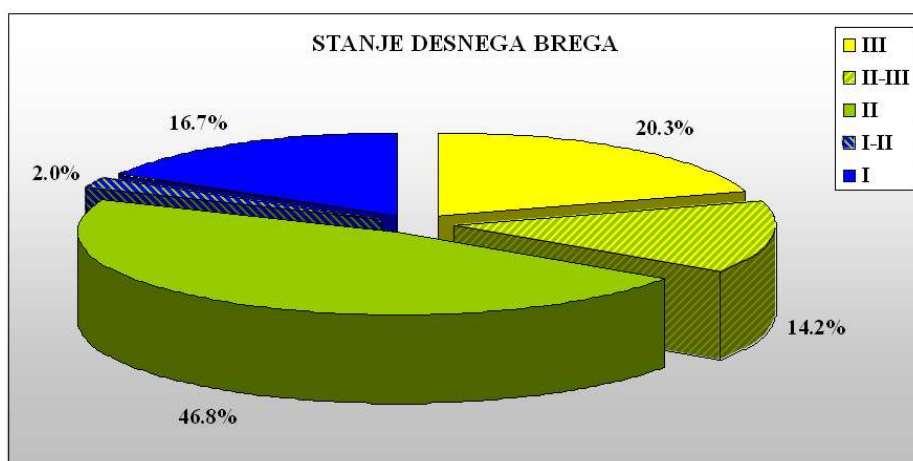
nadaljevanje

ODSEK	DOLŽINA	DELNE VREDNOSTI			VREDNOST IFF		STOPNJA FUNKCIONALNOSTI	
		#	[m]	Lx	x	Dx	Lx	Dx
450	140	79%	64%	71%	226	215	II	II
460	50	78%	70%	78%	235	235	II	II
470	210	56%	61%	67%	190	205	II-III	II
480	110	67%	61%	74%	205	215	II	II
490	60	74%	64%	54%	220	192	II	II-III
500	270	78%	76%	74%	245	240	II	II
510	270	74%	79%	71%	245	240	II	II
520	100	81%	79%	67%	255	235	I-II	II
530	150	89%	79%	74%	265	245	I	II
540	160	81%	67%	67%	235	215	II	II
550	130	81%	73%	60%	245	215	II	II
560	410	85%	73%	78%	250	240	II	II
570	50	85%	61%	71%	230	210	II	II
580	80	79%	58%	78%	216	215	II	II
590	20	81%	64%	29%	230	157	II	III
600	140	67%	70%	74%	220	230	II	II
610	230	74%	83%	60%	250	230	II	II
620	140	85%	76%	81%	255	250	I-II	II
630	90	85%	79%	81%	260	255	I-II	I-II
640	90	78%	83%	78%	255	255	I-II	I-II
650	70	81%	76%	81%	250	250	II	II
660	150	81%	79%	81%	255	255	I-II	I-II
670	200	74%	83%	74%	250	250	II	II
680	160	89%	73%	74%	255	235	I-II	II
690	180	89%	89%	89%	280	280	I	I
700	170	89%	92%	79%	285	271	I	I
710	130	79%	73%	81%	241	245	II	II
720	250	89%	92%	89%	285	285	I	I
730	120	89%	92%	81%	285	275	I	I
740	210	89%	92%	89%	285	285	I	I
750	80	79%	92%	81%	271	275	I	I
760	160	89%	92%	89%	285	285	I	I
770	390	89%	92%	79%	285	271	I	I
780	80	89%	92%	89%	285	285	I	I
790	40	82%	86%	89%	266	275	I	I
800	310	92%	92%	92%	290	290	I	I
810	70	92%	92%	85%	290	280	I	I
820	90	92%	92%	92%	290	290	I	I
830	90	92%	92%	81%	290	275	I	I
840	110	85%	92%	89%	280	285	I	I
850	80	96%	92%	81%	295	275	I	I
860	100	92%	92%	85%	290	280	I	I
870	80	85%	92%	85%	280	280	I	I
880	160	89%	92%	89%	285	285	I	I

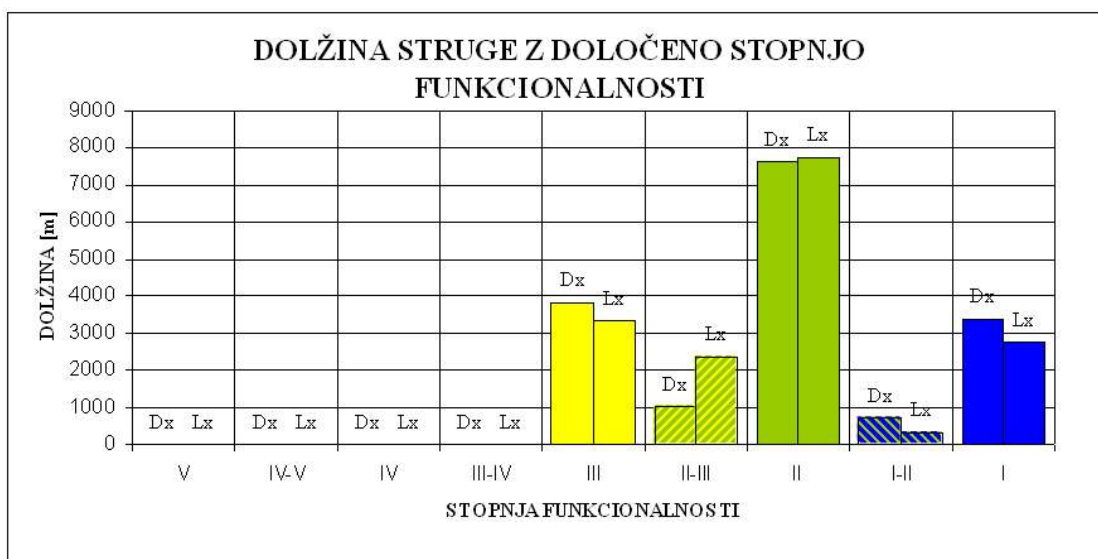
Grafikoni 7, 8 in 9 prikazujejo stanje celotnega merjenega odseka. Najnižja zabeležena stopnja funkcionalnosti je bila III, najvišja pa I. Opazimo, da ima levi breg večji delež najslabše ter najboljše ocenjenih odsekov. Kar nakazuje, da je funkcionalnost levega brega na slabih odsekih slabša kot funkcionalnost desnega brega. Obratno ne velja, saj vidimo, da je število najboljše ocenjenih odsekov za levi breg večje na račun manjšega števila slabo ocenjenih odsekov. Zaključimo lahko, da je desni breg vodotoka kot celota nekoliko slabše ocenjen kot levi.



Grafikon 7: Dolžinski procent struge ocenjen z določeno stopnjo funkcionalnosti (Lx)



Grafikon 8: Dolžinski procent struge ocenjen z določeno stopnjo funkcionalnosti (Dx)



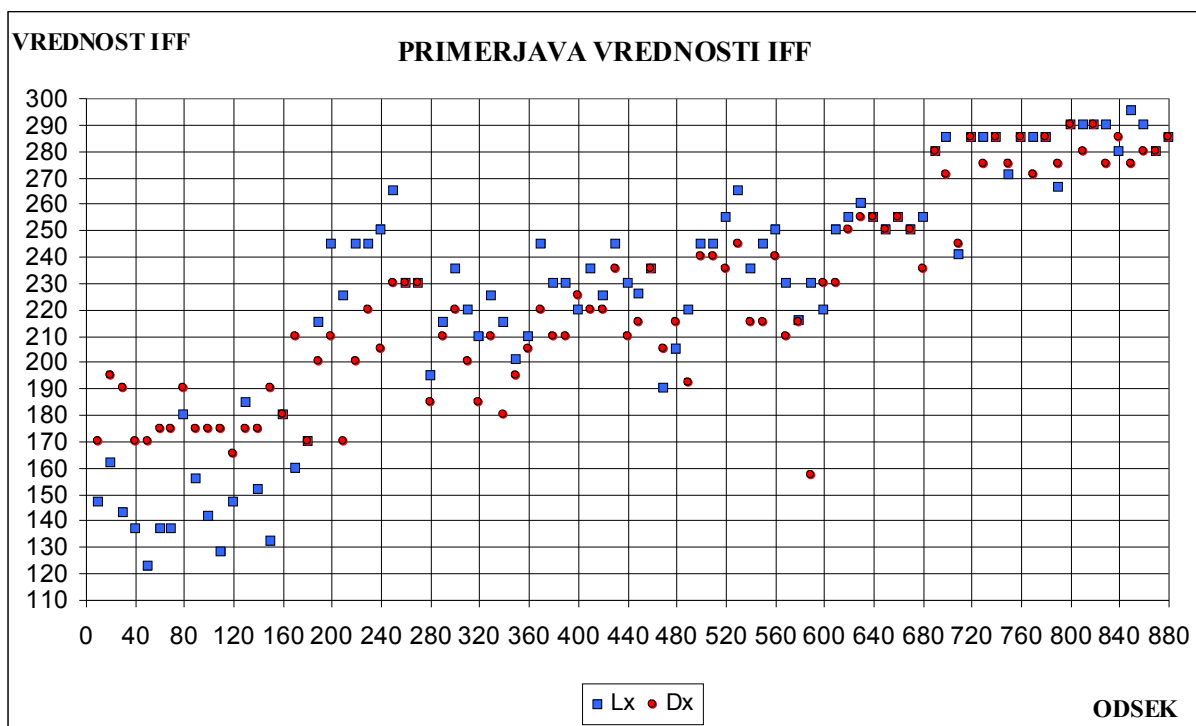
Grafikon 9: Dolžina struge z določeno stopnjo funkcionalnosti (Dragonja)

Grafikon 10 nam prikazuje dobljene vrednosti IFF za posamezni odsek. Na prvi pogled so vrednosti precej razpršene. To je posledica posebnosti kot so lokalna erozija, širina in zveznost vegetacijskega pasu ter rabe okoliškega teritorija. Če graf podrobneje pogledamo, vidimo, da se vrednosti IFF stopničasto zvišujejo in nam graf delijo na tri dele.

