

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta
*za gradbeništvo
in geodezijo*



Jamova cesta 2
1000 Ljubljana, Slovenija
<http://www3.fgg.uni-lj.si/>

DRUGG – Digitalni repozitorij UL FGG
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

To je izvirna različica zaključnega dela.

Prosimo, da se pri navajanju sklicujete na bibliografske podatke, kot je navedeno:

Kolman, G., 2014. Ribe in vzdolžna povezanost vodotokov na porečju Sore. Magistrsko delo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Mikoš, M., somentor Urbančič, G.): 119 str.

Datum arhiviranja: 02-02-2015

University
of Ljubljana

Faculty of
*Civil and Geodetic
Engineering*



Jamova cesta 2
SI – 1000 Ljubljana, Slovenia
<http://www3.fgg.uni-lj.si/en/>

DRUGG – The Digital Repository
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

This is original version of final thesis.

When citing, please refer to the publisher's bibliographic information as follows:

Kolman, G., 2014. Ribe in vzdolžna povezanost vodotokov na porečju Sore. M.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljani, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Mikoš, M., co-supervisor Urbančič, G.): 104 pp.

Archiving Date: 02-02-2015

Univerza
v Ljubljani
Fakulteta
*za gradbeništvo
in geodezijo*

Jamova 2, p.p. 3422
1115 Ljubljana, Slovenija
telefon (01) 47 68 500
faks (01) 42 50 681
fgg@fgg.uni-lj.si



UNIVERZITETNI PODIPLOMSKI
ŠTUDIJSKI PROGRAM
VARSTVO OKOLJA

MAGISTRSKI ŠTUDIJ

Kandidat:

GREGOR KOLMAN, univ. dipl. inž. vod. in kom. inž.

**RIBE IN VZDOLŽNA POVEZANOST VODOTOKOV NA
POREČJU SORE**

Magistrsko delo štev.: 243

**FISH AND LONGITUDINAL CONTINUITY OF
STREAMS IN THE SORA RIVER BASIN**

Master of Science Thesis No.: 243

Mentor:
prof. dr. Matjaž Mikoš

Predsednik komisije:
prof. dr. Mitja Brilly

Somentor:
doc. dr. Gorazd Urbanič, UL BF

Člana:
prof. dr. Jure Pohar, UL BF
prof. dr. Vlasta Jenčič, UL VF

Ljubljana, 20. oktober 2014

STRAN ZA POPRAVKE

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

IZJAVA O AVTORSTVU

Podpisani Gregor Kolman izjavljam, da sem avtor magistrskega dela z naslovom "Ribe in vzdolžna povezanost vodotokov na porečju Sore".

Izjavljam, da je elektronska različica v vsem enaka tiskani različici.

Izjavljam, da dovoljujem objavo elektronske različice v repozitoriju UL FGG.

Gregor Kolman

Ljubljana, 20. oktober 2014

BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK:	627.43:626.882: (282.2 Sora):(043.2)
Avtor:	Gregor Kolman, univ. dipl. inž. vod. in kom. inž.
Mentor:	prof. dr. Matjaž Mikoš
Somentor:	doc. dr. Gorazd Urbanič
Naslov:	Ribe in vzdolžna povezanost vodotokov na porečju Sore
Tip dokumenta:	magistrsko delo
Obseg in oprema:	119 str., 16 pregl., 49 sl., 30 en., 1 pril.
Ključne besede:	prečne vodne zgradbe, indeks DCI, ribji prehodi, urejanje vodotokov, vzdolžna povezanost vodotokov

Izvleček

V magistrskem delu smo vrednotili vpliv prečnih vodnih zgradb na vzdolžno povezanost vodotokov in ribe na porečju Sore. Najprej smo opisali vrste prečnih vodnih zgradb z možnim potencialnim vplivom na selitve rib v vodotokih (prag, jez, drča, zapornica, pregrada, hudourniška pregrada, cestni prepust). Na obravnavanem porečju Sore smo evidentirali 150 prečnih vodnih zgradb od tega 19 jezov, 126 pragov in 5 drč. Opisali smo različne metode za prednostno razvrščanje prečnih vodnih zgradb za izboljšanje vzdolžne povezanosti vodotokov in na podlagi razpoložljivih podatkov in primernosti od obravnavanih metod uporabili kanadsko metodo. Za porečje Sore smo izračunali indeks vzdolžne povezanosti vodotokov – indeks DCI_p . Izračunali smo tudi teoretične indekse DCI_p , s katerimi smo določili prečne vodne zgradbe, ki imajo največji vpliv na selitve potamodromnih rib. Kot neprehodne za ribe smo upoštevali prečne vodne zgradbe, ki so višje od 20 cm. Na podlagi rezultata indeksa DCI_p smo ugotovili, da je obravnavano porečje Sore zelo obremenjeno s prečnimi vodnimi zgradbami, ki so neprehodne za ribe. Na osnovi izračunanih vrednosti teoretičnega indeksa DCI_p smo naredili seznam, na katerih prečnih vodnih zgradbah je treba prednostno vzpostaviti vzdolžno povezanost vodotokov za ribe. Pregledali smo tudi rešitve za vzpostavitev vzdolžne povezanosti vodotokov za ribe. V zadnjem sklopu magistrskega dela smo obravnavali slovensko zakonodajo v povezavi s prečnimi vodnimi zgradbami in vzdolžno povezanostjo vodotokov ter ribami in podali nadaljnje usmeritve za izboljšanje vzdolžne povezanosti vodotokov.

BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION

UDC: 627.43:626.882: (282.2 Sora):(043.2)

Author: Gregor Kolman, univ. dipl. inž. vod. in kom. inž.

Supervisor: prof. Matjaž Mikoš, Ph.D.

Cosupervisor: assist. Gorazd Urbanič, Ph.D.

Title: Fish and longitudinal continuity of streams in the Sora River basin

Document type: M. Sc. Thesis

Notes: 119 p., 16 tab., 49 fig., 30 eq., 1 app.

Key words: transverse river structures, DCI index, fish passages, river engineering, longitudinal connectivity of rivers

Abstract

In the master degree thesis, we evaluated the effect of transverse river structures on longitudinal connectivity of rivers and fish in the Sora River basin. At first, the types of transverse river structures with potential impact on fish migration in rivers were defined (weir, dam, rock-ramp, sluice gate, torrential barrier, road culvert). At the investigated Sora River basin we collected data on 150 transverse river structures, including 19 dams, 126 weirs and 5 rock-ramps. Several different methods for priority ranking of transverse river structures in order to improve longitudinal connectivity of rivers were reviewed, and based on the available data and the suitability of the considered methods, we selected the Canadian method. For the Sora River basin we calculated dendritic connectivity index – DCI_p index. We also calculated the theoretical DCI_p indexes for determination of transverse river structures that have the greatest impact on migration of potamodromous fish. Transverse river structures, higher than 20 cm, were considered as impassable for fish. The result of the DCI_p index of the examined Sora River basin showed a high pressure of transverse river structures, impassable for fish. Based on the calculated DCI_p index values, we made a priority list of transverse river structures, where the establishment of longitudinal connectivity of rivers for fish needs to be done. Also the solutions for establishment of longitudinal connectivity of rivers for fish were reviewed. In the last part of master degree thesis we covered the Slovenian legislation regarding transverse river structures and longitudinal connectivity of rivers and fish, and further guidance to improve longitudinal connectivity of rivers was given.

ZAHVALA

Za vsestransko pomoč pri nastajanju magistrskega dela se zahvaljujem mentorju prof. dr. Matjažu Mikošu in somentorju doc. dr. Gorazdu Urbaniču.

Za vse nasvete in vzpodbudo se iskreno zahvaljujem dr. Meti Povž, ki me je tudi prva navdušila nad problematiko prekinjenih selitvenih poti za ribe.

Za podatke o prečnih vodnih zgradbah bi se zahvalil Vodnogospodarskemu podjetju d.d. iz Kranja.

Hvala sodelavcem za vso pomoč in koristne nasvete: Mateju, Vesni, Alešu, Jani, Dušanu in Maji.

Za podporo in potrpežljivost se zahvaljujem ženi Tini, bratu Urbanu in staršema.

KAZALO VSEBINE

STRAN ZA POPRAVKE	I
IZJAVA O AVTORSTVU	II
BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK.....	III
BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION	IV
ZAHVALA.....	V
SLOVAR IZRAZOV	XVII
1 UVOD	1
1.1 Splošno.....	1
1.2 Namen in cilji raziskave.....	2
1.3 Metodologija dela	3
2 PREČNE VODNE ZGRADBE.....	5
2.1 Zakonodajni okvir	5
2.2 Prečne vodne zgradbe kot selitvene ovire za ribe	7
2.3 Gradnja prečnih vodnih zgradb.....	8
2.4 Vrste prečnih vodnih zgradb s potencialnim vplivom na ribe.....	10
2.4.1 Prag.....	10
2.4.2 Jez	11
2.4.3 Drča	12
2.4.4 Zapornica	13
2.4.5 Pregrada	13
2.4.6 Hudourniška pregrada.....	14
2.4.7 Cestni prepust	15
2.5 Prečne vodne zgradbe z vidika vodne direktive.....	15
2.6 Vplivi prečnih vodnih zgradb na gorske vodotoke.....	18
2.7 Gorvodni in dolvodni vplivi pregrad in jezov na vodotok	19
2.8 Vpliv prečnih vodnih zgradb na vodne živali.....	22
2.8.1 Vpliv na bentoške nevretenčarje	22
2.8.2 Vpliv na ribe	23
3 METODE PREDNOSTNEGA RAZVRŠČANJA PREČNIH VODNIH ZGRADB ZA IZBOLJŠANJE VZDOLŽNE POVEZANOSTI VODOTOKOV	26
3.1 Definicije prehodnosti prečnih vodnih zgradb za ribe	26
3.2 Ocenjevanje prehodnosti prečnih vodnih zgradb za ribe v vodotokih	27
3.3 Vrste metod za prednostno razvrščanje prečnih vodnih zgradb za izboljšanje vzdolžne povezanosti vodotokov	29
3.3.1 Metoda za prednostno razvrščanje prečnih vodnih zgradb za izboljšanje vzdolžne povezanosti vodotokov v Oregonu	30
3.3.2 Metoda za prednostno razvrščanje prečnih vodnih zgradb za izboljšanje vzdolžne povezanosti vodotokov v okrožju Clackamas (Oregon)	32
3.3.3 WDFW metoda za prednostno razvrščanje prečnih vodnih zgradb za izboljšanje vzdolžne povezanosti vodotokov	34
3.3.4 Metoda za prednostno razvrščanje prečnih vodnih zgradb za izboljšanje vzdolžne povezanosti vodotokov v Kaliforniji.....	37

3.3.5	Metoda za prednostno razvrščanje prečnih vodnih zgradb za izboljšanje vzdolžne povezanosti vodotokov v Pensilvaniji	39
3.3.6	Avstrijska metoda za prednostno razvrščanje prečnih vodnih zgradb za izboljšanje vzdolžne povezanosti vodotokov	41
3.3.7	Kanadska metoda za prednostno razvrščanje prečnih vodnih zgradb za izboljšanje vzdolžne povezanosti vodotokov	44
3.3.8	Druge metode za prednostno razvrščanje prečnih vodnih zgradb za izboljšanje vzdolžne povezanosti vodotokov	48
4	TESTNI PRIMER UPORABE KANADSKE METODE ZA PREDNOSTNO RAZVRŠČANJE PREČNIH VODNIH ZGRADB ZA IZBOLJŠANJE VZDOLŽNE POVEZANOSTI VODOTOKOV	51
4.1	Splošno	51
4.2	Izračun indeksa DCI v programu R.....	51
4.3	Izračun indeksa DCI v primeru rečnega omrežja s šestimi prečnimi vodnimi zgradbami, ki so neprehodne za ribe.....	53
4.4	Izračun indeksa DCI v primeru rečnega omrežja s šestimi prečnimi vodnimi zgradbami, ki imajo različno prehodnost za ribe.....	55
5	PREDNOSTNO RAZVRŠČANJE PREČNIH VODNIH ZGRADB ZA IZBOLJŠANJE VZDOLŽNE POVEZANOSTI VODOTOKOV NA POREČJU SORE... ..	58
5.1	Opis območja	58
5.2	Prečne vodne zgradbe na porečju Sore	59
5.2.1	Gostota prečnih vodnih zgradb na Sori, Selški Sori, Zadnji Sori in Poljanski Sori.....	63
5.2.2	Ribji prehodi na obravnavanem območju.....	64
5.3	Vrste rib in njihove značilnosti	67
5.3.1	Vrste rib na obravnavanem območju	67
5.3.2	Plavalne sposobnosti rib	69
5.3.3	Skakalne sposobnosti rib	72
5.4	Uporaba kanadske metode za prednostno razvrščanje prečnih vodnih zgradb za izboljšanje vzdolžne povezanosti vodotokov na porečju Sore.....	74
5.4.1	Vhodni podatki za uporabo kanadske metode za prednostno razvrščanje prečnih vodnih zgradb za izboljšanje vzdolžne povezanosti vodotokov na porečju Sore.....	74
5.4.2	Rezultati izračuna indeksa DCI_p za porečje Sore.....	75
5.4.3	Rezultati izračuna teoretičnih indeksov DCI_p za porečje Sore	76
5.5	Kritični pogled na rezultate izračuna indeksa DCI.....	78
5.6	Razprava	79
6	REŠITVE PRI VZPOSTAVLJANJU VZDOLŽNE POVEZANOSTI VODOTOKOV ZA RIBE	82
6.1	Splošno	82
6.2	Zgodovina.....	82
6.3	Biološke osnove selitev rib	83
6.4	Orientacija in selitveno obnašanje rib.....	83
6.5	Funkcionalnost ribjih prehodov.....	84
6.6	Priporočila pri načrtovanju ribjih prehodov.....	85
6.6.1	Biološki podatki, hidravlični podatki in podatki o območju.....	85
6.6.2	Vhod in izhod ribjega prehoda	85