Prvi del, od odseka 10 do odseka 180, se skoraj v celoti ujema s pozicijo visokovodnega nasipa v spodnjem toku reke, ki se zaključuje z odsekom 160. Poleg nasipa pa je metoda zaznala tudi odsotnost vegetacije na levem bregu, kar je vzrok, da so vrednosti IFF za desni breg skoraj vedno večje kot za levi.

Drugi del se začne z odsekom 190 in se zaključuje z odsekom 680. Vrednosti na tem odseku so razmeroma konstantne oziroma rahlo naraščajo. Na levem bregu odseka 250 zabeležimo izredno visoko vrednost IFF, kar je posledica dobro razvitega riparijskega pasu in gozdnatega zaledja. Odsek 590 se ujema z lokacijo mlina Ratikljan. Na tem mestu metoda zazna odsotnost riparijske vegetacije in vpliv ureditve vodotoka.

Tretji del se začne z odsekom 670 in se nadaljuje do konca. Na njem ni mogoče zaznati nobenih večjih odstopanj od normalnega stanja.



Grafikon 10: Primerjava vrednosti IFF za levi in desni breg (Dragonja)

4.3.3 Tipski odseki



Slika 24: Reka Dragonja, odsek 30

Odsek se nahaja v spodnjem toku reke Dragonje na nadmorski višini cca 5 m. Obdajajo ga kmetijske površine in travniki. Vidni so visokovodni nasipi, torej je obrežni pas sekundarnega tipa. Trsje, ki raste izven območja aktivne struge, obravnavamo na isti način kot grmovje, če pa je prisotno v strugi, odlično zadržuje organske snovi. Vidna je erozija na levem bregu. Prečni prerez struge je umeten z naravnimi elementi (naravno dno struge).

Popisni list IFF			
	breg:	Lx	Dx
1. Stanje okoliškega teritorija:			
b) travniki, pašniki, gozdovi, neobdelane in manjše orane površine		20	
c) večinoma sezonsko, mešano in trajno obdelane površine, redko poseljeno			5
2*. Obstoječa vegetacija v sekundarnem obrežnem pasu:			
b) riparijske grmičaste združbe in/ali trsje			15
d) neriparijske grmičaste ali travnate združbe ali odsotnost vegetacije	1		
3. Širina drevesnih ali grmičastih združb v obrežnem pasu:			
a) širina vegetacije v obrežnem pasu > 30 m			20
d) ni drevesnih ali grmičastih združb	1		
4. Zveznost drevesnih ali grmičastih združb v obrežnem pasu:			
a) brez prekinitiv			20
c) pogoste prekinitve ali konsolidirana in zvezna travnata vegetacija	5		
5. Vodne razmere v strugi:			
a) širina aktivne struge je manjša od 3x širine omočene struge		20	
6. Zgradba obalnega pasu:			
b) poraščen z grmičevjem in travo	15		15
7. Strukture za zadrževanje trofnih snovi:			
a) struga z velikimi skalami in/ali stabilno zataknjenimi debli (ali prisotnost pasov trsja ali hidrofilnih rastlin)		25	
8. Erozijska:			
a) slabo razvidna in nerelevantna			20
d) zelo opazna, spodkopane in plazovite ali umetno utrjene brežine	1		
9. Prečni prerez:			
c) umeten z naravnimi elementi		5	
10. Struktura dna vodotoka:			
b) po odsekih premična		15	
11. Brzice, tolmeni ali meandri:			
c) dolge brzice in kratki tolmeni (ali obratno), malo meandrov		5	
12*. Vegetacija v omočeni strugi, ki ima "laminarni tok" vode:			
b) dobro razvit perifiton in skromna pokritost s tolerantnimi makrofiti ali slabo razvit perifiton in omejena pokritost s tolerantnimi makrofiti		10	
13. Detrit:			
b) vlaknasti in mesnati rastlinski delci		10	
14. Makrobentonska skupnost:			
b) zadostno raznolika, vendar z različno strukturo od pričakovane		10	
vrednost IFF:		143	190
stopnja funkcionalnosti.:		III	II-III

Slika 25: Izpolnjen popisni list za reko Dragonjo, odsek 30



Slika 26: Reka Dragonja, odsek 270

Odsek se nahaja v srednjem toku reke Dragonje na nadmorski višini cca 20 m. Obdajajo ga kmetijske površine. Oblika prečnega prereza je naravna, torej je to obrežni pas primarnega tipa. Riparijski vegetacijski pas je sorazmerno ozek, na njem prevladujejo grmičaste rastlinske vrste riparijskega tipa. Skalnatno dno je težko premično in učinkovito zadržuje organske snovi.

Popisni list IFF			
	breg:	Lx	Dx
1. Stanje okoliškega teritorija:			
c) večinoma sezonsko, mešano in trajno obdelane površine, redko poseljeno		5	5
2. Obstoječa vegetacija v primarnem obrežnem pasu:			
b) riparijske grmičaste združbe in/ali trsje		25	25
3. Širina drevesnih ali grmičastih združb v obrežnem pasu:			
b) širina vegetacije v obrežnem pasu 5-30 m		15	15
4. Zveznost drevesnih ali grmičastih združb v obrežnem pasu:			
a) brez prekinitev		20	20
5. Vodne razmere v strugi:			
a) širina aktivne struge je manjša od 3x širine omočene struge			20
6. Zgradba obalnega pasu:			
b) poraščen z grmičevjem in travo		15	15
7. Strukture za zadrževanje trofnih snovi:			
a) struga z velikimi skalami in/ali stabilno zataknjenimi debli (ali prisotnost pasov trsja ali hidrofilnih rastlin)			25
8. Erozija:			
b) samo v zavojih in zožitvah		15	15
9. Prečni prerez:			
b) naraven z umetnimi elementi			10
10. Struktura dna vodotoka:			
a) raznolika in stabilna			25
11. Brzice, tolmeni ali meandri:			
b) prisotni na različnih razdaljah in v neenakomernem zaporedju			20
12*. Vegetacija v omočeni strugi, ki ima "laminarni tok" vode:			
b) dobro razvit perifiton in skromna pokritost s tolerantnimi makrofiti ali slabo razvit perifiton in omejena pokritost s tolerantnimi makrofiti			10
13. Detrit:			
a) razpoznavni in vlaknasti rastlinski delci			15
14. Makrobentonska skupnost:			
b) zadostno raznolika, vendar z različno strukturo od pričakovane			10
	vrednost IFF:	230	230
	stopnja funkcionalnosti.:	II	II

Slika 27: Izpolnjen popisni list za reko Dragonjo, odsek 270



Slika 28: Reka Dragonja, odsek 660

Odsek se nahaja v zgornjem toku reke Dragonje na nadmorski višini cca 90 m. Z obeh strani ga obdajajo gozdovi. Oblika prečnega prereza je naravna, torej je to obrežni pas primarnega tipa. Riparijski vegetacijski pas je širši od 30 m in na njem prevladujejo grmičaste rastlinske vrste riparijskega tipa. Širina aktivne struge je večja od trikratne širine omočene struge. Skalnato dno je odsekoma premično in je v kombinaciji z vegetacijo sposobno učinkovito zadrževati organske snovi.

Popisni list IFF			
	breg:	Lx	Dx
1. Stanje okoliškega teritorija:			
a) gozdovi		25	25
2. Obstoječa vegetacija v primarnem obrežnem pasu:			
b) riparijske grmičaste združbe in/ali trsje		25	25
3. Širina drevesnih ali grmičastih združb v obrežnem pasu:			
a) širina vegetacije v obrežnem pasu > 30 m		20	20
4. Zveznost drevesnih ali grmičastih združb v obrežnem pasu:			
a) brez prekinitiv		20	20
5. Vodne razmere v strugi:			
b) širina aktivne struge je večja od 3x širine omočene struge (sezonsko nihanje vode)		15	
6. Zgradba obalnega pasu:			
b) poraščen z grmičevjem in travo		15	15
7. Strukture za zadrževanje trofnih snovi:			
a) struga z velikimi skalami in/ali stabilno zataknjenimi debli (ali prisotnost pasov trsja ali hidrofilnih rastlin)		25	
8. Erozija:			
b) samo v zavojih in zožitvah		15	15
9. Prečni prerez:			
a) naraven		15	
10. Struktura dna vodotoka:			
a) raznolika in stabilna		25	
11. Brzice, tolmeni ali meandri:			
b) prisotni na različnih razdaljah in v neenakomernem zaporedju		20	
12*. Vegetacija v omočeni strugi, ki ima "laminarni tok" vode:			
b) dobro razvit perifiton in skromna pokritost s tolerantnimi makrofiti ali slabo razvit perifiton in omejena pokritost s tolerantnimi makrofiti		10	
13. Detrit:			
a) razpoznavni in vlaknasti rastlinski delci		15	
14. Makrobentonska skupnost:			
b) zadostno raznolika, vendar z različno strukturo od pričakovane		10	
vrednost IFF:		255	255
stopnja funkcionalnosti.:		I-II	I-II

Slika 29: Izpolnjen popisni list za reko Dragonjo, odsek 660



Slika 30: Reka Dragonja, odsek 800

Odsek se nahaja v zgornjem toku reke Dragonje na nadmorski višini cca 110 m. Obdajajo ga gozdovi. Oblika prečnega prereza je naravna, torej je to obrežni pas primarnega tipa. Riparijski vegetacijski pas zvezno prehaja v okoliško vegetacijo, na njem pa prevladujejo grmičaste rastlinske vrste riparijskega tipa. Skalnatno dno je težko premično in učinkovito zadržuje organske snovi.

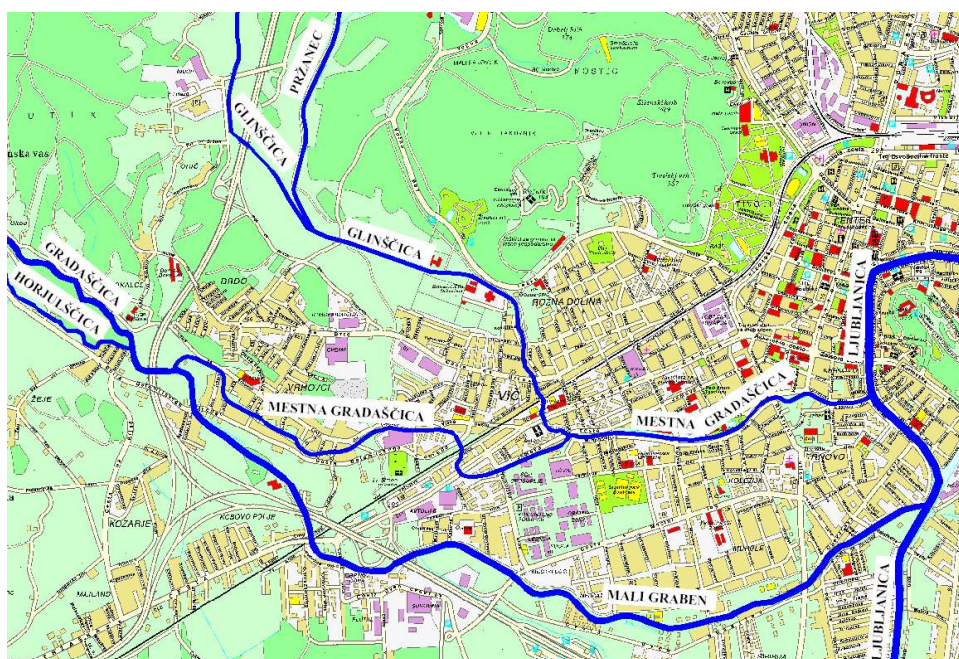
Popisni list IFF			
	breg:	Lx	Dx
1. Stanje okoliškega teritorija:			
a) gozdovi		25	25
2. Obstoječa vegetacija v primarnem obrežnem pasu:			
b) riparijske grmičaste združbe in/ali trsje		25	25
3. Širina drevesnih ali grmičastih združb v obrežnem pasu:			
a) širina vegetacije v obrežnem pasu > 30 m		20	20
4. Zveznost drevesnih ali grmičastih združb v obrežnem pasu:			
a) brez prekinitiv		20	20
5. Vodne razmere v strugi:			
a) širina aktivne struge je manjša od 3x širine omočene struge		20	
6. Zgradba obalnega pasu:			
a) skalnat ali/in poraščen z drevesnimi združbami		25	25
7. Strukture za zadrževanje trofnih snovi:			
a) struga z velikimi skalami in/ali stabilno zataknjenimi debli (ali prisotnost pasov trsja ali hidrofilnih rastlin)		25	
8. Erozija:			
a) slabo razvidna in nerelevantna		20	20
9. Prečni prerez:			
a) naraven		15	
10. Struktura dna vodotoka:			
a) raznolika in stabilna		25	
11. Brzice, tolmuni ali meandri:			
a) dobro razvidni in ponavljajoči		25	
12. Vegetacija v omočeni strugi, ki ima "turbolentni tok" vode:			
b) slabo razvit perifiton in omejena pokritost z makrofiti		10	
13. Detrit:			
a) razpoznavni in vlaknasti rastlinski delci		15	
14. Makrobentonska skupnost:			
a) dobro strukturirana in raznolika, primerna za tipologijo vodotoka		20	
vrednost IFF:		290	290
stopnja funkcionalnosti.:		I	I

Slika 31: Izpolnjen popisni list za reko Dragonjo, odsek 800

4.4 Primer Mestna Gradaščica, Mali graben in Glinščica

4.4.1 Splošne karakteristike

Gradaščica nastane, ko se v bližini Polhovega Gradca združita potoka Mala voda in Božna. Preden vstopi v mestno okolje, se vanjo izliva še edini večji pritok Horjulščica. Ko Gradaščica priteče do Bokalskega jezusa, se tam razdeli na dva kraka, prvi je Mestna Gradaščica, drugi pa Mali graben. Prispevno območje Gradaščice na prerezu pred Bokalskim jezom je veliko 154,3 km², dolžina struge znaša 26,1 km, povprečni padec pa je 0,73 %. (Anzeljc et al.,2002)



Slika 32: Ljubljanski mestni vodotoki

Mestna Gradaščica je dejansko star derivacijski kanal, ki sedaj deluje delno kot razbremenilni kanal, delno pa kot odvodni kanal za potrebe mestnega okolja. Kot že samo ime nakazuje, ga skoraj v celoti obdaja urbanizirano okolje. V prvem delu prečka naselje Vrhovci v smeri severozahod – jugovzhod, dokler ne vstopi v naselje Vič. V bližini Gimnazije Vič se križa z

železniško progo in Tržaško cesto, ter se nato obrne proti zahodu. Pri križišču med Koprsko in Jamovo ulico se vanjo izteka se Glinščica. Po približno dveh kilometrih se njena pot zaključi z izlivom v Ljubljanico. Mestna Gradaščica je dolga 5,2 km, njena struga pa je v celoti kanalizirana z impermeabiliziranim dnom.

Mali graben poteka sprva po relativno neposeljenem območju, južno od naselja Vrhovci. Ko teče skozi naselje Dolgi most, pride do velikega števila križanj z navadnimi cestami, železniško progo ter dvakrat z ljubljansko obvoznico. Vodotok nadaljuje svojo pot proti vzhodu, ter se na južnem delu naselja Trnovo izliva v Ljubljanico. Dolg je cca 5,9 km in poteka po relativno naravni strugi.

Glinščica izvira pri Toškem Čelu in se s severozahoda približuje območju Rožnika in Šišenskega hriba. Z ljubljansko obvoznico se križa v bližini izvoza Brdo in nato nadaljuje svojo pot proti vzhodu. Preden se sreča z Brdnikovo ulico, se vanjo izliva še potok Pržanec, ki priteče iz območja Kosez. Od lesenega mosta, kjer se križa s Potjo spominov in tovarištva, pa do njenega izliva v Mestno Gradaščico, je struga Glinščice pravilne trapezne oblike ter obložena z betonskimi ploščami.

Glinščica je dolga cca 12,5 km, povprečni padec struge znaša 0,2 do 0,3 %. Padavinsko prispevno območje Glinščice obsega 17,4 km². Položaj odvodnice znotraj urbanega območja določa odvodnja meteornih voda s kanalizacijskim sistemom, zato orografska razvodnica ne sovпада vedno s prispevnim območjem Glinščice. Skupno prispevno območje Glinščice do izliva v Gradaščico je nekoliko večje in zajema 19,3 km² površine. (Rusian, 2005. str. 9)

Zbirno območje Gradaščice obsega večji del Polhograjskega hribovja. Za to predalpsko pokrajino je značilna zelo pestra geološka sestava tal. V zgornjem toku Gradaščice in njenih pritokov prevladujejo dolomiti in apnenci, v srednjem in spodnjem toku pa najdemo prod, grušč, brečo, glinovce, meljevce, peščenjak, glino ter melj. Starejše kamenine (250 do 300 milijonov let) so nastajale v karbonu, permu in triasu, mlajši nanosi pa v kvartarju. Geološka sestava tal po katerih teče Glinščica je zelo podobna prej opisani za srednji in spodnji tok Gradaščice. Od ljubljanskih mestnih vodotokov teče po relativno naravni strugi le Mali

graben, ki pa je v geološkem smislu nadaljevanje Gradaščice. (Pogačnik et al., 1998. str. 74 do 77).