6.7	Dolvodne selitve rib	87
6.7.1	Načini za omogočanje dolvodnih selitev rib	87
6.7.2	Vedenjske ovire pri dolvodnih selitvah rib	88
6.7.3	Fizične ovire pri dolvodnih selitvah rib	89
6.8	Gorvodne selitve rib in vrste ribjih prehodov	89
6.8.1	Bazenski tip ribjega prehoda	90
6.8.2	Ribji prehod Denil	91
6.8.3	Zapiralno ribje dvigalo	92
6.8.4	Ribje dvigalo sistema "ujemi in prenesi"	94
6.8.5	Hrapava drča	94
6.8.6	Obtočni kanal	96
6.8.7	Ribji prehodi za jegulje in njihove mladice	97
6.8.8	Splavnice	98
6.8.9	Fizično premeščanje rib	98
6.9	Pregled slovenske zakonodaje in nadaljnje usmeritve za izboljšanje vzdolžne povezanosti vodotokov	99
6.9.1	Splošno	99
6.9.2	Zakonodajni okvir vzpostavljanja vzdolžne povezanosti vodotokov v Sloveniji	99
6.9.3	Nadaljnje usmeritve pri vzpostavljanju vzdolžne povezanosti vodotokov v Sloveniji	101
7	ZAKLJUČEK	102
8	POVZETEK	104
9	SUMMARY	106
VIRI	108
PRILOGE	119

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Pregled hudournikov, hudourniških in erozijskih lokacij na porečju zgornje Save (Papež, 2010; Jesenovec, 1995)	10
Preglednica 2: Vplivi prečnih vodnih zgradb na vodotoke (Wohl, 2006: str. 220)	19
Preglednica 3: Metode za ocenjevanje prehodnosti prečnih vodnih zgradb za ribe v vodotokih (Kemp in O'Hanley, 2010: str. 300)	28
Preglednica 4: Kriteriji in vrednosti kriterijev za prednostno razvrščanje prepustov za okrožje Clackamas (Oregon) (Karle, 2005: str. 67)	33
Preglednica 5: Kriteriji in vrednosti kriterijev za izračun indeksa PI (Fish Passage and Surface ..., 2009; Karle, 2005: str. 68)	35
Preglednica 6: Kriteriji za ugotavljanje prehodnosti prečnih vodnih zgradb za ribe (Fish Passage and Surface ..., 2009)	36
Preglednica 7: Vrste prečnih vodnih zgradb in njihovi potencialni vplivi na ribe (Taylor in Love, 2003: str. 1)	37
Preglednica 8: Opis vhodnih podatkov za izračun indeksa DCI (Cote, 2012; Cote in sod., 2009)	52
Preglednica 9: Izračun indeksa DCI_p po rečnih odsekih	56
Preglednica 10: Izračun indeksa DCI_d po rečnih odsekih	57
Preglednica 11: Vrednosti indeksa DCI_p in DCI_d in teoretičnega indeksa DCI_p in DCI_d (teo DCI_p in teo DCI_d)	57
Preglednica 12: Gostota obremenjenosti vodotokov s prečnimi vodnimi zgradbami	63
Preglednica 13: Ribji prehodi na Sori, Selški Sori in Poljanski Sori	65
Preglednica 14: Ribje vrste značilne za porečje Sore, Selške Sore, Zadnje Sore in Poljanske Sore (Urbanič in Podgornik, 2012; Podgornik in Urbanič, 2012; Veenvilet in Veenvilet, 2006)	68
Preglednica 15: Skakalne in plavalne sposobnosti nekaterih ribjih vrst	74
Preglednica 16: Prednostni seznam 10 prečnih vodnih zgradb z najvišjimi teoretičnimi vrednostmi indeksa DCI_p	77

KAZALO SLIK

Slika 1: Kategorije vodnih objektov in naprav (Zakon o vodah, 2002)	6
Slika 2: Kamnit prag na Selški Sori (Kolman, 2012)	11
Slika 3: Talni prag na Sori (Kolman, 2012).....	11
Slika 4: Demšarjev jez na Poljanski Sori (Kolman, 2012).....	12
Slika 5: Benediktov jez na Selški Sori (Kolman, 2012).....	12
Slika 6: Drča (Fish passes ..., 2002: str. 33).....	12
Slika 7: Lesena drsna tablasta zapornica na ročni pogon (Pemič in Mikoš, 2005: str. 89)	13
Slika 8: Pregrada na Savi – hidroelektrarna Moste (Kolman, 2012)	14
Slika 9: Cestni prepust (Cahoon in sod., 2007: str. 51)	15
Slika 10: Popis in ocena prehajanja rib čez prečne vodne zgradbe (Taylor in Love, 2003: str. 6)	39
Slika 11: Komponente indeksa DCI_p in DCI_d (Cote in sod., 2009).....	45
Slika 12: Učinek prehodnosti in števila prečnih vodnih zgradb na indeks DCI za potamodromne in diadromne ribe (Cote in sod., 2009: str. 107)	48
Slika 13: Drevesno omrežje (Kemp in O'Hanley, 2010: str. 303)	49
Slika 14: Ukaz v R za izračun indeksa DCI.....	52
Slika 15: Ukaz v R za izračun teoretičnega indeksa DCI	53
Slika 16: Primer rečne mreže z neprehodnimi prečnimi vodnimi zgradbami za ribe	54
Slika 17: Primer rečne mreže z različno prehodnimi prečnimi vodnimi zgradbami za ribe	55
Slika 18: Porečje zgornje Save	58
Slika 19: Vrste prečnih vodnih zgradb na Sori, Selški Sori, Zadnji Sori in Poljanski Sori	60
Slika 20: Vrste in število prečnih vodnih zgradb na Sori, Selški Sori, Zadnji Sori in Poljanski Sori.....	60
Slika 21: Prečne vodne zgradbe in njihove višine na Sori, Selški Sori, Zadnji Sori in Poljanski Sori	61
Slika 22: Frekvenčni histogram višin jezov na Sori, Selški Sori, Zadnji Sori in Poljanski Sori.....	62
Slika 23: Frekvenčni histogram višin pragov na Sori, Selški Sori, Zadnji Sori in Poljanski Sori	63
Slika 24: Gostota prečnih vodnih zgradb na Sori, Selški Sori, Zadnji Sori in Poljanski Sori.....	64
Slika 25: Hrapava drča na pragu na Sori (Kolman, 2012).....	66
Slika 26: Ribja steza na jezu v Goričanah na Sori (Kolman, 2012).....	66
Slika 27: Ribja steza na Okornovem jezu na Selški Sori (Kolman, 2012).....	66
Slika 28: Ribja steza na Šeširjevem jezu na Selški Sori (Kolman, 2012).....	66
Slika 29: Ribja steza na Dermotovem jezu na Selški Sori (Kolman, 2012).....	66
Slika 30: Ribja steza na Puštalskem jezu na Poljanski Sori (Kolman, 2012)	66
Slika 31: Ribja steza na Petruzzovem jezu na Poljanski Sori (Kolman, 2012).....	67
Slika 32: Porušena ribja steza na jezu Koreninovc na Poljanski Sori (Kolman, 2012).....	67
Slika 33: Slovenski ribji tipi v ekoregiji Alpe (Urbanič in Podgornik, 2012: str. 5)	69
Slika 34: Maksimalne hitrosti plavanja rib v odvisnosti od dolžine ribe in temperature vode (Beach, 1984: str. 8)	71
Slika 35: Čas trajanja maksimalnih plavalnih hitrostih rib v odvisnosti od dolžine ribe in temperature vode (Beach, 1984: str. 9)	72

Slika 36: Skakalne krivulje za postrv <i>Oncorhynchus mykiss irideus</i> pri hitrosti 8,1 m/s (Powers in Orsborn, 1985)	73
Slika 37: Razporeditev prečnih vodnih zgradb glede na razpon vrednosti teoretičnega indeksa DCI_p na Sori, Selški Sori, Zadnji Sori in Poljanski Sori	77
Slika 38: Ribji prehod na diagonalnem jezu (Measures for ensuring ..., 2013: str. 15).....	86
Slika 39: Ribji prehod z vertikalnimi prekati (Thorncraft in Harris, 2000: str. 9).....	91
Slika 40: Ribji prehod Denil (Thorncraft in Harris, 2000: str. 11)	92
Slika 41: Zapiralno ribje dvigalo (Thorncraft in Harris, 2000: str. 12)	93
Slika 42: Zapiralno ribje dvigalo za nizke prečne vodne zgradbe (Thorncraft in Harris, 2000: str. 12).....	93
Slika 43: Ribje dvigalo sistema "ujemi in prenesi" (Thorncraft in Harris, 2000: str. 13).....	94
Slika 44: Hrapava drča čez celoten prečni profil vodotoka (Thorncraft in Harris, 2000: str. 14).....	95
Slika 45: Hrapava drča v obrežnem prostoru (Thorncraft in Harris, 2000: str. 14).....	95
Slika 46: Obtočni kanal (Thorncraft in Harris, 2000: str. 15).....	96
Slika 47: Ščetinast substrat (Solomon in Beach, 2004: str. 16)	97
Slika 48: Prehod za jegulje (Solomon in Beach, 2004: str. 8)	97
Slika 49: Dvigalo za jegulje (Solomon in Beach, 2004: str. 10).....	98

SEZNAM PRILOG

PRILOGA A: Podatki o prečnih vodnih zgradbah v porečju Sore

LIST OF TABLES

Table 1: Review of torrents, torrential and erosion sites in the upper basin of the Sava River (Papež, 2010; Jesenovec, 1995).	10
Table 2: Impacts of transverse river structures on watercourses (Wohl, 2006: p. 220).....	19
Table 3: Methods for assessing the passability of transverse river structures for fish in watercourses (Kemp and O'Hanley, 2010: p. 300)	28
Table 4: Criteria and criteria values for prioritization of culverts for Clackamas County (Oregon) (Karle, 2005: p. 67)	33
Table 5: Criteria and criteria values for the calculation of the PI index (Fish Passage and Surface ..., 2009; Karle, 2005: p. 68)	35
Table 6: Criteria for determining the passability of transverse river structures for fish (Fish Passage and Surface ..., 2009).....	36
Table 7: Types of transverse river structures and their potential effects on fish (Taylor and Love, 2003: p. 1) ...	37
Table 8: Description of the input data for the calculation of the DCI index (Cote, 2012; Cote et al., 2009)	52
Table 9: Calculation of DCI _p index according to river segments	56
Table 10: Calculation of DCI _d index according to river segments	57
Table 11: Values for DCI _p and DCI _d index and theoretical DCI _p and DCI _d index (teo DCI _p in teo DCI _d)	57
Table 12: The density of load of rivers with transverse river structures.....	63
Table 13: Fish migration aids on Sora, Selška Sora and Poljanska Sora Rivers	65
Table 14: Fish species in Sora, Selška Sora, Zadnja Sora and Poljanska Sora River Basin (Urbanič and Podgornik, 2012; Podgornik and Urbanič, 2012; Veenvilet and Veenvilet, 2006)	68
Table 15: Leaping and swimming abilities of some fish species.....	74
Table 16: Priority list of 10 transverse river structures with the highest theoretical values of DCI _p index	77

LIST OF FIGURES

Figure 1: Categories of water facilities (Waters Act, 2002)	6
Figure 2: Stone weir at Selška Sora River (Kolman, 2012).....	11
Figure 3: Sill at Sora River (Kolman, 2012).....	11
Figure 4: Demšar dam at Poljanska Sora River (Kolman, 2012).....	12
Figure 5: Benedikt dam at Selška Sora River (Kolman, 2012).....	12
Figure 6: A rock-ramp (Fish passes, 2002: p. 33).....	12
Figure 7: Hand-operated wooden sliding sluice (Pemič and Mikoš, 2005: p. 89).....	13
Figure 8: Dam at Sava River – hydropowerplant Moste (Kolman, 2012).....	14
Figure 9: Road culvert (Cahoon et al., 2007: p. 51).....	15
Figure 10: Inventory and assessment of fish migration over transverse river structures (Taylor and Love, 2003: p. 6).....	39
Figure 11: Components of the DCI _p and DCI _d index (Cote et al., 2009).....	45
Figure 12: The effects of passability and number of transverse river structures on DCI index for potamodromous and diadromous fish (Cote et al., 2009: p. 107).....	48
Figure 13: Tree network (Kemp and O'Hanley, 2010: p. 303)	49
Figure 14: The command in R for calculating the DCI index.....	52
Figure 15: The command in R for calculating the theoretical DCI index.....	53
Figure 16: An example of river network with transverse river structures impassable for fish	54
Figure 17: An example of river network with transverse river structures with different passability for fish	55
Figure 18: Upper Sava river basin	58
Figure 19: The types of transverse river structures on Sora, Selška Sora, Zadnja Sora and Poljanska Sora Rivers	60
Figure 20: The types and number of transverse river structures on Sora, Selška Sora, Zadnja Sora and Poljanska Sora Rivers	60
Figure 21: Transverse river structures and their heights on Sora, Selška Sora, Zadnja Sora and Poljanska Sora Rivers.....	61
Figure 22: Frequency histogram of dams heights on Sora, Selška Sora, Zadnja Sora and Poljanski Sora Rivers.....	62
Figure 23: Frequency histogram of weirs heights on Sora, Selška Sora, Zadnja Sora and Poljanska Sora Rivers.....	63
Figure 24: The density of transverse river structures on Sora, Selška Sora, Zadnja Sora and Poljanska Sora Rivers.....	64
Figure 25: A rock-ramp fishway on a weir on Sora River (Kolman, 2012).....	66
Figure 26: Fish ladder on a dam in Goričane on Sora River (Kolman, 2012)	66
Figure 27: Fish ladder on Okorn dam on Selška Sora River (Kolman, 2012)	66
Figure 28: Fish ladder on Šešir dam on Selška Sora River (Kolman, 2012)	66
Figure 29: Fish ladder on Dermont dam on Selška Sora River (Kolman, 2012)	66
Figure 30: Fish ladder on Puštal dam on Poljanska Sora River (Kolman, 2012).....	66
Figure 31: Fish ladder on Petruzz dam on Poljanska Sora River (Kolman, 2012)	67
Figure 32: Destroyed fish ladder on Koreninovc dam on Poljanska Sora River (Kolman, 2012)	67
Figure 33: Slovenian fish types in the Ecoregion Alps (Urbančič and Podgornik, 2012: p. 5)	69

Figure 34: Maximal swimming speeds of fish in relation with the length of the fish and water temperature (Beach, 1984: p. 8)	71
Figure 35: Time of maximum swimming speeds of fish in relation with the length of the fish and water temperature (Beach, 1984: p. 9)	72
Figure 36: Leaping curves for steelhead trout <i>Oncorhynchus mykiss irideus</i> at speed of 8,1 m/s (Powers and Orsborn, 1985).....	73
Figure 37: Distribution of transverse river structures in relation to the range of values of the theoretical index DCI_p on Sora, Selška Sora, Zadnja Sora and Poljanska Sora Rivers.....	77
Figure 38: Fishpass on the diagonal dam (Measures for ensuring ..., 2013: p. 15)	86
Figure 39: A vertical-slot fishway (Thorncraft and Harris, 2000: p. 9)	91
Figure 40: A Denil fishway (Thorncraft and Harris, 2000: p. 11).....	92
Figure 41: A lock fishway (Thorncraft and Harris, 2000: p. 12).....	93
Figure 42: A low level-lock fishway (Thorncraft and Harris, 2000: p. 12).....	93
Figure 43: A trap-and-transport fishway (Thorncraft and Harris, 2000: p. 13).....	94
Figure 44: A rock-ramp fishway across the whole transverse river-bed profile (Thorncraft and Harris, 2000: p. 14)	95
Figure 45: A rock-ramp fishway in the riparian area (Thorncraft and Harris, 2000: p. 14).....	95
Figure 46: A bypass fishway (Thorncraft and Harris, 2000: p. 15).....	96
Figure 47: Bristle substrate (Solomon and Beach, 2004: p. 16)	97
Figure 48: Eel pass (Solomon and Beach, 2004: p. 8).....	97
Figure 49: Eel lift (Solomon and Beach, 2004: p. 10).....	98

LIST OF APPENDICES

APPENDIX A: Data about transverse river structures in the Sora River basin

SLOVAR IZRAZOV

AMFIDROMNE RIBE – diadromne ribe, ki se selijo med morjem in sladko vodo ne samo zaradi razmnoževanja temveč tudi zaradi drugih potreb (Thorncraft in Harris, 2000; Measures for ensuring ..., 2013).

ANADROMNE RIBE – diadromne ribe, ki večji del življenja preživijo v morju, na drstitev pa se selijo v celinske vode, npr. losos (Thorncraft in Harris, 2000; Measures for ensuring ..., 2013).

BENTOŠKI NEVREtenČARJI – tudi makroinvertebrati ali vodni nevretenčarji so organizmi, ki so večji od enega milimetra in vidni s prostim očesom. Najznačilnejše skupine bentoških nevretenčarjev so: vrtinčarji (Turbellaria), polži (Gastropoda), školjke (Bivalvia), maloščetinci (Oligochaeta), pijavke (Hirudinea), raki (Crustacea) in žuželke (Insecta) (Urbanič in Toman, 2003).

CESTNI PREPUST – objekt za odvodnjo vode (npr. potokov, jarkov) skozi cestno konstrukcijo v prečni smeri glede na os nivelete ceste (Pantar, 2007).

DIADROMNE RIBE – ribe, ki se za potrebe drstitve in prehranjevanja selijo med celinskimi vodami in morjem v razdaljah nekaj 1.000 km (Larinier, 2000).

DRČA – stopenjski prag z izrazito blagim naklonom zračne strani od 1:10 do 1:15. Poznamo hrapave in gladke drče. Hrapavost drče povzroča neenakomerni tok vode in ustvarja turbulenco vode, pri gladkih drčah pa je tok vode enakomeren. Pretočna površina oz. hrbet drče je zgrajen iz večjih kosov kamna, lahko tudi v kombinaciji z betonom, med katerimi reže ostanejo nezapolnjene (Pravilnik o določitvi vodne infrastrukture, 2005; Rak in sod., 2008).

GORSKI VODOTOK – vodotok, ki ima specifično dinamiko toka vode in transporta snovi in vpliva na nižje ležeče vodotoke. Za gorske vodotoke je značilna manjša biotska raznovrstnost od vodotokov v srednjem in spodnjem toku, vodni ter obrežni organizmi so prilagojeni na občasne velike pretoke, strmi nakloni in relativno visoka kapaciteta transporta sedimentov, presežek sedimentov se transportira in odlaga v dolvodnih območjih vodotoka, brežina vodotoka je iz skal ali grobih zrn, ki so odporni na erozijo (Wohl, 2006).

HUDOURNIK – vodotok s strmo strugo in veliko prodonosnostjo (Mikoš, 2000). Hudournik je gorski ali hribski vodotok za katerega je značilno, da mu ob padavinah hitro naraste pretok. Hudournik lahko opišemo kot stalni ali delno presihajoč vodotok, ki zaradi hitro nastopajočega odtoka, ki traja kratek

čas, odplavlja trdne snovi (plavine, sedimente) iz struge ali svojega prispevnega območja. Plavine hudournik premešča s seboj in jih odlaga v svoji strugi ali izven nje (Mikoš, 2008).

HUDOURNIŠKA PREGRADA – prečna vodna zgradba s katero stabiliziramo dno hudourniške struge, ustavimo globinsko erozijo in zadržimo plavine in plavje. Po navadi izvedemo stabilizacijo hudournikov s sistemom pregrad v obliki stopnic (Mikoš, 2008; Pravilnik o določitvi vodne infrastrukture, 2005).

INDEKS DCI – indeks vzdolžne povezanosti vodotokov (angl. dendritic connectivity index). Z indeksom DCI določamo vzdolžno povezanost rečnih omrežij, ki temelji na verjetnosti, da se lahko ribe prosto gibljejo med dvema naključnima točkama v rečnem omrežju in vrednotimo vpliv prečnih vodnih zgradb na povezanost rečnega omrežja za ribe (Cote in sod., 2009).

INDEKS DCI_d – indeks vzdolžne povezanosti vodotokov za diadromne ribe. Prečne vodne zgradbe v bližini rečnih ustij imajo največji vpliv na diadromne ribe in s tem na indeks DCI_d (Cote in sod., 2009).

INDEKS DCI_p – indeks vzdolžne povezanosti vodotokov za potamodromne ribe. Prečne vodne zgradbe v središču rečnih omrežij imajo največji vpliv na potamodromne ribe in s tem na indeks DCI_p (Cote in sod., 2009).

JEZ – prečna vodna zgradba v strugi, ki ustvarja razliko med gladinama gorvodno in dolvodno od jezua. Po navadi je sestavni del jezua še naprava za odvzem vode, prodni izpust, podslapje, zavarovanje brežin in dna v območju jezua in hidromehanska oprema za regulacijo pretoka (Pravilnik o določitvi vodne infrastrukture, 2005). Pemič in Mikoš (2005) navajata klasično razvrstitev zajezitvenih zgradb, kjer so jezovi opredeljeni kot prečne vodne zgradbe z višino, ki je manjša od 10 m.

KATADROMNE RIBE – diadromne ribe, ki preživijo večino svojega življenja v celinski vodi in se selijo v morje na drstitev, npr. jegulja (Thorncraft in Harris, 2000; Measures for ensuring ..., 2013).

MOČNO PREOBLIKOVANO VODNO TELO – telo površinske vode, katerega značilnosti so znatno spremenjene zaradi fizičnih sprememb, ki jih je povzročilo človekovo delovanje (Direktiva 2000/60/ES).

NAČRT UPRAVLJANJA VODA – nacionalni strateško načrtovalski dokument na področju upravljanja voda, ki celostno obravnava vodarsko problematiko, in s katerim bomo dosegli, da bodo

vode do leta 2015 v Republiki Sloveniji v dobrem stanju (Načrt upravljanja voda za vodni območji Donave in Jadranskega morja 2009-2015, 2011).

POTAMODROMNE RIBE – ribe, ki se selijo znotraj celinskih voda. Razmnoževalna in prehranjevalna območja so lahko oddaljena od nekaj metrov pa do 100 km (Larinier, 2000). Selitve potamodromnih rib razdelimo na dolge selitve (več kot 300 km v eno smer v obdobju enega leta), srednje selitve (od 30 do 300 km v eno smer v obdobju enega leta) in kratke selitve (manj kot 30 km v eno smer v obdobju enega leta) (Measures for ensuring ..., 2013).

PRAG – prečna vodna zgradba v dnu struge, ki je vpeta v brežini. S pragovi utrdimo ostenje ali zmanjšamo padec dna struge s čimer povečamo odpornost na erozijske sile ter stabiliziramo gorvodne nanose in erozijske procese. Višina pragov znaša od 0,2 m do 2,0 m, koristna višina talnih pragov je 0,0 m, ker služijo samo utrditvi vzdolžnega padca in prečnega profila struge (Markič, 2008; Rak in sod., 2008).

PREČNE VODNE ZGRADBE – pragovi, jezovi, drče, cestni prepusti, zapornice, pregrade, hudourniške pregrade predstavljajo prečne vodne zgradbe, ki lahko onemogočajo selitve rib po vodotoku in vplivajo na naravne selitvene vzorce ribjih vrst. Omejujejo lahko dostop ribam do primernih habitatov in drstišč (Measures for ensuring ..., 2013).

PREGRADA – prečna zgradba, ki pregrajuje dolino in zajezi vodo (tudi dolinska pregrada). Sestavni del pregrade so še visokovodni preliv, talni izpust, hidromehanska oprema in podslapje (Pravilnik o določitvi vodne infrastrukture, 2005). Pemič in Mikoš (2005) navajata klasično razvrstitev zaježitvenih zgradb, kjer so dolinske (visoke) pregrade opredeljene z višino, ki je večja od 10 m. Slovenski nacionalni komite za velike pregrade (SLOCOLD) opredeljuje mednarodne definicije za visoke pregrade, ki so povzete po kriterijih mednarodne komisije za velike pregrade ICOLD.

RIBJI PREHOD – zgradba, ki omogoča ribam in drugim vodnim organizmom (npr. bentoškimi nevretenčarjem), da prečkajo neprehodno prečno vodno zgradbo. V preteklosti so ribji prehodi omogočali le gorvodne selitve rib, danes pa bi morali ribji prehodi omogočati gorvodne in dolvodne selitve vodnih organizmov (Measures for ensuring ..., 2013).

SALMONIDNE RIBE – salmonidne ribe uvrščamo v družino Salmonidae (npr. potočna postrv, lipan, sulec) (Dussling in sod., 2004) za katero so značilne dobre plavalne in skakalne sposobnosti (Kemp in sod., 2008; Taylor in Love, 2003).

TERMALNA STRATIFIKACIJA ZBIRALNIKA – pod določenimi pogoji, ki so odvisni tudi od globine vode v zbiralniku (najmanj med 7-15 m) in zadrževalnega časa zbiralnika (razmerje med volumnom pritoka in celotnim volumnom zbiralnika), se v zbiralnikih lahko pojavi termalna stratifikacija oz. plastovitost. Poleti je toplejša voda v zbiralniku na površini (epilimnij) in hladnejša pri dnu (hipolimnij), med obema plastema pa je plast vode, ki preprečuje mešanje imenovana metalimnij (termoklina) (Petts in Amoros, 1996).

TROFIČNOST ZBIRALNIKA – ločimo oligotrofne, mezotrofne in evtrofne zbiralnike. Oligotrofni zbiralniki vsebujejo malo hranilnih snovi, zato v njih potekata majhna primarna produkcija ter popolna razgradnja odmrlih organizmov in njihovih delov. Mezotrofni zbiralniki vsebujejo zmerno količino hranilnih snovi, zato v njih potekata zmerna primarna produkcija in nepopolna razgradnja odmrlih organizmov ter njihovih delov. Evtrofni zbiralniki vsebujejo veliko količino hranilnih snovi, zato v njih poteka velika primarna produkcija in nepopolna razgradnja odmrlih organizmov in njihovih delov, ki se kopičijo na dnu zbiralnika (Batič in sod., 2011).

UMETNO VODNO TELO – telo površinske vode, ki ga je ustvaril človek (Direktiva 2000/60/ES).

VODNA DIREKTIVA – leta 2000 je Evropska unija z vodno direktivo (Direktiva 2000/60/ES) uvedla okvir za zaščito in celostno upravljanje z vodnimi telesi po Evropi. Ključni cilj vodne direktive je doseganje vsaj dobrega ekološkega stanja na vodnih telesih površinskih voda ali pa dobrega ekološkega potenciala na močno preoblikovanih in umetnih vodnih telesih do leta 2015 (Direktiva 2000/60/ES).

VODNO TELO POVRŠINSKE VODE – ločen in pomemben sestavni del površinske vode, kot npr. jezero, vodni zbiralnik, potok, reka ali kanal, del potoka, reke ali kanala, somornica ali del obalnega morja (Direktiva 2000/60/ES).

ZAPORNICA – prečna vodna zgradba, ki jo uporabljamo za uravnavanje pretoka in vzdrževanja vodne gladine in predstavlja samostojen objekt. Sestavljena je iz fiksnega betonskega dela in hidromehanske opreme (Pemič in Mikoš, 2005; Pravilnik o določitvi vodne infrastrukture, 2005).

ZBIRALNIK – prostor, kjer umetno začasno ali stalno zadržujemo vodo. Nastane z zajezitvijo tekočih voda (Pravilnik o določitvi vodne infrastrukture, 2005; Zakon o vodah, 2002).