Za območje Polhograjskega hribovja, iz katerega se napaja Gradaščica, je karakteristično zmerno celinsko podnebje zahodne in južne Slovenije. Za ta tip podnebja je značilno da je: povprečna aprilska temperatura nižja od oktobrske, padavinski režim je submediteranski, povprečna letna količina padavin pa znaša med 1300 in 2800 mm. V Ljubljani in njeni okolici je zmerno celinsko podnebje osrednje Slovenije, ki se od prej opisanega tipa razlikuje predvsem po manjši količini padavin (od 1000 do 1300 mm). Za Ljubljansko kotlino je značilen temperaturni obrat. Njegov vpliv se čuti še pozno spomladi, kar se odraža na skrajšani vegetacijski dobi rastlin. (Pogačnik et al., 1998. str. 110 do 113)

Ravninski predeli zahodno od Ljubljane, po katerih tečeta Gradaščica, Glinščica preden vstopita v mestno okolje, so namenjeni kmetovanju. Po večini so to njive in obdelani travniki, ki bremenijo vodotoke s hranilnimi snovmi. Bistveno večji vpliv kot kmetijstvo ima na vodotoke mestno okolje. Po podatkih iz leta 1994 je na območju zahodno od Ljubljane gostota prebivalstva znašala med 10 do 100 ljudi/km², v strnjjenih naseljih pa do 500 ljudi/km². Ko se približamo glavnemu mestu, gostota populacije sunkovito poskoči nad 500 ljudi/km². (Pogačnik et al., 1998. str. 146 do 147)

Pri ekotoksikološkem kartiranju površinskih voda mestne občine Ljubljana (2003), ki je obsegalo vodotoke Glinščica, Pržanec, Mali Graben in Mestna Gradaščica, se je izkazalo, da je bila voda v treh manjših vodotokih večkrat strupena. Stanje Malega Grabna pa naj bi bilo nekoliko boljše, saj je bil ta strupen le enkrat, na Dolgem mostu v prerezu takoj po izpustu vode iz cestnih površin. Meritve so trajale eno leto in so bile izvedene enkrat mesečno. Strupenost vode je bila določena na osnovi bioloških laboratorijskih raziskav. V zaključku je bilo med drugim ugotovljeno, da je strupenost vodotoka na določenem mestu v veliki meri odvisna od: vremenskih razmer, letnega časa, gnojenja, uporabe pesticidov in herbicidov ter izpustov iz industrijskih objektov.

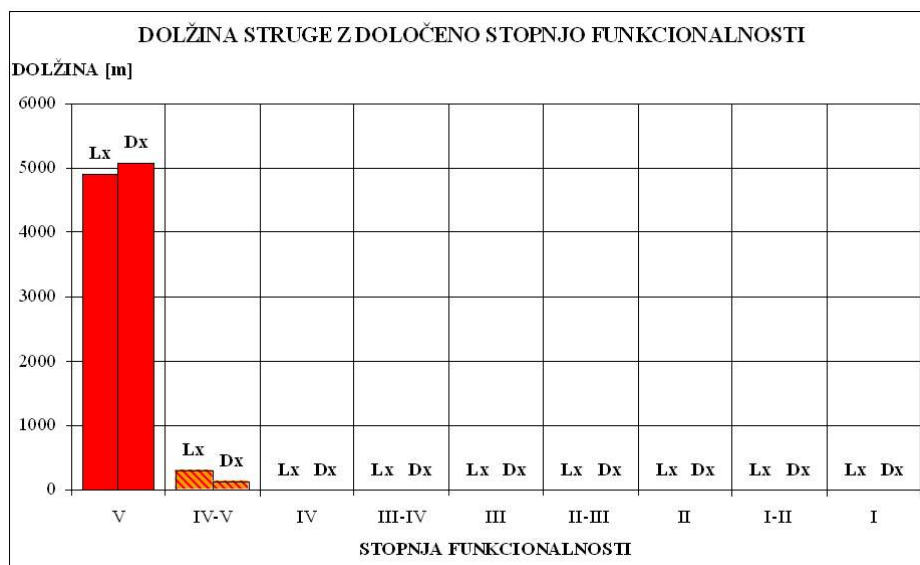
4.4.2 Prikaz in analiza rezultatov

Metodo IFF smo uporabili po celotni dolžini Mestne Gradaščice. Popisali smo jo v dveh dneh, in sicer prvi dan na odseku od iztoka v Ljubljano do sotočja z Glinščico, drugi dan pa preostali del. Skupno je terensko delo trajalo cca 4 ure. Drugi dan popisovanja je bil izveden izven vegetacijske dobe rastlin, kar je otežilo njihovo identifikacijo.

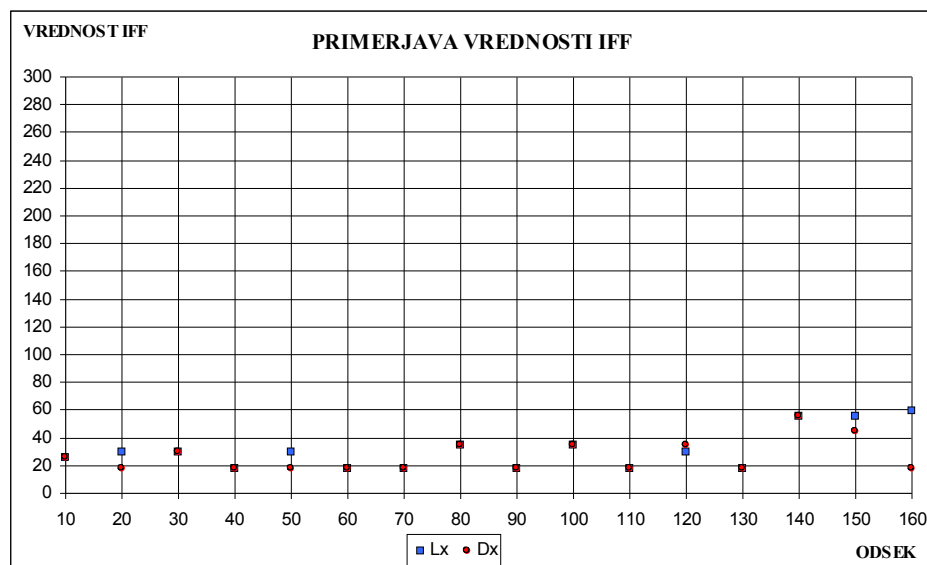
Stopnjo funkcionalnosti smo grafično prikazali v merilu 1:10 000 (Priloga D).

Preglednica 9: Prikaz rezultatov analize na Mestni Gradaščici

ODSEK	DOLŽINA	DELNE VREDNOSTI			VREDNOST IFF		STOPNJA FUNKCIONALNOSTI	
		Lx	x	Dx	Lx	Dx	Lx	Dx
10	927	9%	0%	9%	26	26	V	V
20	261	9%	3%	0%	30	18	V	V
30	73	9%	3%	9%	30	30	V	V
40	399	0%	3%	0%	18	18	V	V
50	76	9%	3%	0%	30	18	V	V
60	293	0%	3%	0%	18	18	V	V
70	798	0%	3%	0%	18	18	V	V
80	84	13%	3%	13%	35	35	V	V
90	124	0%	3%	0%	18	18	V	V
100	224	13%	3%	13%	35	35	V	V
110	1207	0%	3%	0%	18	18	V	V
120	152	9%	3%	13%	30	35	V	V
130	284	0%	3%	0%	18	18	V	V
140	132	28%	3%	28%	55	55	IV-V	IV-V
150	87	28%	3%	20%	55	45	IV-V	V
160	79	31%	3%	0%	59	18	IV-V	V



Grafikon 11: Dolžina struge z določeno stopnjo funkcionalnosti (Mestna Gradaščica)



Grafikon 12: Primerjava vrednosti IFF za levi in desni breg (Mestna Gradaščica)

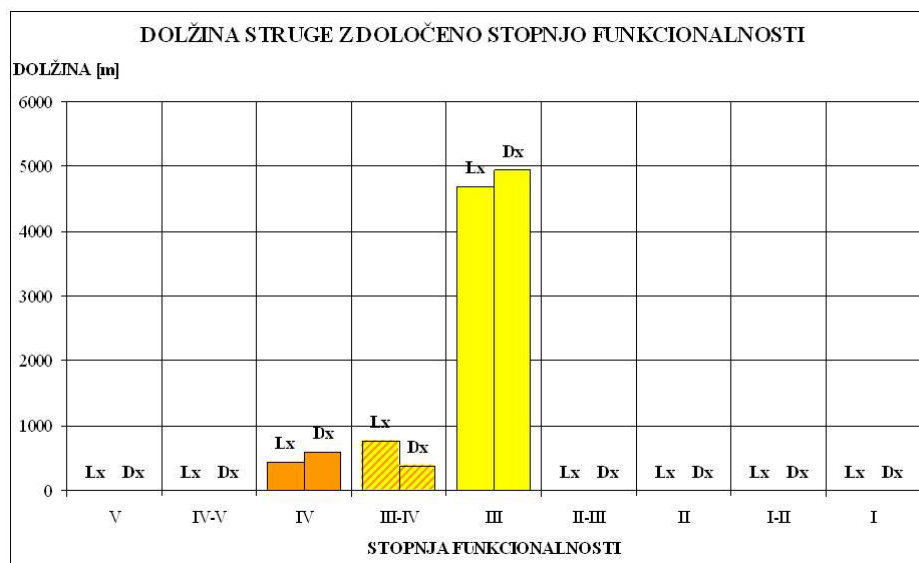
Iz grafikonov 11 in 12 je razvidno, da je bil večji del Mestne Gradaščice uvrščen v peto stopnjo funkcionalnosti. Krajši odsek vodotoka je bil uvrščen med peto in četrto stopnjo funkcionalnosti, kar je še vedno zelo slabo. Nihanja v vrednosti indeksa IFF so med odseki zelo majhna. Ob malo manjši natančnosti zajemanja podatkov bi bil vodotok verjetno

razdeljen na dva ali maksimalno tri odseke. Monotonost je predvsem posledica stroge ureditve struge in odsotnosti primarne vegetacije.