1 UVOD

1.1 Splošno

Zmanjševanje vzdolžne povezanosti vodotokov zaradi izgradnje pregrad, jezov in pragov predstavlja ekološki problem tekočih voda. Prečne vodne zgradbe vplivajo na vodne organizme. Prekinitev selitvenih poti za ribe je svetovno razširjen problem pri upravljanju z vodami, ki ga v državah rešujejo na različne načine. Slovenija je, kot država Evropske skupnosti, ki spodbuja trajnostno rabo vodnih virov, sprejela vodno direktivo (Direktiva 2000/60/ES) s ciljem, da dosežemo dobro stanje voda do leta 2015.

Prekinitev selitvenih poti za ribe povečuje izginjanje nekaterih rib na posameznih odsekih vodotokov. Glede na prisotnost značilnih vrst rib odseke vodotokov delimo na ribje pasove. Za zgornji tok vodotoka sta najbolj značilna predvsem pas postrvi (prevladuje potočna postrv – *Salmo trutta*) in pas lipana (*Thymallus thymallus*), za srednji tok vodotoka je značilen pas mreine (*Barbus barbus*), za spodnji tok pa pas ploščiča (*Abramis brama*). Prečne vodne zgradbe spreminjajo rečne habitate in vplivajo na razmere za razmnoževanje, rast in razvoj rib. Vplivi prečnih vodnih zgradb na ribe so različni in sicer od kratkih časovnih zamud pri selitvah na drstitvena območja, do popolnih preprečitev selitev. Pri plavanju rib čez prelivna polja ali turbine hidroelektrarn se ribe lahko poškodujejo ali umrejo. Vplivi prečnih vodnih zgradb na ribe so odvisni od geometrijskih značilnosti prečne vodne zgradbe, hidroloških razmer, ki jih prečna vodna zgradba ustvarja in vrst rib in njihovih plavalnih in skakalnih sposobnosti (Kemp in O'Hanley, 2010; Larinier, 2000). Ribe razdelimo glede na smer selitev v naslednje skupine:

- potamodromne ribe: ribe se selijo znotraj celinskih voda. Razmnoževalna in prehranjevalna območja so lahko oddaljena od nekaj metrov pa do 100 km (Larinier, 2000). Selitve potamodromnih rib razdelimo na dolge selitve (več kot 300 km v eno smer v obdobju enega leta), srednje selitve (od 30 do 300 km v eno smer v obdobju enega leta) in kratke selitve (manj kot 30 km v eno smer v obdobju enega leta) (Measures for ensuring ..., 2013).
- diadromne ribe: za potrebe drstenja in prehranjevanja se ribe selijo med celinskimi vodami in morjem v razdaljah nekaj 1.000 km (Larinier, 2000). Diadromne ribe delimo še na anadromne ribe (preživijo večino svojega življenja v morju in se selijo v celinske vode na drstitev, npr. losos), katadromne ribe (preživijo večino svojega življenja v celinski vodi in se selijo v morje na drstitev, npr. jegulja) in amfidromne ribe (se selijo med morjem in sladko vodo ne samo zaradi razmnoževanje temveč tudi zaradi drugih potreb) (Thorncraft in Harris, 2000; Measures for ensuring ..., 2013). Prečne vodne zgradbe neprehodne za anadromne in katadromne ribe povzročijo lokalno izumrtje teh rib gorvodno nad neprehodno prečno vodno zgradbo (Thorncraft in Harris, 2000).

Za izboljšanje razmer v vodotokih in posledično tudi ekološkega stanja voda so potrebni omilitveni ukrepi s katerimi ponovno vzpostavimo oz. izboljšamo vzdolžno povezanost vodotokov. Ponovna vzpostavitev vzdolžne povezanosti vodotokov je eden izmed najbolj pomembnih ukrepov obnov vodotokov (Roni in sod., 2002). Najbolj pogosto uporabljen omilitveni ukrep pri vzpostavljanju vzdolžne povezanosti vodotokov je ribji prehod. Poznamo več vrst ribjih prehodov in sicer bazenski tip, prehod Denil, obtočni kanal, drča, itd. Izbira vrste ribjega prehoda in geometrijskih in hidravličnih lastnosti ribjega prehoda je odvisna od vrst rib v vodotoku, njihovega obdobja selitev, plavalnih sposobnosti in selitvenega vedenja (Bates, 2000). Ribji prehod moramo dimenzionirati na način, da omogoča selitve najšibkejšim ribjim vrstam in ribam v različnih starostnih obdobjih čez prečne vodne zgradbe (NRCS, 2007; Measures for ensuring ..., 2013). Možen omilitveni ukrep pri vzpostavljanju vzdolžne povezanosti vodotokov je tudi odstranitev prečne vodne zgradbe. Doyle in sod. (2000) navajajo, da je odstranitev prečne vodne zgradb z višino do 5 m, najbolj ekosistemsko in stroškovno učinkovit ukrep.

1.2 Namen in cilji raziskave

V magistrskem delu najprej analiziramo prečne vodne zgradbe na Selški Sori, Zadnji Sori, Poljanski Sori in Sori z namenom, da ugotovimo, kako prečne vodne zgradbe vplivajo na vzdolžno povezanost vodotokov in selitve rib. V magistrskem delu obravnavamo vrste ribjih prehodov, ki predstavljajo omilitvene ukrepe s katerimi lahko vzpostavimo vzdolžno povezanost v vodotokih. Opisujemo najbolj pogosto uporabljene vrste ribjih prehodov: bazenski tip, prehod Denil, zapiralno ribje dvigalo, dvigalo sistema ujemi in prenesi, drča, obtočni kanal in specifični ribji prehodi za jegulje in njihove mladice.

V magistrskem delu je bil cilj ugotoviti katere prečne vodne zgradbe najbolj vplivajo na selitve rib in narediti prednostni seznam za obnovo prečnih vodnih zgradb za ponovno vzpostavitev vzdolžne povezanosti vodotoka za ribe. Za vrednotenje vpliva prečnih vodnih zgradb na selitve rib uporabljamo kanadsko metodo za prednostno razvrščanje prečnih vodnih zgradb za izboljšanje vzdolžne povezanosti vodotokov, na podlagi katere izračunamo indeks vzdolžne povezanosti vodotokov – indeks DCI (angl. dendritic connectivity index – DCI index) in rečnega omrežja. Z indeksom DCI določimo tiste prečne vodne zgradbe, ki najbolj negativno vplivajo na selitve rib in s tem na zmanjšano povezanost rečnega omrežja (Cote in sod., 2009). Indeks DCI smo uporabili za prednostno razvrščanje prečnih vodnih zgradb na porečju Sore, na katerih se prednostno vzpostavi vzdolžno povezanost vodotoka za ribe.

V magistrskem delu preverjamo dve hipotezi. V prvi hipotezi predpostavljamo, da so prečne vodne zgradbe na porečju Sore glavni razlog za razdrobljenost rečnih ekosistemov in da je veliko število prečnih vodnih zgradb (jezov in pragov) neprehodnih za ribe. V drugi hipotezi predpostavljamo, da je indeks vzdolžne povezanosti vodotokov (indeks DCI) uporaben za določanje vzdolžne povezanosti vodotokov na porečju Sore.

1.3 Metodologija dela

V magistrskem delu obravnavamo prečne vodne zgradbe in ocenjujemo vplive na vodotoke in na ribe v vodotokih. V prvem delu magistrskega dela smo pregledali metode za prednostno razvrščanje prečnih vodnih zgradb za izboljšanje vzdolžne povezanosti vodotokov, ki predstavljajo orodje za celovito in trajnostno upravljanje z vodami. Na osnovi razpoložljivih podatkov smo izbrali metodo s katero ovrednotimo obremenitve prečnih vodnih zgradb na porečju Sore in določili tiste prečne vodne zgradbe, na katerih je treba prednostno vzpostaviti gorvodne in dolvodne selitvene poti za ribe.

Za prednostno razvrščanje prečnih vodnih zgradb za izboljšanje vzdolžne povezanosti vodotokov smo izbrali metodo razvito v Kanadi (Cote in sod., 2009), s katero vrednotimo vzdolžno povezanost vodotokov za ribe. Uporabnost kanadske metode je odvisna od razpoložljivih podatkov, znanja in predhodnih izkušenj ter od subjektivne presoje eksperta o primernosti izbrane metode. Testirali smo uporabnost metode, na podlagi katere izračunamo indeks vzdolžne povezanosti vodotokov (indeks DCI). Indeks DCI temelji na predpostavki, da se ribe prosto gibljejo med dvema naključnima točkama v rečnem omrežju. Indeks DCI lahko izračunamo za potamodromne (selitve v celinskih vodah) in diadromne ribe (selitve med morjem in celinsko vodo). Z indeksom DCI ocenimo kumulativne vplive prečnih vodnih zgradb na ribe ter določimo prednostne naloge za obnovo vodotokov (Cote in sod., 2009; Bourne in sod., 2011).

Za izračun indeksa DCI smo uporabili skript (Cote in sod., 2009) v programu R (The R Project for Statistical Computing) (R Development Core Team, 2013). Rečne odseke, ki jih definirajo prečne vodne zgradbe naravnega ali antropogenega izvora, smo obravnavali kot elemente reke od izvira do izliva. Za vsako prečno vodno zgradbo smo določili oceno prehodnosti za ribe, ki temelji na ekspertni presoji, saj trenutno ne obstajajo podatki o skakalnih in plavalnih sposobnostih rib za vse evidentirane vrste rib v porečju Sore. Pri oceni prehodnosti prečnih vodnih zgradb za ribe smo se osredotočili na fizične (npr. višina jezov ali praga) značilnosti prečne vodne zgradbe in na splošne skakalne in plavalne značilnosti rib. Podatke o dolžini rečnih odsekov med prečnimi vodnimi zgradbami smo pridobili s pomočjo GIS programske opreme (ArcMap) (ARCMAP, 2013). Prehodnost prečnih vodnih zgradb za ribe, dolžine rečnih odsekov med posameznimi prečnimi vodnimi zgradbami, celotno rečno dolžino in

medsebojni mejni položaj rečnih odsekov in prečnih vodnih zgradb smo uporabili kot vhodne podatke za izračun indeksa DCI v programu R. Izračunane vrednosti indeksa DCI smo uporabili pri procesu odločanja pri vzpostavljanju vzdolžne povezanosti vodotokov, saj smo določili tiste prečne vodne zgradbe, na katerih je treba prednostno vzpostaviti vzdolžno povezanost vodotoka za ribe.

2 PREČNE VODNE ZGRADBE

Prečne vodne zgradbe gradimo na območjih, kjer so veliki vzdolžni padci strug vodotokov z namenom zmanjšanja vodne energije pod prečno vodno zgradbo v podslapju ali v erozijskem tolmenu (Mikoš, 2000). Z gradnjo pragov, jezov in drč zmanjšamo padec struge vodotoka in hitrosti vode ter vlečne sile vode, ki delujejo na rečno dno. Posledično se zmanjša tudi erozijska in prenosna sposobnost pregrajenega vodotoka. Zmanjšan padec struge vodotoka povzroča, da prihaja do viškov energije na prečnih vodnih zgradbah, zato morata biti oblika in izvedba prečnih vodnih zgradb takšni, da omogočata zmanjšanje vodne energije pri toku vode preko prečnih vodnih zgradb ali pa na čim krajši razdalji dolvodno od prečnih vodnih zgradb. Učinkovitost delovanja prečnih vodnih zgradb je pogojena s pretočnimi razmerami. Prečne vodne zgradbe so učinkovite pri običajnih pretokih, pri pretokih večjih od običajnih pa erozijski procesi in prenosna sposobnost vode ustvarijo svojo niveleto padca dna (Rak in sod., 2008).

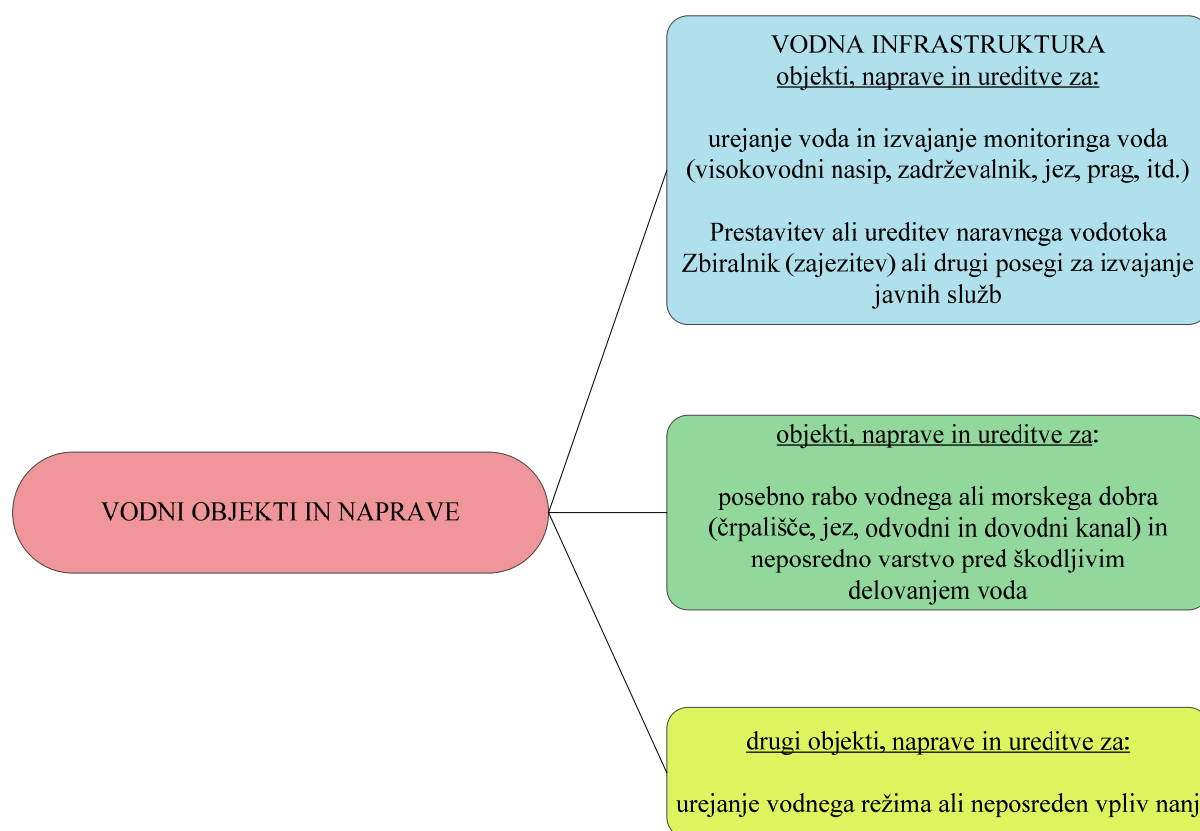
Prečne vodne zgradbe v Sloveniji uporabljamo tudi za zaježitev vode za potrebe različne rabe voda. V Sloveniji imamo evidentiranih okoli 200 večjih ali manjših jezer, ki so nastali zaradi zaježitve vodotoka s prečno vodno zgradbo (pregrado) (Globevnik, 2010). Značilne rabe voda zaradi katerih gradimo prečne vodne zgradbe so:

- poplavna varnost,
- hidroenergetika,
- kmetijstvo (namakanje),
- industrija (tehnološke vode),
- bogatenje nizkih voda,
- ribištvo,
- rekreacija in
- turizem.

2.1 Zakonodajni okvir

V slovenski zakonodaji so vodni objekti in naprave skladno z Zakonom o vodah (2002) razdeljeni v 3 skupine. V prvo skupino vodnih objektov in naprav uvrščamo vodno infrastrukturo, katere gradnja je v javnem interesu in je v lasti države. V vodno infrastrukturo spadajo objekti, naprave in ureditve za urejanje voda in izvajanje monitoringa voda, kot so visokovodni nasipi, zadrževalniki, jezovi, pragovi, idr. Med vodno infrastrukturo uvrščamo tudi prestavitev ali ureditev naravnega vodotoka, ali vodne zbiralnike, ki nastanejo z zaježitvijo tekočih voda, ali druge posege v prostor, ki so namenjeni

izvajanju javnih služb. V drugo skupino vodnih objektov in naprav uvrščamo objekte, naprave in ureditve, ki so namenjeni posebni rabi vodnega ali morskega dobra, kot so črpališča, jezovi, odvodni in dovodni kanali, vključno z objekti ali napravami, ki so namenjeni neposrednemu varstvu pred škodljivim delovanjem voda. Vsaka raba, ki jo ne uvrščamo v splošno rabo vodnega ali morskega dobra in raba naplavin, se smatra za posebno rabo voda. Za posebno rabo voda moramo pridobiti vodno pravico v obliki vodnega dovoljenja ali koncesije. V tretjo skupino vodnih objektov in naprav uvrščamo druge objekte, naprave in ureditve, s katerim urejamo vodni režim ali pa neposredno vplivajo na vodni režim (Slika 1).



Slika 1: Kategorije vodnih objektov in naprav (Zakon o vodah, 2002)

Figure 1: Categories of water facilities (Waters Act, 2002)

Nekateri prečni vodni objekti in naprave so definirani tudi z Uredbo o uvedbi in uporabi enotne klasifikacije vrst objektov in o določitvi objektov državnega pomena (2003) kot objekti državnega pomena, kar pomeni, da je treba za njihovo gradnjo pridobiti gradbeno dovoljenje, ki ga izda ministrstvo pristojno za prostorske in gradbene zadeve:

- velike pregrade,
- jezovi konstrukcijske višine 15 m ali več in dolžine krone 150 m ali več,
- pregrade konstrukcijske višine 10 m ali več in dolžine krone 150 m ali več.

Za vodne objekte in naprave je značilna njihova specifičnost in vpliv objekta ali naprave na vodotok in obratno. Glede na njihov namen vodne objekte in naprave delimo na:

- uporabniške: vodooskrba, namakanje, izraba vodnih moči, transport in rekreacija;
- varovalne: zaščita voda, zaščita pred vodami, erozijska zaščita, drenaže (osuševanje zemljišč, zgradb, itd.) (Steinman in Banovec, 2008).

Načrtovanje in gradnja vodne infrastrukture lahko poteka na podlagi usmeritev nacionalnega programa upravljanja z vodami ali načrtov upravljanja voda, sanacijskih programov, programa ukrepov, podrobnejših načrtov upravljanja voda in projektov za uresničevanje ciljev upravljanja voda, za katere so sredstva pridobljena iz mednarodnih organizacij ali Evropske unije (Pravilnik o določitvi vodne infrastrukture, 2005).

Za potrebe harmonizacije pri evidentiranju, zbiranju, obdelovanju, analiziranju in posredovanju in izkazovanju podatkov o zgrajenih gradbenih objektih ter objektih v izgradnji za statistične in evidenčne namene je bila z Uredbo o uvedbi in uporabi enotne klasifikacije vrst objektov in o določitvi objektov državnega pomena (2003) uvedena CC-SI klasifikacija. CC-SI klasifikacija je osnova za določitev vodne infrastrukture, kot jo definira Pravilnik o določitvi vodne infrastrukture (2005). Pravilnik o določitvi vodne infrastrukture (2005) podrobneje določa vodne objekte, naprave ali ureditve, ki se štejejo za vodno infrastrukturo: prag, jez, drča, zapornica, pregrada, hudourniška pregrada, jezica, toga in gibka obrežna zavarovanja, zavarovanja v dnu struge, visokovodni nasip in objekt za zaščito požiralnika.

2.2 Prečne vodne zgradbe kot selitvene ovire za ribe

Prehajanje rib po vodotoku je lahko ovirano na različne načine. Prečne vodne zgradbe v primeru velikih pretokov in posledičnih visokih hitrostih vode in močne turbulence ustvarjajo neugodne razmere za ribe. Različne prečne vodne zgradbe spreminjajo vzdolžno povezanost struge vodotoka in prečnega profila ter vplivajo na ribje populacije. Ribe glede na različne selitvene razdalje plavajo z različnimi hitrostmi, tako običajno na kratke razdalje plavajo hitreje kot na daljše razdalje (Thorncraft in Harris, 2000). Razdalja, ki jo morajo ribe preplavati do prečne vodne zgradbe, je ključna spremenljivka pri gradnji ribjega prehoda. Lahko se zgodi, da ribe preplavajo polovico ribjega prehoda in jih nato zaradi izčrpanosti odplakne po toku navzdol (Thorncraft in Harris, 2000).

Pomembna lastnost rib za premagovanje navpičnih ovir v vodotokih so skakalne sposobnosti. Salmonidne ribe spadajo v družino postrvi (Salmonidae) (Dussling in sod., 2004), za katero so značilne dobre plavalne in skakalne sposobnosti (Kemp in sod., 2008; Taylor in Love, 2003).

Salmonidne ribe lahko premagujejo višje navpične ovire v primerjavi z drugimi ribami. Višine, ki jih lahko premagajo salmonidne ribe, znašajo do približno dveh metrov. Npr. atlantski losos (*Salmo salar*) lahko skoči v višino do 1,94 m, potočna postrv (*Salmo trutta*) pa lahko premaguje višine do 1,10 m (Meixler in sod., 2009). Pregrade, jezovi, zapornice, objekti za zadrževanje vode za potrebe kmetijstva, prepusti, cevi, erozijska zaščitna dela in druge regulacije vodotokov predstavljajo prečne ovire v vodotokih. Naštete prečne vodne zgradbe spreminjajo vzorec razporeditve rib v rečnih ekosistemih.

Z izgradnjo prečnih vodnih zgradb spremenimo tudi značilnosti habitatov. Npr. habitat se lahko spremeni z izgradnjo akumulacij v pretočnih rečnih sistemih ali s spremembo naravnih struktur vodotoka v izravnani vodotok, pri čemer je po navadi uničena tudi obrežna vegetacija, ki predstavlja varovalne selitvene poti za določene ribe in za ribje mladice. Regulacije vplivajo tudi na spremembo naravnih pretočnih režimov, ki vplivajo na oz. zavirajo naravno selitveno dinamiko rib. Ostali škodljivi vplivi prečnih vodnih zgradb, ki zavirajo selitveno dinamiko rib nastanejo zaradi onesnaženja vode, spremenjene temperature vode (npr. izpusti hladne vode iz zbiralnikov), nizkega pH iz kislih sulfatnih zemljin ali pa nizkih vsebnosti raztopljenega kisika, svetlobnih motenj, električnih zaščit, zaves iz zračnih mehurčkov in zvoka (Thorncraft in Harris, 2000; Larinier, 2000).

2.3 Gradnja prečnih vodnih zgradb

Za nekatere prečne vodne zgradbe je pred gradnjo obvezna presoja vplivov na okolje in sicer za:

- jezove in druge objekte za zadrževanje ali trajno zagotavljanje rezerv vode, kjer nova ali dodatna količina zadržane ali uskladiščene vode presega 10 milijonov m³,
- akumulacijske ali akumulacijsko pretočne hidroelektrarne s prostornino akumulacije 10.000 m³ ali pa pretočna hidroelektrarna z nazivno močjo 1.000 kW,
- jezove in druge objekte, ki so namenjeni dolgoročnemu zadrževanju ali zagotavljanju rezerv vode s površino 15 ha ali prostornino 250.000 m³ (Uredba o vrstah posegov ..., 2006).

Za izdelavo presoje vplivov na okolje mora biti uporabljeno interdisciplinarno znanje, ki vključuje tudi sodelovanje z javnostjo oz. deležniki v prostoru. Pri presoji vplivov na okolje presojamo parametre: zrak in mikroklimo, hrup, vibracije in transport materiala, površinske vode (transport sedimentov, kvaliteto vode, odpadne vode), podtalnico, biosfero (vegetacijo, živalstvo), tla, varovana območja, krajinsko podobo, ribištvo, gozdarstvo, rekreacijo (Steinman in Banovec, 2008). V študiji vplivov na okolje presojamo vplive objektov na okolje. V kolikor ugotovimo, da ima objekt bistvene ali uničujoče vplive na okolje, se z omilitvenimi ukrepi omili ali odpravi negativne vplive v takšni meri, da je vpliv objekta na okolje sprejemljiv (Uredba o okoljskem ..., 2005).

Prečne vodne zgradbe gradimo pri večjih vzdolžnih padcih struge vodotokov, kar pomeni nekaj ‰ in več. Vodotoke s strmimi strugami in veliko prodonosnostjo imenujemo hudourniki (Mikoš, 2000). Hudournik je gorski ali hribski vodotok za katerega je značilno, da mu ob padavinah hitro naraste pretok. Hudournik lahko opišemo kot stalni ali delno presihajoč vodotok, ki zaradi hitro nastopajočega odtoka, ki traja kratek čas, odplavlja trdne snovi (plavine, sedimente) iz struge ali svojega prispevnega območja. Plavine hudournik premešča s seboj in jih odlaga v svoji strugi ali izven nje (Mikoš, 2008).

Vodotok na osnovi svojih hidroloških in hidravličnih lastnosti vpliva na funkcionalnost in dotrajanost prečnih vodnih zgradb. Prečna vodna zgradba vpliva na vodotok s tem, da spreminja hidrološke in hidravlične lastnosti vodotoka. Pomemben je tudi vpliv prečne vodne zgradbe na okolje in krajinsko sliko, zato je pomembno, kako se umešča v prostor. Pomemben dejavnik pri umeščanju v prostor je iskanje kompromisnih rešitev z upoštevanjem okoljskih, družbenih, gospodarskih in okoljevarstvenih načel.

Hudourništvo oz. erozijska problematika v Sloveniji je urejana na način preventivnega ukrepanja in celovitega urejanja prostora. Na porečju zgornje Save je glede na podatke iz leta 2010 zabeleženih 237 hudournikov (Preglednica 1) (Papež, 2010; Jesenovec, 1995). Ukrepi s katerimi se v Sloveniji ureja hudournike so:

- gradnja in vzdrževanje prečnih in vzdolžnih vodnih zgradb in
- regulacija hudournikov (Papež, 2010).

Preglednica 1: Pregled hudournikov, hudourniških in erozijskih lokacij na porečju zgornje Save (Papež, 2010; Jesenovec, 1995)

Table 1: Review of torrents, torrential and erosion sites in the upper basin of the Sava River (Papež, 2010; Jesenovec, 1995).

Porečje	Lokacija z glavnimi hudourniki	Število hudournikov
zgornja Sava	Sava Bohinjka: Bistrica in Stržnica s pritoki, hudourniki izpod Vogla, Žagarjev graben, hudournik Mostnica	33
	Sava Dolinka: Belca, Dovški potok, Jesenica, Trebiža, Suhelj, Hladnik, Pišnica, Ukova, Špornov graben, Dobrčnik, Begunjščica	69
	Sava	63
	Tržiška Bistrica: Potočnikov graben, Tominčev potok, Zeleniški potok, Kofarjevec, odseki glavne struge Mošenika v Podljubelju in v Daševnem, odseki glavne struge Tržiške Bistrice v Dolini, zaledje Tržiške Bistrice nad Jelendolom, zaledja pritokov Lomščice	13
	Kokra: odseki Kokre, območje Makekove Kočne, zaledje Škodovnjaka, pritoki Kokre izpod Kalškega grebena in Kočne, odseki Bistrice nad Preddvorom	19
	Selška Sora: Zadnja Sora in Selščica nad Zalin Logom, izlivni in zaledni odseki pritokov Štulcov graben, Zgagov potok, Sorški potok in Nadrarska grapa, odseki hudournika Davča ter zaledja pritokov, zaledje hudournika Luša, odseki Dragobaške grape, območja Prednje in Zadnje Smoleve, zaledje Kršivnika in Bukovščice	16
	Poljanska Sora: zaledje Hotaveljščice, odseki v glavni strugi, pritoki Sovodenjščice, Račeve, Jarešice in Osojnice v območju Žirov	21
	Sora	3
	SKUPAJ	237

2.4 Vrste prečnih vodnih zgradb s potencialnim vplivom na ribe

2.4.1 Prag

Prag je prečna vodna zgradba v dnu struge, ki je vpet v brežini. Z izgradnjo rečnih stopenj (pragov) utrdimo ostenje ali zmanjšamo padec dna struge in povečamo odpornost na erozijske sile ter stabiliziramo gorvodne nanose in erozijske procese. Poznamo dva tipa pragov in sicer talni in stopenjski prag. Višina stopenjskih pragov znaša od 0,2 m do 2,0 m, koristna višina talnih pragov je 0,0 m, ker služijo samo utrditvi vzdolžnega padca in prečnega profila struge (Markič, 2008; Rak in sod., 2008). Prag v hidravličnem pomenu ne vpliva na tok vode gorvodno od praga (Pemič in Mikoš, 2005). Material, ki ga uporabljamo za izgradnjo pragov je lahko beton, les, kamen in kašte ali žične

košare (tudi palvis mreže ali gabioni). Sestavni del pragu je tudi podslapje oz. zavarovanje brežin in dna v območju praga (Pravilnik o določitvi vodne infrastrukture, 2005). V podslapju se sprošča višek kinetične energije (disipacija energije).