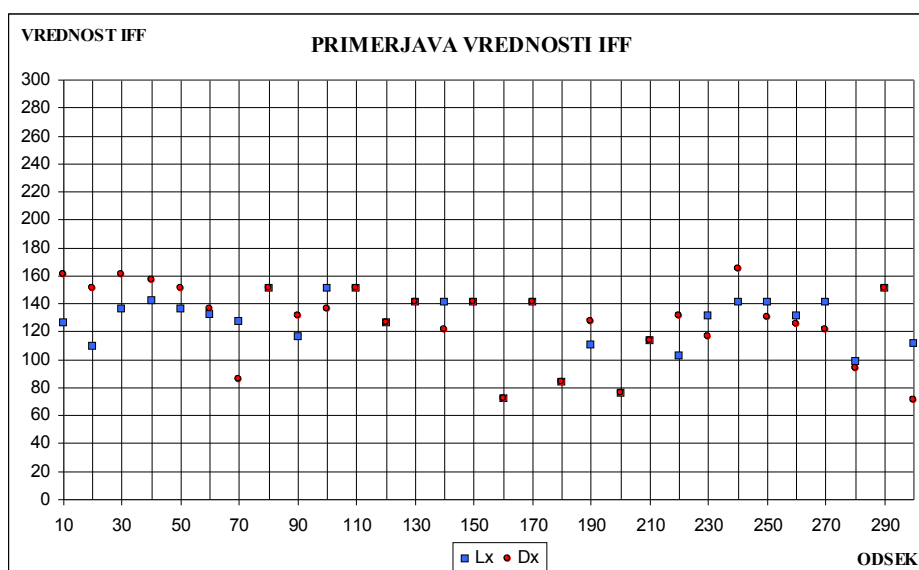
Mali graben smo popisali po celotni dolžini, kar je trajalo cca 4 ure. Hidravlične in druge razmere so bile za terensko delo ugodne. Stopnjo funkcionalnosti smo grafično prikazali v merilu 1:10 000 (Priloga D).

Preglednica 10: Prikaz rezultatov analize na Malem grabnu

ODSEK #	DOLŽINA [m]	DELNE VREDNOSTI			VREDNOST IFF		STOPNJA FUNKCIONALNOSTI	
		Lx	x	Dx	Lx	Dx	Lx	Dx
10	103	15%	61%	41%	126	161	III	III
20	101	10%	54%	41%	110	151	III-IV	III
30	87	22%	61%	41%	136	161	III	III
40	109	34%	54%	46%	142	157	III	III
50	100	30%	54%	41%	136	151	III	III
60	230	27%	54%	30%	132	136	III	III
70	86	31%	47%	0%	127	86	III	IV
80	304	41%	54%	41%	151	151	III	III
90	120	30%	41%	41%	116	131	III-IV	III
100	108	49%	47%	37%	151	136	III	III
110	106	49%	47%	49%	151	151	III	III
120	347	37%	41%	37%	126	126	III	III
130	392	49%	41%	49%	141	141	III	III
140	565	49%	41%	34%	141	121	III	III
150	961	49%	41%	49%	141	141	III	III
160	75	0%	38%	0%	72	72	IV	IV
170	331	49%	41%	49%	141	141	III	III
180	218	6%	41%	6%	84	84	IV	IV
190	60	26%	41%	38%	111	127	III-IV	III
200	46	0%	41%	0%	76	76	IV	IV
210	276	20%	47%	20%	113	113	III-IV	III-IV
220	143	20%	41%	41%	103	131	III-IV	III
230	103	41%	41%	30%	131	116	III	III-IV
240	136	49%	41%	66%	141	165	III	III
250	114	49%	41%	40%	141	130	III	III
260	175	41%	41%	37%	131	125	III	III
270	118	49%	41%	34%	141	121	III	III
280	102	20%	38%	16%	99	94	IV	IV
290	224	45%	51%	45%	151	151	III	III
300	66	31%	38%	0%	112	71	III-IV	IV



Grafikon 13: Dolžina struge z določeno stopnjo funkcionalnosti (Mali graben)



Grafikon 14: Primerjava vrednosti IFF za levi in desni breg (Mali graben)

Večina odsekov vodotoka je dobila oceno »povprečno«, kar ustreza tretji stopnji funkcionalnosti. Razmere na obeh bregovih so si zelo podobne. Če opazujemo vrednost IFF na odsekih od 10 do 60, vidimo, da se razlika med levim in desnim bregom postopno manjša. Metoda je na teh odsekih zaznala razlike v vegetaciji na obrežnem in na obalnem pasu. Na desnem bregu v odseku 70 je struga umetno utrjena, kar je metoda tudi zaznala. Na odsekih 160, 180 in 200 so za levi in desni breg zaznavni minimumi. Na odseku 160 se z vodotokom

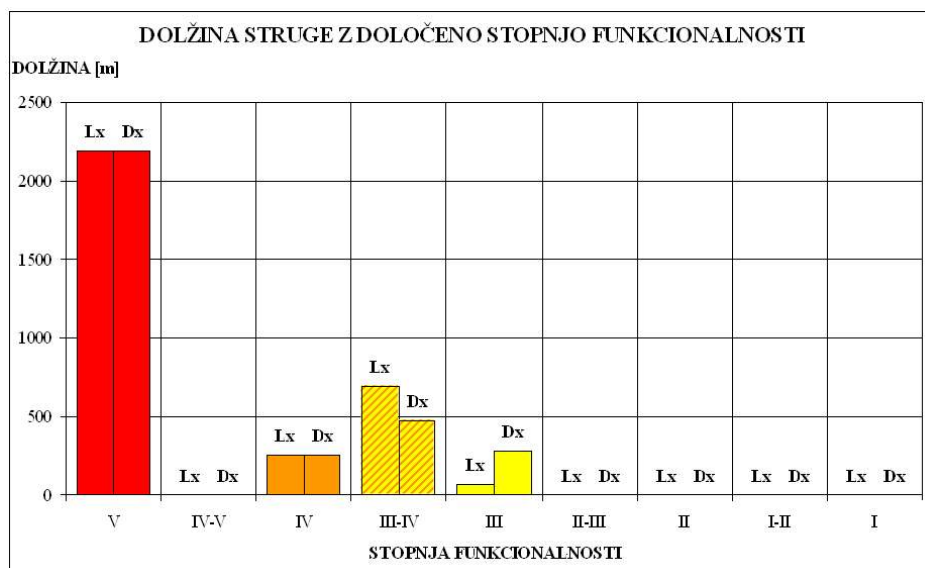
križa južna ljubljanska obvoznica. Minimum na odseku 180 je posledica ureditve struge, medtem ko je naslednji posledica križanja z železniško progo in Tržaško cesto. Ljubljanska obvoznica ponovno križa vodotok v odseku 210. Most ne vpliva na stopnjo funkcionalnosti, ker so razmere tam že same po sebi slabe. Maksimalno vrednost zabeležimo na desnem bregu odseka 240. Metoda zazna, da je območje manj poseljeno in da se na desnem bregu nahaja gozdiček. Slabše ocenjena odseka 280 in 300 sta posledica ureditve brežin in vplivov Bokalškega jezua.

Glinščico smo popisali v istih razmerah kot Mali graben. Zajemanje podatkov nam je vzelo cca 2 uri.

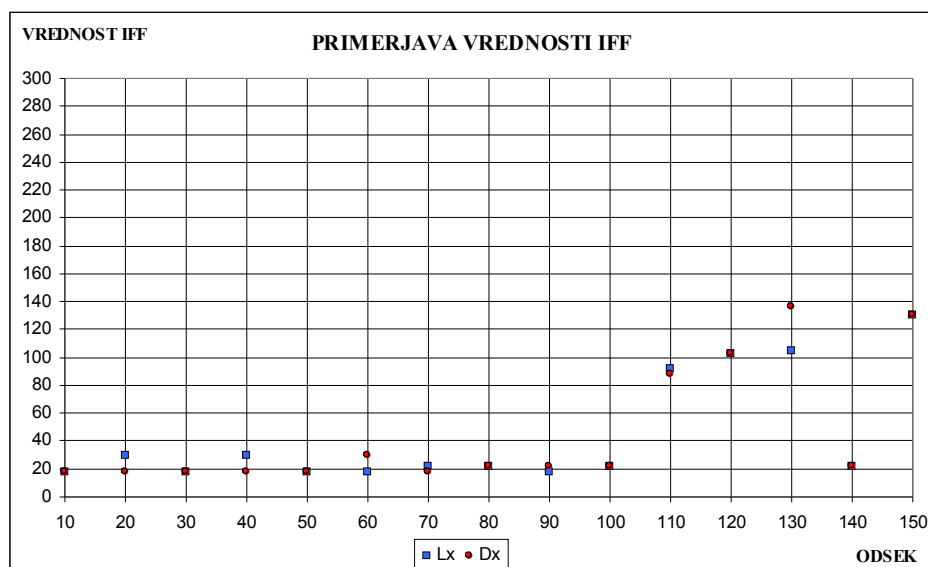
Rezultati so grafično predstavljeni v merilu 1:10 000 skupno z ostalimi mestnimi vodotoki (Priloga D).

Preglednica 11: Prikaz rezultatov analize na Glinčici

ODSEK #	DOLŽINA [m]	DELNE VREDNOSTI			VREDNOST IFF		STOPNJA FUNKCIONALNOSTI	
		Lx	x	Dx	Lx	Dx	Lx	Dx
10	54	0%	3%	0%	18	18	V	V
20	101	9%	3%	0%	30	18	V	V
30	127	0%	3%	0%	18	18	V	V
40	117	9%	3%	0%	30	18	V	V
50	444	0%	3%	0%	18	18	V	V
60	149	0%	3%	9%	18	30	V	V
70	344	3%	3%	0%	22	18	V	V
80	149	3%	3%	3%	22	22	V	V
90	257	0%	3%	3%	18	22	V	V
100	381	3%	3%	3%	22	22	V	V
110	253	19%	34%	16%	92	88	IV	IV
120	478	24%	38%	24%	103	103	III-IV	III-IV
130	211	25%	38%	49%	105	136	III-IV	III
140	73	0%	5%	0%	22	22	V	V
150	68	44%	38%	44%	130	130	III	III



Grafikon 15: Dolžina struge z določeno stopnjo funkcionalnosti (Glinščica)



Grafikon 16: Primerjava vrednosti IFF za levi in desni breg (Glinščica)

Iz Grafikonov 15 in 16 je razvidna dvojna narava Glinščice. Med odseki 10 do 100 je viden vpliv obložene struge in mestnega okolja, v nadaljevanju pa se razmere skokovito izboljšajo. V odseku 140 je viden drastičen padec v vrednosti IFF, kar je posledica križanja z avtocesto.