Slika 2: Kamnit prag na Selški Sori (Kolman, 2012)

Figure 2: Stone weir at Selška Sora River (Kolman, 2012)



Slika 3: Talni prag na Sori (Kolman, 2012)

Figure 3: Sill at Sora River (Kolman, 2012)

2.4.2 Jez

Jez je prečna vodna zgradba v strugi, ki ustvarja razliko med gladinama gorvodno in dolvodno od jez. Po navadi je sestavni del jez. še naprava za odzjem vode, prodni izpust, podslapje, zavarovanje brežin in dna v območju jez. in hidromehanska oprema za regulacijo pretoka. V podslapju se kinetična energija vode pretvori v potencialno energijo vodnega skoka. Material, ki ga uporabljamo za izgradnjo jezov je les, beton, kamen in žične košare ali kašte (Pravilnik o določitvi vodne infrastrukture, 2005). Pemič in Mikoš (2005) navajata klasično razvrstitev zaježitvenih zgradb, kjer so jezovi opredeljeni kot prečne vodne zgradbe z višino, ki je manjša od 10 m. V hidravličnem pomenu se za jezom zajezi vodotok s čimer vplivamo na tok vode v gorvodni smeri (Pemič in Mikoš, 2005). Jezovi imajo večnamensko uporabo in sicer za hidroenergetsko rabo, odzjem vode, zaščito pred talno in stransko erozijo vodotokov, napajanje podtalnice in rekreacijske namene.



Slika 4: Demšarjev jez na Poljanski Sori (Kolman, 2012)

Figure 4: Demšar dam at Poljanska Sora River (Kolman, 2012)

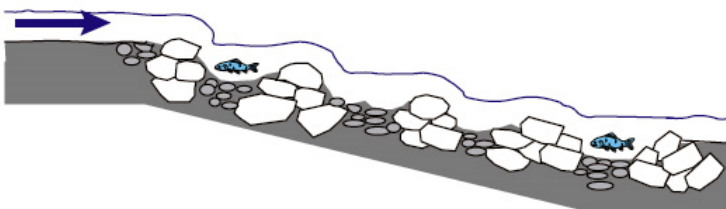


Slika 5: Benediktov jez na Selški Sori (Kolman, 2012)

Figure 5: Benedikt dam at Selška Sora River (Kolman, 2012)

2.4.3 Drča

Drča (Slika 6) je glede na namen stopenjski prag z izrazito blagim naklonom zračne strani od 1:10 do 1:15. Poznamo hrapave in gladke drče. Hrapavost drče povzroča neenakomerni tok vode in ustvarja turbulenco vode, pri gladkih drčah pa je tok vode enakomeren. Pretočna površina oz. hrbet drče je zgrajen iz večjih kosov kamna, lahko tudi v kombinaciji z betonom, med katerimi reže ostanejo nezapolnjene. Za drče je značilno, da se zaradi velike hrapavosti, energija vode pri toku po drči navzdol sproti porablja, zato dolvodno ne pride do vodnega skoka (Pravilnik o določitvi vodne infrastrukture, 2005; Rak in sod., 2008). Po konstrukciji ločimo nasute in zložene drče. Nasuta drča je elastična zgradba, ki s težo kamnov prevzema obremenitve zaradi vodnega toka. Zložene drče so toge konstrukcije, ki s težo in tesno povezanostjo kamnov znatno bolj kljubujejo obremenitvam in omogočajo večjo in obstojnejšo hrapavost v primerjavi z nasutimi drčami (Pemič in Mikoš, 2005). Gorvodni in dolvodni konec drče zavarujemo z jeklenimi ali lesenimi piloti.

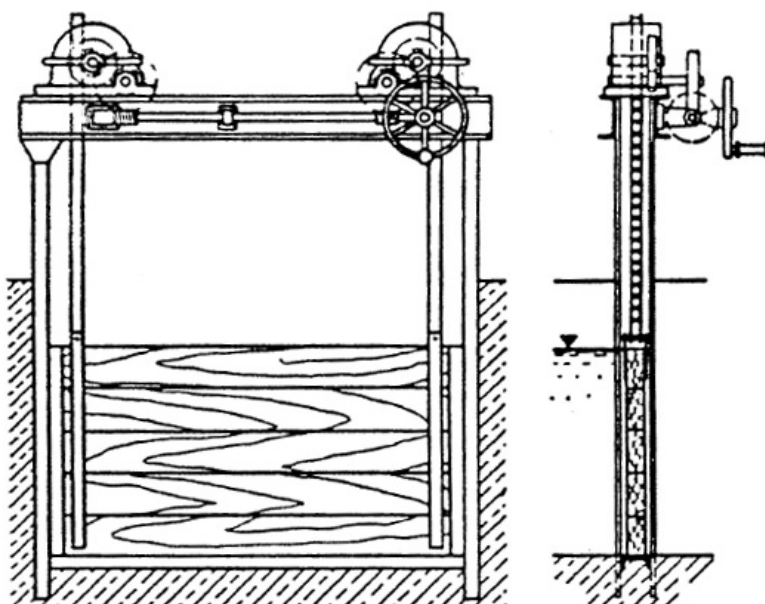


Slika 6: Drča (Fish passes ..., 2002: str. 33)

Figure 6: A rock-ramp (Fish passes, 2002: p. 33)

2.4.4 Zapornica

Zapornica je prečna vodna zgradba, ki jo uporabljamo za uravnavanje pretoka in vzdrževanja vodne gladine in predstavlja samostojen objekt. Sestavljena je iz fiksnega betonskega dela in hidromehanske opreme. Dimenzionirane so za obratovanje v mirni vodi, kakor tudi v vodnem toku. Material, ki je uporabljen za izgradnjo zapornice, je les ali kovina. Poznamo dva tipa zapornic in sicer tablaste in segmentne zapornice (Pemič in Mikoš, 2005; Pravilnik o določitvi vodne infrastrukture, 2005).



Slika 7: Lesena drsna tablasta zapornica na ročni pogon (Pemič in Mikoš, 2005: str. 89)

Figure 7: Hand-operated wooden sliding sluice (Pemič and Mikoš, 2005: p. 89)

2.4.5 Pregrada

Pregrada je prečna vodna zgradba, ki pregrajuje dolino in zajezi vodo (tudi dolinska pregrada). Sestavni del pregrade so še visokovodni preliv, talni izpust, hidromehanska oprema in podslapje (Pravilnik o določitvi vodne infrastrukture, 2005). V podslapju se kinetična energija vode pretvori v potencialno energijo vodnega toka. Po konstrukciji pregrade ločimo na ločne in težnostne. Z zaježitvami je neločljivo povezan tudi akumulacijski prostor. Poznamo več vrst razvrstitev zaježitvenih zgradb. Pemič in Mikoš (2005) navajata klasično razvrstitev zaježitvenih zgradb, kjer so dolinske (visoke) pregrade opredeljene z višino, ki je večja od 10 m. Slovenski nacionalni komite za velike pregrade (SLOCOLD) opredeljuje mednarodne definicije za visoke pregrade, ki so povzete po kriterijih mednarodne komisije za velike pregrade ICOLD.

Tradicionalni kriteriji:

- višina pregrade od temelja do krone > 15 m ali
- višina pregrade od temelja do krone > 10 m, obenem pa mora biti zadoščen eden izmed pogojev: dolžina krone nad 500 m ali kapaciteta bazena vsaj $1.000.000 \text{ m}^3$ ali pa so evakuacijski organi dimenzionirani na pretok večji od $2.000 \text{ m}^3/\text{s}$,

Novi ICOLD kriteriji za definiranje velike pregrade sprejeti v letu 2011 so:

- pregrada z gradbeno višino > 15 m,
- pregrada z gradbeno višino med 5 m in 15 m, volumen akumulacije $> 3.000.000 \text{ m}^3$ (Zadnik, 2012).



Slika 8: Pregrada na Savi – hidroelektrarna Moste (Kolman, 2012)

Figure 8: Dam at Sava River – hydropowerplant Moste (Kolman, 2012)

2.4.6 Hudourniška pregrada

S hudourniškimi pregradami stabiliziramo dno hudourniške struge, ustavimo globinsko erozijo in zadržimo plavine in plavje. Po navadi izvedemo stabilizacijo hudournikov s sistemom pregrad v obliki stopnic. Material, ki ga uporabljamo za izgradnjo hudourniške pregrade je kamen in beton. Po konstrukciji hudourniške pregrade ločimo na ločne in težnostne (Mikoš, 2008; Pravilnik o določitvi vodne infrastrukture, 2005).

2.4.7 Cestni prepust

Cestni prepust je objekt za pretakanje večjih količin vode skozi cestno telo ali temeljna tla pod njimi (Žmavc in sod., 1989) v prečni smeri glede na os nivelete ceste. Cestni prepust mora biti dimenzioniran na način, da je sposoben prevajati zadostne količine vode in materiala (npr. prod, plavni les), ki ga voda prinaša s seboj. Zgrajeni so lahko iz lesa, betona ali armiranega betona. Izbira oblike prepusta je odvisna od količine vode, ki bo odvedena in od nasipa v prečnem profilu, kjer se bo prepust nahajal. Cevne prepuste uporabljamo za odvajanje meteornih vod, melioracijskih jarkov in naravnih vodotokov. Uporabljamo lahko cevi različnih premerov (Φ 100 cm, Φ 150 cm, Φ 200 cm). Škatlasti prepusti in obokani prepusti so uporabljeni v primerih, ko je treba skozi cestno konstrukcijo prevajati večje količine vode (Pantar, 2007).



Slika 9: Cestni prepust (Cahoon in sod., 2007: str. 51)

Figure 9: Road culvert (Cahoon et al., 2007: p. 51)

2.5 Prečne vodne zgradbe z vidika vodne direktive

Zaradi različnih aktivnosti že tisočletja spreminjamo reke in s tem vplivamo na lastnosti vodnih sistemov. Gradnja prečnih vodnih zgradb povzroča spremembe v hidromorfoloških značilnostih vodotokov. Učinki pregrad in jezov so dobro poznani in dokumentirani, medtem ko so učinki manjših jezov, pragov, zapornic, prepustov in mostov slabo dokumentirani, čeprav so zelo številni in imajo vplive na lokalne ribje vrste in ostale vodne in obvodne združbe organizmov (Peter, 1998).

Leta 2000 je Evropska unija z vodno direktivo (Direktiva 2000/60/ES) uvedla okvir za zaščito in celostno upravljanje z vodnimi telesi po Evropi. Ključni cilj vodne direktive je, da dosežemo vsaj dobro ekološko stanje vodnih teles površinskih voda ali pa dober ekološki potencial močno preoblikovanih in umetnih vodnih telesih do leta 2015. Vodno telo površinske vode je po definiciji ločen in pomemben sestavni del površinske vode (npr. jezero, vodni zbiralnik, reka). Močno preoblikovano vodno telo je telo površinske vode katerega značilnosti so znatno spremenjene zaradi fizičnih sprememb, ki jih povzročajo ljudje (npr. gradnja prečnih vodnih zgradb za potrebe proizvodnje električne energije iz hidroelektrarn). Umetno vodno telo je telo površinske vode, ki ga je ustvaril človek (npr. derivacijski kanal za hidroelektrarno Zlatoličje) (Direktiva 2000/60/ES).

Ocena ekološkega kakovostnega stanja vodnih teles temelji na bioloških elementih kakovosti, ki jih podpirajo fizikalno-kemijski elementi in hidromorfološki elementi kakovosti (Direktiva 2000/60/ES; Urbanič, 2012). Biološki elementi kakovosti so fitoplankton, makrofiti in fitobentos, bentoški nevretenčarji ter ribe. Znano je, da se različne skupine organizmov odzovejo različno na dejavnike stresa (npr. rabo tal v prispevnem območju vodotoka, obrežno rabo tal, hidromorfološke spremembe vodotoka) (Hering in sod., 2006; Dahm in sod., 2013).

Skladno z vodno direktivo moramo stanje rek vrednotiti na podlagi značilnosti rečnih združb (taksonomska sestava in številčnost, razmerje med taksoni občutljivimi in neobčutljivimi na motnje in stopnja raznolikosti) (Urbanič, 2012). Za izpolnitev zahtev vodne direktive je treba imeti več sistemov vrednotenja vplivov dejavnikov stresa, ki omogočajo oceno celotne ekološke kakovosti vodotokov. Določanje mej med razredi ekološkega stanja je ključen korak pri razvoju metod vrednotenja, ki morajo biti skladne z normativnimi definicijami iz vodne direktive. Doseganje dobrega ekološkega stanja ali potenciala je eden od glavnih ciljev vodne direktive in nacionalnih načrtov upravljanja z vodami (Urbanič, 2012).

Spremembe rečnih habitatov, ki so povezane z gorvodnimi in dolvodnimi prečnimi vodnimi zgradbami v vodotokih in rabo tal v prispevnem območju vodotoka, vplivajo na stanje rek in posledično na vodne združbe (Urbanič, 2012). Prečne vodne zgradbe vplivajo na hidromorfološke elemente kakovosti, ki podpirajo biološke elemente (Direktiva 2000/60/ES):

- hidrološki režim (količina in dinamika vodnega toka, povezava s telesi podzemne vode),
- kontinuiteto toka in
- morfološke razmere (spreminjanje globine in širine reke, struktura in substrat rečne struge, struktura obrežnega pasu).

Spremembe hidromorfoloških značilnosti vodotokov so eden izmed najbolj pomembnih dejavnikov stresa, ki vplivajo na organizme v vodotokih. Za razvoj učinkovitega in celostnega upravljanja z

vodnimi telesi moramo oceniti hidromorfološke vplive na vodotoke z zanesljivimi metodami vrednotenja. Bentoške nevretenčarje lahko uporabljamo tudi za spremljanje vplivov hidromorfoloških dejavnikov stresa v rekah (Urbanič, 2011). Posamezna razmerja med organizmi v vodotokih in hidromorfološki spremembami vodotoka so slabo poznana (Urbanič, 2012).

Ribe in bentoški nevretenčarji se dobro odzivajo na hidromorfološke spremembe vodotoka (Hering in sod., 2006). V študiji, ki so je izvedli Dahm in sod. (2013) so se diatomeje in bentoški nevretenčarji odzvali na fizikalno-kemijske značilnosti vodotoka (pH, električno prevodnost, vsebnost nitrata, skupni fosfat, raztopljen kisik), ribe pa so se odzvale na hranila (skupni fosfat, nitrat). Urbanič in Toman (2007) ugotavljata, da na porazdelitev bentoških nevretenčarjev in ličink mladoletnic vplivajo ekološki faktorji, ki predstavljajo "neposredno vplivne spremenljivke" (npr. temperatura vode, hitrost toka vode, onesnaženje vode, geologija, stalnost toka vode in substrat) in "posredne vplivne spremenljivke" (naklon vodotoka, nadmorsko višina, razdalja do izvira vodotoka, red vodotoka in raba tal). Te ugotovitve so pridobili z raziskavami različnih nižinskih, hribovitih in goratih regij z različnimi ekološkimi značilnostmi (Urbanič in Toman, 2007).

Ribe uporabljamo kot indikator degradacije habitata. V nekaterih primerih so ribe indikator za oceno onesnaženja vode in za vplive rabe tal na vodotoke. Ker se ribe selijo, lahko smatramo, da so občutljive na motnje vzdolžne povezanosti vodotoka (Hering in sod., 2006). Med skupinami živih organizmov, ki jih uporabljamo kot kazalce ekološkega stanja vodotokov (fitoplankton, makrofiti in fitobentos, bentoški nevretenčarji), imajo ribe najdaljšo življenjsko dobo in so zato verjetno občutljive na dolgotrajne spremembe v značilnostih njihovih habitatov, kot na kratkotrajne spremembe v kakovosti vode. Zaradi tega lahko ribe uporabljamo za monitoring in ugotavljanje degradacije ekološke celovitosti rek, ki jih povzroča človek z vplivom na hidromorfološke značilnosti vodotokov (Wyžga in sod., 2009).

Za ponovno vzpostavitev dobrega ekološkega stanja ali potenciala vodotokov moramo določiti razmerja, ki obstajajo med strukturo rečnih združb in hidromorfološki značilnostmi habitatov. Določitev biološke raznovrstnosti rečnih združb v razmerju z velikostjo spremembe habitata in upoštevanjem referenčnih razmer je lahko osnova za določitev obsega obnovitvenih ukrepov v vodotoku (Wyžga in sod., 2009). Zavedati se moramo, da obnova hidromorfoloških značilnosti vodotoka ne vodi nujno k izboljšanju ekološkega stanja (Kail in Hering, 2009).

2.6 Vplivi prečnih vodnih zgradb na gorske vodotoke

Spremembe vodotokov so posledica človekovih dejavnosti v strugi vodotoka (npr. kanaliziranje vodotokov) s katerimi se vpliva na geometrijo struge, dinamiko vode in premikanje sedimentov, stanje onesnaženosti in vodne in obrežne združbe organizmov. Z aktivnostmi v porečju (npr. urbanizacija) človek posredno vpliva na vodotoke. Spremenijo se hidrološke in hidravlične značilnosti vodotoka, substrat v vodotoku, stopnja onesnaženosti vodotoka in združbe organizmov (Wohl, 2006).

Dinamika toka vode in transporta snovi v gorskih vodotokih je specifična in vpliva tudi na nižje ležeče vodotoke (Wohl, 2006). V zadnjih dveh stoletjih so bile alpske reke pod vplivom človekovih aktivnosti, ki so povzročile spremembo geometrije strug z inženirskimi ukrepi za pridobivanje zemljišč za kmetijske namene, naselja in zaradi pridobivanja proda. Z izgradnjo hidroelektrarn, hudourniških ureditev vodotokov in rabo tal v prispevnem območju vodotoka se je spremenila dinamika toka vode in sedimentov (Habersack in Piégay, 2007). Povečano razumevanje negativnih vplivov na vodotoke, je prispevalo k ustrežnejšemu upravljanju z obnovitvami za izboljšanje geomorfoloških in ekoloških razmer, skladno z zahtevami vodne direktive (Wyžga in sod., 2009).

Značilnosti gorskih vodotokov so (Wohl, 2006):

- manjša biotska raznovrstnost od vodotokov v srednjem in spodnjem toku;
- vodni ter obrežni organizmi so prilagojeni na občasne velike pretoke, ki nastanejo kot posledica majhnih prispevnih območij, bližine pobočij in odsotnosti obsežnih poplavnih območij, ki lahko ublažijo velike količine in hitrosti vode;
- strmi nakloni in relativno visoka kapaciteta transporta sedimentov;
- presežek sedimentov se transportira in odlaga v dolvodnih območjih vodotoka;
- brežina struge je iz skal ali grobih zrn, ki so odporni na erozijo.

V večini primerov dejavniki stresa (npr. raba tal v prispevnem območju vodotoka, obrežna raba tal, hidromorfološke spremembe vodotoka) vplivajo bolj na gorske vodotoke kot pa na nižinske vodotoke (Dahm in sod., 2013). Prečne vodne zgradbe, kot so pregrade, zapornice, jezovi in zgradbe za uravnavanje padca vodotoka (prag), spreminjajo hidromorfološke lastnosti gorskih vodotokov. Vplivi prečnih vodnih zgradb na gorske vodotoke so različni (Wohl, 2006).

Preglednica 2: Vplivi prečnih vodnih zgradb na vodotoke (Wohl, 2006: str. 220)

Table 2: Impacts of transverse river structures on watercourses (Wohl, 2006: p. 220)

Prečne vodne zgradbe	Vpliv na vodotoke
Zgradbe za regulacijo pretoka: – pregrade in – zapornice	<ul style="list-style-type: none">– spremembe v magnitudi, frekvenci, trajanju in sezonski spremenljivosti toka vode;– spremembe v temperaturi vode, v vodi raztopljenega kisika, hranilih in kemijskih značilnostih vode;– spremembe v dostopnosti in kakovosti habitatov v strugi vodotoka, pretočnem režimu ter premikanju sedimentov (magnituda/frekvenca/trajanje/sezonska spremenljivost vode ali sedimenta);– spremembe v režimu motenj obrežja (hidravlične razmere pri toku vode v polni strugi in na poplavni ravnici);– spremembe v dinamiki sedimentov (premikanje in odlaganje) in distribuciji zrnastostne sestave substrata;– spremembe v geometriji struge.
Zgradbe v vodotokih – jezovi in – zgradbe za uravnavanje padca vodotoka (npr. pragovi)	<ul style="list-style-type: none">– spremembe v vzdolžnem profilu vodotoka, ustvari se segmentiran vzdolžni profil;– spremembe v dinamiki sedimentov;– spremembe v stabilnosti struge in brežin (stabilnost struge in brežin se poveča);– spremembe v premikanju hranil in vodnih organizmov;– spremembe v dinamiki poplavnih valov.

Dahm in sod. (2013) so v raziskavi ugotovili, da raba tal v prispevnih območjih gorskih vodotokov bistveno vpliva na vse skupine vodnih organizmov. Največji vpliv je imela raba tal na bentoške nevretenčarje, nato na diatomeje in ribe. Hering in sod. (2006) pa so v raziskavi ugotovili, da se ribe in makrofiti slabo odzivajo na degradacijo gorskih vodotokov in močno na degradacijo nižinskih vodotokov.

2.7 Gorvodni in dolvodni vplivi pregrad in jezov na vodotok

Vplivi pregrad na vodotoke so dobro poznani in dokumentirani. Vpliv pregrade na vodotok je odvisen od številnih faktorjev, kot so globina in dimenzije zaježitve, upravljanja pregrade (proizvodnja električne energije, namakanje, poplavna zaščita, itd.). Vplive lahko razdelimo v dve kategoriji, glede na to ali vplivajo na zbiralnik (rezervoar) ali pa na vodotok dolvodno od pregrade (Petts in Amoros, 1996).

Vplivi pregrad na zbiralnik so:

- Izhlapevanje vode in toplogredni plini: izhlapevanje vode je pogojeno z nadmorsko višino, zato je odvisno od geografske lege zbiralnika (Petts in Amoros, 1996). Na izhlapevanje vode najbolj vplivajo temperatura zraka, relativna vlaga zraka, hitrost vetra in sončevo sevanje (Bat in sod., 2008). Organizmi v zbiralniku lahko povzročijo potencialni izpust toplogrednih plinov. Bakterije z razgradnjo biomase povzročajo nastanek dušika, ogljikovega dioksida in metana. Avtorji eksperimentalne študije so ugotovili, da je v primeru, ko je proizvodnja električne energije iz hidroelektrarne manjša kot $0,1 \text{ W/m}^2$ zbiralnika, potem obstaja tveganje, da emisije toplogrednih plinov presegajo tiste, ki bi bili proizvedeni z ekvivalentno termoelektrarno. Če proizvodnja električne energije presega $0,5 \text{ W/m}^2$ zbiralnika, potem je malo možnosti, da emisije iz zbiralnika presegajo tiste iz ekvivalentne termoelektrarne (McCartney in sod., 2000; Rosa in dos Santos, 2000).
- Sprememba režima transporta sedimenta: zaradi zmanjšane hitrosti vode se sedimenti odlagajo v zbiralnikih. Pomanjkanje sedimenta dolvodno od pregrade povzroča spreminjanje morfološke strukture struge vodotoka (Petts in Amoros, 1996).
- Sprememba kakovosti vode: pod določenimi pogoji, ki so odvisni od globine vode v zbiralniku (najmanj med 7-15 m) in zadrževalnega časa zbiralnika (razmerje med volumnom pritoka in celotnim volumnom zbiralnika), se v zbiralnikih lahko pojavi termalna stratifikacija oz. plastovitost. Poleti je toplejša voda v zbiralniku na površini (epilimnij) in hladnejša pri dnu (hipolimnij), med obema plastema pa je plast vode imenovana metalimnij (termoklina), ki preprečuje mešanje vode med plastmi. Voda bogata s kisikom se prav tako zadržuje v zgornjih plasteh zbiralnika, voda, ki ne vsebuje veliko kisika, ali pa je celo brez kisika, pa na dnu. Na kakovost vode v zbiralnikih vpliva tudi trofičnost (Petts in Amoros, 1996). Glede na trofičnost ločimo oligotrofne, mezotrofne in evtrofne zbiralnike. Oligotrofni zbiralniki vsebujejo malo hranilnih snovi, zato v njih potekata majhna primarna produkcija ter popolna razgradnja odmrlih organizmov in njihovih delov. Mezotrofni zbiralniki vsebujejo zmerno količino hranilnih snovi, zato v njih potekata zmerna primarna produkcija in nepopolna razgradnja odmrlih organizmov ter njihovih delov. Evtrofni zbiralniki vsebujejo veliko količino hranilnih snovi, zato v njih poteka velika primarna produkcija in nepopolna razgradnja odmrlih organizmov in njihovih delov, ki se kopičijo na dnu zbiralnika (Batič in sod., 2011).