4.4.3 Tipski odseki



Slika 33: Mestna Gradaščica, odsek 60

Odsek se nahaja na Viču v bližini Koprške ulice na nadmorski višini cca 290 m. Oblika prečnega prereza je umetna, torej je to obrežni pas sekundarnega tipa. Obrežna vegetacija je neobstoječa, ali pa ni primarnega tipa. Količina vode v strugi je delno regulirana. Struga je impermeabilizirana in nima nikakršnih sposobnosti zadrževanja trofnih snovi.

Popisni list IFF			
	breg:	Lx	Dx
1. Stanje okoliškega teritorija:			
d) urbanizirana območja		1	1
2*. Obstoječa vegetacija v sekundarnem obrežnem pasu:			
d) neriparijske grmičaste ali travnate združbe ali odsotnost vegetacije		1	1
3. Širina drevesnih ali grmičastih združb v obrežnem pasu:			
d) ni drevesnih ali grmičastih združb		1	1
4. Zveznost drevesnih ali grmičastih združb v obrežnem pasu:			
d) gola tla ali redka travnata vegetacija		1	1
5. Vodne razmere v strugi:			
d) zelo ozka in skoraj neobstoječa omočena struga ali impermeabilizirano dno			1
6. Zgradba obalnega pasu:			
d) gol obalni pas		1	1
7. Strukture za zadrževanje trofnih snovi:			
d) struga, sestavljena iz mivkastih sedimentov brez alg ali gladke umetne struge			1
8. Erozija:			
d) zelo opazna, spodkopane in plazovite ali umetno utrjene brežine		1	1
9. Prečni prerez:			
d) umeten			1
10. Struktura dna vodotoka:			
d) umetna ali zacementirano dno			1
11. Brzice, tolmuni ali meandri:			
d) neobstoječi ali ravna struga			1
12. Vegetacija v omočeni strugi, ki ima "turbolentni tok" vode:			
c) dobro razvit perifiton ali slabo razvit perifiton ob visoki pokritosti z makrofiti			5
13. Detrit:			
d) anaerobni detrit			1
14. Makrobentonska skupnost:			
d) nestrukturirana skupnost, malo organizmov, na onesnaženje tolerantni			1
vrednost IFF:		18	18
stopnja funkcionalnosti.:		V	V

Slika 34: Izpolnjen popisni list za Mestno Gradaščico, odsek 60



Slika 35: Mestna Gradaščica, odsek 140

Odsek se nahaja v bližini Bokalskega jezua na nadmorski višini cca 300 m. Oblika prečnega prereza je umetna, torej je to obrežni pas sekundarnega tipa. Obrežna vegetacija je primarnega tipa in zvezno spremlja vodotok po celi dolžini. Količina vode v strugi je regulirana. Struga je impermeabilizirana in nima nikakršnih sposobnosti zadrževanja trofnih snovi.

Popisni list IFF			
	breg:	Lx	Dx
1. Stanje okoliškega teritorija:			
d) urbanizirana območja		1	1
2*. Obstoječa vegetacija v sekundarnem obrežnem pasu:			
b) riparijske grmičaste združbe in/ali trsje		15	15
3. Širina drevesnih ali grmičastih združb v obrežnem pasu:			
c) širina vegetacije v obrežnem pasu 1-5 m		5	5
4. Zveznost drevesnih ali grmičastih združb v obrežnem pasu:			
a) brez prekinitev		20	20
2*. Obstoječa vegetacija v sekundarnem obrežnem pasu:			
d) neriparijske grmičaste ali travnate združbe ali odsotnost vegetacije		1	1
3. Širina drevesnih ali grmičastih združb v obrežnem pasu:			
d) ni drevesnih ali grmičastih združb		1	1
4. Zveznost drevesnih ali grmičastih združb v obrežnem pasu:			
d) gola tla ali redka travnata vegetacija		1	1
5. Vodne razmere v strugi:			
d) zelo ozka in skoraj neobstoječa omočena struga ali impermeabilizirano dno			1
6. Zgradba obalnega pasu:			
d) gol obalni pas		1	1
7. Strukture za zadrževanje trofnih snovi:			
d) struga, sestavljena iz mivkastih sedimentov brez alg ali gladke umetne struge			1
8. Erozija:			
d) zelo opazna, spodkopane in plazovite ali umetno utrjene brežine		1	1
9. Prečni prerez:			
d) umeten			1
10. Struktura dna vodotoka:			
d) umetna ali zacementirano dno			1
11. Brzice, tolmuni ali meandri:			
d) neobstoječi ali ravna struga			1
12. Vegetacija v omočeni strugi, ki ima "turbolentni tok" vode:			
c) dobro razvit perifiton ali slabo razvit perifiton ob visoki pokritosti z makrofiti			5
13. Detrit:			
d) anaerobni detrit			1
14. Makrobentonska skupnost:			
d) nestrukturirana skupnost, malo organizmov, na onesnaženje tolerantni			1
vrednost IFF:		55	55
stopnja funkcionalnosti.:		IV-V	IV-V

Slika 36: Izpolnjen popisni list za Mestno Gradaščico, odsek 140



Slika 37: Mali graben, odsek 200

Odsek vsebuje križanje s Tržaško cesto in z železniško progo. Nahaja se na nadmorski višini cca 290 m. Oblika prečnega prereza je umetna, torej je to obrežni pas sekundarnega tipa. Obrežna vegetacija je neobstoječa ali pa ni primarnega tipa. Hidravlične razmere v strugi so ugodne. Prečni prerez je umeten z naravnimi elementi (dno struge).

Popisni list IFF			
	breg:	Lx	Dx
1. Stanje okoliškega teritorija:			
d) urbanizirana območja		1	1
2*. Obstoječa vegetacija v sekundarnem obrežnem pasu:			
d) neriparijske grmičaste ali travnate združbe ali odsotnost vegetacije		1	1
3. Širina drevesnih ali grmičastih združb v obrežnem pasu:			
d) ni drevesnih ali grmičastih združb		1	1
4. Zveznost drevesnih ali grmičastih združb v obrežnem pasu:			
d) gola tla ali redka travnata vegetacija		1	1
5. Vodne razmere v strugi:			
a) širina aktivne struge je manjša od 3x širine omočene struge			20
6. Zgradba obalnega pasu:			
d) gol obalni pas		1	1
7. Strukture za zadrževanje trofnih snovi:			
c) ob večjih pretokih mobilne zadrževalne strukture (odsotnost trsja in hidrofil)			5
8. Erozija:			
d) zelo opazna, spodkopane in plazovite ali umetno utrjene brežine		1	1
9. Prečni prerez:			
c) umeten z naravnimi elementi			5
10. Struktura dna vodotoka:			
c) lahko premična			5
11. Brzice, tolmeni ali meandri:			
c) dolge brzice in kratki tolmeni (ali obratno), malo meandrov			5
12*. Vegetacija v omočeni strugi, ki ima "laminarni tok" vode:			
b) dobro razvit perifiton in skromna pokritost s tolerantnimi makrofiti ali slabo razvit perifiton in omejena pokritost s tolerantnimi makrofiti			10
13. Detrit:			
b) vlaknasti in mesnati rastlinski delci			10
14. Makrobentonska skupnost:			
b) zadostno raznolika, vendar z različno strukturo od pričakovane			10
vrednost IFF:		76	76
stopnja funkcionalnosti.:		IV	IV

Slika 38: Izpolnjen popisni list za Mali graben, odsek 200



Slika 39: Glinščica, odsek 120

Odsek se nahaja med sotočjem s potokom Pržanec in ljubljansko severno obvoznico na nadmorski višini cca 310 m. Obdajajo ga večinoma travniki, ker pa so pogosto gnojeni jih upoštevamo kot sezonsko obdelane površine. Oblika prečnega prereza je umetna, torej je to obrežni pas sekundarnega tipa. Obrežna vegetacija je neobstoječa. Prečni prerez je naraven z umetnimi elementi. Vegetacija v strugi do neke mere omogoča zadrževanje trofnih snovi.

Popisni list IFF			
	breg:	Lx	Dx
1. Stanje okoliškega teritorija:			
c) večinoma sezonsko, mešano in trajno obdelane površine, redko poseljeno		5	5
2*. Obstoječa vegetacija v sekundarnem obrežnem pasu:			
d) neriparijske grmičaste ali travnate združbe ali odsotnost vegetacije		1	1
3. Širina drevesnih ali grmičastih združb v obrežnem pasu:			
d) ni drevesnih ali grmičastih združb		1	1
4. Zveznost drevesnih ali grmičastih združb v obrežnem pasu:			
d) gola tla ali redka travnata vegetacija		1	1
5. Vodne razmere v strugi:			
b) širina aktivne struge je večja od 3x širine omočene struge (sezonsko nihanje vode)			15
6. Zgradba obalnega pasu:			
b) poraščen z grmičevjem in travo		15	15
7. Strukture za zadrževanje trofnih snovi:			
b) skale in veje z odloženim sedimentom (manj zastopano trsje in hidrofilne rastline)			15
8. Erozija:			
b) samo v zavojih in zožitvah		15	15
9. Prečni prerez:			
b) naraven z umetnimi elementi			10
10. Struktura dna vodotoka:			
c) lahko premična			5
11. Brzice, tolmeni ali meandri:			
c) dolge brzice in kratki tolmeni (ali obratno), malo meandrov			5
12*. Vegetacija v omočeni strugi, ki ima "laminarni tok" vode:			
c) dobro razvit perifiton ali slabo razvit ob visoki pokritosti s tolerantnimi makrofiti			5
13. Detrit:			
c) mesnati rastlinski delci			5
14. Makrobentonska skupnost:			
c) slabo uravnotežena in neraznolika, prevladujejo tolerantni organizmi			5
	vrednost IFF:	103	103
	stopnja funkcionalnosti.:	III-IV	III-IV

Slika 40: Izpolnjen popisni list za Glinščico, odsek 120

5 ZAKLJUČKI

V tem diplomskem delu smo se ukvarjali z uporabnostjo italijanske metode IFF na slovenskih rekah. Uporaba metode na reki Dragonji in na ljubljanskih mestnih vodotokih nam ni povzročila nobenih težav. To smo tudi pričakovali, saj je bila metoda izdelana za celoten italijanski teritorij, ki je zelo podoben slovenskemu. Metoda je tako zasnovana, da lahko ekspertem popisovalec vedno upošteva lokalne posebnosti. Tak primer so pri nas gnojni pašniki, ki jih v Italiji ne poznajo.

Pomembna karakteristika IFF je zveznost popisovanja. Metoda je v naših primerih zaznala vse spremembe, ki direktno ali indirektno vplivajo na ekologijo in morfologijo vodotoka, na odseku daljšem od MZO. Metoda ne zaznava prečnih objektov, ki imajo točkoven vpliv, ter objektov na odsekih z zelo nizko vrednostjo IFF. Hitrost popisovanja se je v našem primeru gibala od cca 1 km/h, za vodotoke v naravnem okolju, do cca 3 km/h, za vodotoke v izredno antropogenem okolju. To uvršča metodo med hitrejše. Metoda podaja zvezne rezultate za levi in desni breg. Prikaz rezultatov v grafični obliki omogoča dober pregled stanja za vsak odsek posebej.

Vse spremenljivke, ki vplivajo na končno oceno, so opisno zajete. To pomeni, da metoda sloni le na znanju popisovalcev in je v celoti odvisna od njihove sposobnosti presoje. Ekspertni popisovalec mora zato opraviti enotedenski tečaj aplikacije metode. Bistvo tečaja je predvsem usklajevanje popisovalcev. Z rečnimi koridorji se ukvarja veliko število študijev, ki pa imajo vsak svoj pogled na določene elemente vodnega okolja. Na izobraževalnem tečaju se je izkazalo, da smo gradbeniki bistveno preveč kritični, kar se tiče erozije in umetnih ureditev. Izkazalo se je tudi, da okolje iz katerega prihajajo popisovalci, bistveno vpliva na njihova merila. Nekdo, ki je navajen na zelo antropogeno okolje, je ponavadi premalo kritičen, tisti, ki prihaja iz naravnega okolja, pa je preveč kritičen.

Analiza rezultatov dobljenih na tečaju je pokazala, da je ujemanje med učnimi skupinami in referenčno izredno visoko. Koeficient korelacije na nivoju zbranih točk se je gibal med 0,9899 in 0,9789. Potrebno pa je upoštevati okoliščine. Vsaka skupina je imela mentorja, ki pa ni podajal ocene, ampak je le opozarjal na posebnosti v odseku in njihov vpliv. V vsaki skupini so bili po trije popisovalci, ki so skupaj izpolnjevali en popisni list. Razmere na terenu so bile za vse skupine identične.

Nekatere spremenljivke so zelo slabo definirane oziroma težko določljive. Problem se pojavlja pri izbiri vprašanja, na katerega bomo odgovorili, kar vpliva na končni seštevek točk. Pri vprašanju 12 oziroma 12* je definicija turbulentnega in laminarnega toka kot jo poznajo biologi zelo ohlapna. V resnici vrsta toka sploh ni bistvenega pomena za vegetacijo v strugi, saj je ta odvisna predvsem od strižnih sil na kontaktu med vodo in substratom. Pri vprašaju 2 oziroma 2* pa je težavno določiti, ali je na odseku prisoten obrežni pas primarnega ali sekundarnega tipa. Nekateri odseki imajo lahko umeten videz in so popolnoma naravni, pojavljajo pa se lahko tudi obratni primeri.

Metoda ni dobro zasnovana v matematičnem smislu. Maksimalno število možnih točk je odvisno od vprašanj, na katera je potrebno odgovoriti. Uteži so vezane na odgovore znotraj posameznega vprašanja in niso porazdeljene po nobeni enostavni matematični funkciji. Posledica tega je, da se pomembnost posameznega vprašanja spreminja v odvisnosti od izbranih odgovorov. Delitev na posamezne razrede je ravno tako določena na podlagi izkušenj in nima nobene matematične podlage, kar otežuje rabo metode v raziskovalne namene.

Metoda se dobro prilagaja različnim rabam, saj lahko spreminjamo natančnost popisovanja in časovni zamik med raziskavami. Poleg tega jo je možno kombinirati z nekaterimi drugimi raziskavami, kot je na primer štetje makroinvertebratov za potrebe izračuna saprobnega indeksa. Okvir uporabnosti metode je zelo širok. Lahko se uporablja za: monitoring »zdravstvenega« stanja vodotoka, določanje ogroženih predelov vodotoka, določanje odsekov z visoko stopnjo naravnosti, monitoring vplivov novih objektov, spremljanje razvoja sonaravnih ureditev, predvidevanje vplivov, ki jih bodo imeli različni objekti na vodotoke, ...

Na italijanskem teritoriju se je metoda že zelo dobro uveljavila in jo s pridom uporabljajo predvsem biologi. V prihodnosti imajo ta in podobne metode odlične pogoje za njihovo razširitev. Predvsem je zanimiva njihova avtomatizacija, ki je že sedaj v veliki meri možna. Ob uporabi primerne tehnologije bi bilo namreč razmeroma enostavno izdelati programsko opremo, ki bi omogočala sprotno obdelavo podatkov. V bližnji prihodnosti pa bo razširjena uporaba GIS-ov in mobilni dostop do velike količine podatkov bo avtomatizacijo še dodatno pospešil.

VIRI

Anko, B. 1995. Funkcije in vloge gozda. Skripta. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo: 181 str.

Bizjak, A. 2003. Sintezni postopek ocenjevanja hidromorfološkega stanja rečnih koridorjev, razvit z analizo stanja na reki Dragonji. Doktorska disertacija. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Katedra za splošno hidrotehniko: 198 f.

Brookes, A. 1996. River Channel Restoration: guiding principles for sustainable projects. Chichester, John Wiley & Sons Ltd: 433 str.

Brecelj, M. 1994. Gozd in voda. = Forest and Water. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo: 257 str.

Cummins, K.W. 1992. Invertebrates. V: Callow, P. (ur.), Petts, G. (ur.) The river handbook Volume 1. Oxford, Blackwell Scientific Publications: str. 234–249.

Curch, M. 1992. Channel Morphology and Typology. V: Callow, P. (ur.), Petts, G. (ur.) The river handbook Volume 1. Oxford, Blackwell Scientific Publications: str.: 126–143.

Callow, P. 1992. Energy Budgets. V: Callow, P. (ur.), Petts, G. (ur.) The river handbook Volume 1. Oxford, Blackwell Scientific Publications: str. 370–378.

Dahm, C. N., Grimm, N. B., Marmonier, P., Valett, H. M., Vervier, P. 1998. Nutrient dynamics at the interface between surface waters and groundwaters. *Freshwater Biology*, 40: 427–451.

Fox, A. M. 1992. Macrophytes. V: Callow, P. (ur.), Petts, G. (ur.) The river handbook Volume 1. Oxford, Blackwell Scientific Publications: str. 216–233.

Gray, N. F. 2002. Water technology: an introduction for environmental scientists and engineers. Oxford, Butterworth: 548 str.

Haycock, N. E., Pinay, G., Walker, C. 1993. Nitrogen Retention in River Corridors: European Perspective. *Ambio*, Vol. 22, 6: 340-346.

Kotar, M., Brus, R. 1999. Naše drevesne vrste. Ljubljana, Slovenska matica: 320 str.

Minshall, G. W., Cummins, K. W., Petersen, R. C., Cushing, C. E., Bruns, D. A., Sedell, J. R., Vannote, R. L. 1985. Developments in Stream Ecosystem Theory. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 42: 1045–1055.

Maltby, L. 1992. Detritus processing. V: Callow, P. (ur.), Petts, G. (ur.) The river handbook Volume 1. Oxford, Blackwell Scientific Publications: str. 331-353.

Mikoš, M. 2000. Urejanje vodotokov. Skripta. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Katedra za splošno hidrotehniko: 182 str.

Newbold, J. D. 1992. Cycles and Spirals of Nutrients. V: Callow, P. (ur.), Petts, G. (ur.) The river handbook Volume 1. Oxford, Blackwell Scientific Publications: str. 379–408.

Pogačnik, A. 1998. Geografski atlas Slovenije: država v prostoru in času. Ljubljana, DZS: 360 str.

Rusian, S. 2005. Analiza ekohidrološkega stanja vodotokov v urbanem okolju. Seminarska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 49 str.

Statzner, B., Higler, B. 1985. Questions and Comments on the River Continuum Concept. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 42: 1038-1044.

Sansoni, G. 2001. Atlante per il riconoscimento dei macroinvertebrati dei corsi d'acqua italiani, 4. izd., Trento, Litografica Editrice Saturnia: 187 str.

Summerfield, M. A. 1996. Global Geomorphology: an introduction to the study of landforms. Burnt Mill, Longman: 537 str.

Siligardi, M., Bernabei, S., Cappelletti, C., Chierici, E., Ciutti, F., Egaddi, F., Franceschini, A., Maiolini, B., Mancini, L., Minciardi, M. R., Monauni, C., Rossi, G., Sansoni, G., Spaggiari, R., Zanetti, M. 2000. I.F.F.: Indice di funzionalità fluviale. Trento, Lineagrafica Bertelli snc: 223 str.

Thorne, C., Hey, R., Newson, M. 1997. Applied Fluvial Geomorphology for River Engineering and Management. Chichester, J. Wiley & Sons: 376 str.

Vannote, R. L., Minshall, G. W., Cummins, K. W., Sedell, J. R., Cushing, C. E. 1980. The River Continuum Concept. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 37: 130-137.

Internetni viri

Anzeljc, D., Burja, D. 2002. Hidrološka presoja visokih vod Gradašnice z upoštevanjem različnih ureditev za zaščito pred škodljivim delovanjem voda na Gradaščici in Malem grabnu. Ljubljana, Mestna občina Ljubljana: 15 str.

<http://www.ljubljana.si/file/162590/file.html> (17.10.2005)

Berden Zrimec, M., Zrimec, A., 2003. Ekotoksikološko kartiranje površinskih vod mestne občine Ljubljana. Končno poročilo. Ljubljana, Mestna občina Ljubljana: 100 str.

http://www1.ljubljana.si/zvo/files/70/POV_2003_ekotoksikolosko_kartiranje.pdf

(17.10.2005)

Kartografski viri

Dragonja/Dragogna 193, Državna topografska karta 1:25 000. 1995. 1. izdaja. Ljubljana, Republika Slovenija, Ministrstvo za okolje in prostor, Geodetska uprava Republike Slovenije.

Mestni načrt Ljubljana 1:20 000. 2003. Ljubljana, Geodetski zavod Slovenije d.d.

Pomjan 194, Državna topografska karta 1:25 000. 1995. 1. izdaja. Ljubljana, Republika Slovenija, Ministrstvo za okolje in prostor, Geodetska uprava Republike Slovenije.

Sečovlje/Sicciole 192, Državna topografska karta 1:25 000. 1995. 1. izdaja. Ljubljana, Republika Slovenija, Ministrstvo za okolje in prostor, Geodetska uprava Republike Slovenije.

Priloga A: Popisni list I.I.F.

Popisni list I.F.F.

Povodje: Vodotok:
Kraj:
GPS (konec transekta, gorvodno): x y
Odsek [m]: Širina aktivne struge [m]: Nadmorska višina [m]:
Dan: List št.: Fotografija št.: Šifra:

Vprašanje:	Breg:	Lx	Dx
1. Stanje okoliškega teritorija:			
a) gozdovi	25		25
b) travniki, pašniki, gozdovi, neobdelane in manjše orane površine	20		20
c) večinoma sezonsko, mešano in trajno obdelane površine; redko poseljeno	5		5
d) urbanizirana območja	1		1
2. Obstoječa vegetacija v primarnem obrežnem pasu:			
a) riparijske drevesne združbe	30		30
b) riparijske grmičaste združbe in/ali trsje	25		25
c) neriparijske drevesne združbe	10		10
d) neriparijske grmičaste ali travnate združbe ali odsotnost vegetacije	1		1
2*. Obstoječa vegetacija v sekundarnem obrežnem pasu:			
a) riparijske drevesne združbe	20		20
b) riparijske grmičaste združbe in/ali trsje	15		15
c) neriparijske drevesne združbe	5		5
d) neriparijske grmičaste ali travnate združbe ali odsotnost vegetacije	1		1
3. Širina drevesnih ali grmičastih združb v obrežnem pasu:			
a) širina vegetacije v obrežnem pasu > 30 m	20		20
b) širina vegetacije v obrežnem pasu 5-30 m	15		15
c) širina vegetacije v obrežnem pasu 1-5 m	5		5
d) ni drevesnih ali grmičastih združb	1		1
4. Zveznost drevesnih ali grmičastih združb v obrežnem pasu:			
a) brez prekinitev	20		20
b) s prekinitvami	10		10
c) pogoste prekinitve ali konsolidirana in zvezna travnata vegetacija	5		5
d) gola tla ali redka travnata vegetacija	1		1
5. Vodne razmere v strugi:			
a) širina aktivne struge je manjša od 3x širine omočene struge		20	
b) širina aktivne struge je večja od 3x širine omočene struge (sezonsko nihanje vode)		15	
c) širina aktivne struge je večja od 3x širine omočene struge (pogosto nihanje vode)		5	
d) zelo ozka in skoraj neobstoječa omočena struga ali impermeabilizirano dno		1	
6. Zgradba obalnega pasu:			
a) skalnat ali/in poraščen z drevesnimi združbami	25		25
b) poraščen z grmičevjem in travo	15		15
c) poraščen s tanko plastjo trave	5		5
d) gol obalni pas	1		1
7. Strukture za zadrževanje trofnih snovi:			
a) struga z velikimi skalami in/ali stabilno zataknjenimi debli (ali prisotnost pasov trsja ali hidrofilnih rastlin)		25	
b) skale in veje z odloženim sedimentom (manj zastopano trsje in hidrofilne rastline)		15	
c) ob večjih pretokih mobilne zadrževalne strukture (odsotnost trsja in hidrofil)		5	
d) struga, sestavljena iz mivkastih sedimentov brez alg ali gladke umetne struge		1	

Vprašanje:	Breg:	Lx	Dx
-------------------	--------------	-----------	-----------

8. Erozijska:			
a) slabo razvidna in nerelevantna	20		20
b) samo v zavojih in zožitvah	15		15
c) pogosta, s spodkopavanjem brežin in korenin	5		5
d) zelo opazna, spodkopane in plazovite ali umetno utrjene brežine	1		1

9. Prečni prerez:			
a) naraven		15	
b) naraven z umetnimi elementi		10	
c) umeten z naravnimi elementi		5	
d) umeten		1	

10. Struktura dna vodotoka:			
a) raznolika in stabilna		25	
b) po odsekih premična		15	
c) lahko premična		5	
d) umetna ali zacementirano dno		1	

11. Brzice, tolmuni ali meandri:			
a) dobro razvidni in ponavljajoči		25	
b) prisotni na različnih razdaljah in v neenakomernem zaporedju		20	
c) dolge brzice in kratki tolmuni (ali obratno), malo meandrov		5	
d) neobstoječi ali ravna struga		1	

12. Vegetacija v omočeni strugi, ki ima "turboletni tok" vode:			
a) zgolj na dotik otipljiv perifiton in skromna pokritost z makrofiti		15	
b) slabo razvit perifiton in omejena pokritost z makrofiti		10	
c) dobro razvit perifiton ali slabo razvit perifiton ob visoki pokritosti z makrofiti		5	
d) debela plast perifitona ali dobro razvit perifiton ob visoki pokritosti z makrofiti		1	

12*. Vegetacija v omočeni strugi, ki ima "laminarni tok" vode:			
a) slabo razvit perifiton in skromna pokritost s tolerantnimi makrofiti		15	
b) dobro razvit perifiton in skromna pokritost s tolerantnimi makrofiti ali slabo razvit perifiton in omejena pokritost s tolerantnimi makrofiti		10	
c) dobro razvit perifiton ali slabo razvit ob visoki pokritosti s tolerantnimi makrofiti		5	
d) debela plast perifitona in/ali visoka pokritost s tolerantnimi makrofiti		1	

13. Detrit:			
a) razpoznavni in vlaknasti rastlinski delci		15	
b) vlaknasti in mesnati rastlinski delci		10	
c) mesnati rastlinski delci		5	
d) anaerobni detrit		1	

14. Makrobentonska skupnost:			
a) dobro strukturirana in raznolika, primerna za tipologijo vodotoka		20	
b) zadostno raznolika, vendar z različno strukturo od pričakovane		10	
c) slabo uravnotežena in neraznolika, prevladujejo tolerantni organizmi		5	
d) nestrukturirana skupnost, malo organizmov, na onesnaženje tolerantni		1	

Skupni seštevek:

Opombe: Razred I.F.F.:

6 Priloga B: Potrdilo o opravljanju tečaja za aplikacijo metode IFF



AGENZIA PROVINCIALE PER LA PROTEZIONE DELL' AMBIENTE

Si attesta che

PETER BATISTIC

ha partecipato dal 7 all'11 giugno 2004 a Trento
al corso di formazione (34 ore complessive)

APPLICAZIONE DELL'INDICE I.F.F.
(Indice di Funzionalità Fluviale)
per la valutazione dell'ecosistema fluviale

Il Responsabile scientifico
dott. Maurizio Siligardi

Il Dirigente
del Settore Tecnico
ing. Enrico Toso

In collaborazione con



AGENZIA PER LA PROTEZIONE DELL'AMBIENTE
E PER I SERVIZI TECNICI



CENTRO ITALIANO STUDI DI BIOLOGIA AMBIENTALE