Vplivi dolvodno od pregrade:

- Prekinitev vzdolžne povezanosti vodotoka: pregrade predstavljajo fizično oviro, ki preprečuje transport sedimenta, obenem pa ovirajo selitve rib. Zajezitve vplivajo na vedenjski vzorec selitev rib s spreminjanjem pretočnega režima (Petts in Amoros, 1996);
- Sprememba hidroloških režimov: pregrade vplivajo na hidrološke režime vodotokov, njihovi vplivi pa so odvisni od načina upravljanja s pregradami. Hidroenergetske pregrade upravljajo

spremenljivo, to je na način, da zagotovijo dnevne potrebe po električni energiji. Združbe organizmov ekosistemov tekočih voda so prilagojene na kompleksno nestalnost naravnih pretočnih razmer. Poplave čistijo sedimente iz drstitvenih območij, omogočajo lažje selitve rib, zagotavljajo obdobje povezave med vodnimi telesi na poplavni ravnici in napolnitev vodonosnikov z medzrnsko poroznostjo (aluvialni vodonosniki). Z upravljanjem pregrad se vodotokom spremeni pretočni režim in se običajno zelo razlikuje od naravnega pretočnega režima. Pomanjkanje poplavnih dogodkov preprečuje selitev rib na drstitvena območja. Znižanje poplavnih valov vpliva tudi na geomorfološke lastnosti vodotoka, kot je zmanjšanje kapacitete struge in razširitev obrežne zarasti na poplavnih ravninah. Vpliv na hidrološki režim imajo tudi objekti za odvzem vode, ki prav tako ustvarjajo umetni pretočni režim, saj del vode teče po kanalu, preostanek pa po strugi. Ob poplavnih dogodkih po strugi teče veliko vode, zaradi česar se lahko ohranjajo geomorfološke značilnosti vodotoka. Opisano spreminjanje hidroloških režimov vpliva na rastlinske in živalske združbe ob in v vodotoku. Preživijo le najbolj odporne vrste, ki se prilagodijo na nove razmere (Petts in Amoros, 1996);

- Spremembe temperaturnega režima in kakovosti vode: stratificiranost zbiralnika vpliva na temperaturni režim in kakovost vode na iztoku iz zbiralnika v vodotok. Temperaturni režim vode dolvodno od pregrade je določen tudi s stratifikacijo zbiralnika in z globino vode na kateri se vodo na pregradnem objektu zajema in nato spušča dolvodno v vodotok. Dolvodni temperaturni šoki lahko povzročajo smrtnost rib. Prav tako je lahko izpuščena voda osiromašena s kisikom ali pa ima voda nizko pH vrednost. Pri splakovanju zbiralnikov pride do vnosa finih sedimentov v dolvodne dele vodotoka, ki so lahko tudi toksični in škodljivi ribam in bentoškimi organizmom (Petts in Amoros, 1996).
- Geomorfološka prilagoditev in preoblikovanje habitatov: geometrija struge je prilagojena določenim spremenljivkam, ki vključujejo pretok in nalaganje sedimenta. Pregrade spreminjajo dinamiko transporta sedimentov in transportno kapaciteto rek z zmanjšanjem poplavnih konic. Zaradi povišane energije in prekinitve dovajanja sedimentov dolvodno po vodotoku, pride do erodiranja oz. degradiranja struge. Regulacije pretoka spreminjajo prostorske in časovne vzorce globin vode in porazdelitve hitrosti vode v vodotokih in tudi na poplavnih ravninah (Petts in Amoros, 1996).

2.8 Vpliv prečnih vodnih zgradb na vodne živali

2.8.1 Vpliv na bentoške nevretenčarje

Bentoški nevretenčarji (makroinvertebrati ali vodni nevretenčarji) so organizmi, ki so večji od enega milimetra in vidni s prostim očesom. Najznačilnejše skupine bentoških nevretenčarjev so: vrtničarji (Turbellaria), polži (Gastropoda), školjke (Bivalvia), maloščetinci (Oligochaeta), pijavke (Hirudinea), raki (Crustacea) in žuželke (Insecta). Bentoški nevretenčarji odražajo različne ekološke razmere voda, zato se uporabljajo za ekološke ocene vodnih ekosistemov in kakovosti voda. Prednosti bentoških nevretenčarjev pred ostalimi vodnimi organizmi so (Urbanič in Toman, 2003):

- veliko število vrst, ki so različno občutljivi na onesnaževanja,
- prisotnost v vseh tipih voda,
- relativna pogostost,
- enostavno vzorčenje in določanje,
- relativno dolga življenjska doba.

Najpomembnejši dejavniki, ki uravnavajo populacijo združb bentoških nevretenčarjev, so temperatura vode, hitrost vode, vegetacija, raztopljene snovi in sestava substrata. Relativna številčnost vrst bentoških nevretenčarjev se spremeni zaradi prisotnosti pregrad in jezov. Na bentoške nevretenčarje vpliva izpust vode iz hipolimnija za katerega so značilne nizke temperature vode pozimi ter majhna vsebnost kisika in pogoste in hitre spremembe nihanja vode (Petts in Amoros, 1996). Tik pod jezovi je zmanjšano število vrst bentoških nevretenčarjev in povečana skupna številčnost osebkov zaradi zmanjšane heterogenosti habitata. Ta pojav je lahko delno razložen z dejstvom, da pregrade in jezovi povečajo površino struge vodotoka nad pregradnim objektom in v disipacijskem bazenu tik pod pregradnim objektom, ki omogoča večje število organizmov nekaterih vrst (Silliman in sod., 2007). Raznolikost vrst bentoških nevretenčarjev nad pregradnim objektom je značilno večja kot pod pregradnim objektom (Rybak in Sadlek, 2010).

Nizki pretoki vode običajno povzročijo zamenjavo vrst, ki so značilne za tekoče vode, v vrste, značilne za stoječe vode, kot so enodnevnice *Cloeon*, *Paraleptophlebia* in *Siphonurus*. Visoke pretoke pa preferirajo druge vrste enodnevnice, kot so *Baetis*, *Rhithrogena* in *Epeorus* (Allan in Castillo, 2007). Gostota ličink mladoletnic se razlikuje med različnimi vrstami mikrohabitata. Urbanič in sod. (2005) so v raziskavi reke Ščavnice ugotovili, da je v povirnem delu vodotoka plitek in fin substrat vseboval večino vrst ličink mladoletnic, medtem ko je dolvodni grob substrat s prelivanjem toka vode čez substrat najbolj bogat z ličinkami mladoletnic. V študiji so dokazali pozitivno korelacijo med velikostjo substrata in kumulativnim številom vrst mladoletnic, kar pa ni dokazano za globino vode. Večini vrst mladoletnic bolj ustreza grob substrat in plitka voda, ki se

preliva v stiku s substratom. Relativno malo vrst mladoletnic je bilo prisotnih na finem substratu in v globoki vodi (Urbanič in sod., 2005).

Skupno število osebkov enodnevnih (Ephemeroptera), vrbnic (Plecoptera) in mladoletnic (Trichoptera) so splošni pokazatelji kakovosti vode na posamezni lokaciji. Našteti bentoški nevretenčarji so izbrani kazalci zaradi njihove občutljivosti na slabo kakovost vode. Na podlagi njih, na kvantitativni način ugotavljamo kakovost voda (Silliman in sod., 2007).

2.8.2 Vpliv na ribe

Prečne vodne zgradbe (npr. pregrade in jezovi) onemogočajo selitve rib po vodotokih, s čimer vplivajo na ribje združbe. Posledice prečnih vodnih zgradb na ribje združbe so:

- Ovirajo gorvodne selitve rib: pregrade in jezovi preprečujejo nemoteno selitev rib gorvodno po vodotoku. Negativni učinki prečnih vodnih zgradb na ribje vrste so veliko bolj pomembni kot onesnaženje vode, čezmeren ribolov in uničenje habitata v velikih rekah. Prečne vodne zgradbe so razlog za izumrtje določenih rib (npr. lososa v Renu, Seni in Garoni in vrste jesetra v Volgi, Donavi in kavkaških rekah). Selitve rib so povezane z višino pregrad in jezov. Tudi majhne pregrade in jezovi lahko predstavljajo veliko oviro za gorvodne selitve rib. V splošnem je prehodnost čez prečne vodne zgradbe odvisna od višine zgradb in od hidravličnih lastnosti posameznega objekta (hitrosti vode, globine vode, zračenja, turbulence, itd.) v povezavi s plavalnimi in skakalnimi sposobnostmi posameznih rib. Plavalne in skakalne sposobnosti rib so odvisne od vrste rib, velikosti posameznih rib, njihovega fiziološkega stanja (življenjskih procesov v organizmu) in faktorjev kakovosti vode kot sta temperatura vode in raztopljen kisik v vodi (Larinier, 2000). Znižane temperature vode lahko vplivajo na zmanjšano rast rib, lahko pa tudi povzročijo spremembe v zgradbi združb. Temperaturni šoki pa so lahko tudi smrtonosni (Petts in Amoros, 1996). Prečne vodne zgradbe lahko predstavljajo trajne neprehodne ovire v vodotokih, kar pomeni, da prečne vodne zgradbe niso prehodne ob nobenih hidroloških razmerah, zaradi česar negativno vplivajo na ribje združbe. Prečne vodne zgradbe so lahko začasne selitvene ovire, kar pomeni, da so običajno prehodne, izjemoma pa selitve rib niso omogočene med obdobjem nizkih pretokov. Naravni cikel selitev rib je moten samo v času trajanja nizkih pretokov. Prekinitev selitvenih poti pomeni, da je v gorvodnih predelih vodotokov manjše število rib kot v vodotokih dolvodno od neprehodnih prečnih vodnih zgradb za ribe (Throncroft in Harris, 2000).
- Ovirajo dolvodne selitve rib: v začetnih fazah reševanja problematike selitev rib čez neprehodne prečne vodne zgradbe so bili inženirji osredotočeni samo v zagotavljanje gorvodnih selitvenih poti. Dolvodno prehajanje rib čez hidravlične turbine in prelivna polja niso obravnavali kot

pomemben vzrok za poškodbe rib (Larinier, 2000). Vplivi prečnih vodnih zgradb na dolvodne selitve rib:

- (1) Poškodbe zaradi hidravličnih turbin – ribe, ki prehajajo skozi hidravlične turbine so izpostavljene različnim oblikam stresa (spremembam hitrosti vode in tlaka ter kavitaciji – hidrodinamični pojav, pri katerem se pojavijo mehurčki v tekočini) in posledično veliki umrljivosti. Umrljivost rib je odvisna od vrst turbin in njihove geometrije in obratovalnih lastnosti, tlaka in velikosti rib (Larinier, 2000).
 - (2) Poškodbe zaradi prelivnih polj – prehod rib čez prelivna polja je lahko neposreden vzrok za poškodbe ali umrljivost ali posreden vzrok, saj so ribe zmedene in šokirane, s čimer se poveča podvrženost plenjenju. Umrljivost rib se razlikuje glede na posamezne lokacije in značilnosti prečne vodne zgradbe. Smrtnost rib je odvisna od turbulence dolvodno od pregrade/jezu, nenadnih sprememb hitrosti vode in tlaka, ko riba pade v vodo, fizičnih učinkov disipatorjev energije. Pri poskusih so ugotovili, da se največje poškodbe rib (poškodbe škrge, oči in notranjih organov) ne glede na njihovo velikost pojavijo, ko je hitrost padanja ribe preko prelivnih polj na vodno gladino večja kot 16 m/s. Voda pri padanju doseže kritično hitrost za ribe po 13 m (Larinier, 2000). Pri vrednostih večjih od 13 m se pojavijo poškodbe in poveča se umrljivost rib. Pri pregradah in jezovih, ki so manjši od 10 m, se prehod rib čez prelivna polja smatra za najbolj varno pot za selitev rib pod pogojem, da je v dolvodnem bazenu zadostna globina vode in ne preveč agresivni deflektorji (strukture za razsipavanje vodne energije) (Larinier, 2000).
 - (3) Selitvene zamude – zaježitve imajo časovni vpliv na dolvodne selitve rib. Zaježitve rek s pregradami podvojijo čas, ki je potreben za selitev mladice v morje. Zamude vplivajo na večjo izpostavljenost plenjenju ter drugim nevarnostim, kot so izpostavljenost boleznim in parazitom (Larinier, 2000).
- Izguba habitata: izgradnja pregrad in jezov vpliva na habitate rib selivk. Posledica rečnih zaježitev je preoblikovanje ekosistemov tekočih voda v ekosisteme stoječih voda. Neodvisno od problemov prostega prehajanja, so vrste, ki se drstijo v relativno hitrih rečnih odsekih, izločene. To vodi v spremembe vrstne sestave rib. Gorvodno od pregrade se območje poplavi, da se ustvari zaježitev s čimer se izgubijo drstitvena območja. Dolvodno od pregrade regulacije pretoka povzročajo izginjanje določenih ribjih vrst, saj se nekatere ribe ob primernih pogojih drstijo na poplavnih območjih, ki pa z nastankom pregrade izginejo. Pomembni vplivi pregrad in jezov dolvodno na vodotok so še konični izpusti vode, ustaljene gladine vode, spremembe v hitrosti in temperaturi vode (Larinier, 2000).
 - Sprememba pretoka: regulacije rečnega toka med selitvenim časom rib lahko spremenijo sezonsko in dnevno dinamiko selitev ter vodijo do zmanjšanja selitvene populacije rib ali celo do popolnega izginotja rib. Kakršnokoli zmanjšanje pretoka med obdobjem selitvenih aktivnosti rib lahko zmanjša privlačnostni potencial reke oz. se zmanjša število rib, ki se pridejo drstit v reko.

Spremenljiv pretočni režim zaradi obratovanja hidroelektrarne ima lahko značilne posledice za ribe. Dnevno spreminjanje vodostaja 2 do 3 m na reki Kolorado pod pregrado Glen Canyon utegne vplivati na upadanje števila endemičnih rib. Domorodne ribje vrste se zamenjajo z drugimi vrstami, drstenje domorodnih vrst pa je omejeno na pritoke. Spreminjanje vodnih gladin in hitrosti vodnega toka zaradi hidroelektrarn ima katastrofalne vplive na ribe in sicer na motnje drstitvenega vedenja, mladice lahko visoki pretoki odplaknejo dolvodno, nenadno zmanjšanje pretoka lahko ikre in mladice pusti na suhem (Larinier, 2000).

- Spremembe v temperaturi vode in v vsebnosti v vodi raztopljenega kisika: pregrade in jezovi lahko spremenijo temperaturne in kemične značilnosti rečne vode. Temperatura izpuščene vode dolvodno od prečne vodne zgradbe je pogojena z višino izpusta in s tem odvisna od temperaturne stratificiranosti zbiralnika. Temperaturne spremembe in pomanjkanje kisika v vodi so razlog za upad številčnosti domorodnih ribjih vrst (Larinier, 2000).
- Povečana izpostavljenost plenjenju: naravni vzorec plenjenja postane moten z izgradnjo pregrade ali jezua. Selitvene ribje vrste so izpostavljene povečanemu plenjenju drugih rib in ptic v bližini prečne vodne zgradbe. V kolikor ribe prehajajo prečno vodno zgradbo čez prelivna polja, so lahko zaradi turbulence zmedene in stresene ter so s tem izpostavljene plenilcem (Larinier, 2000).

3 METODE PREDNOSTNEGA RAZVRŠČANJA PREČNIH VODNIH ZGRADB ZA IZBOLJŠANJE VZDOLŽNE POVEZANOSTI VODOTOKOV

Prečne vodne zgradbe so razlog za razdrobljenost rečnih ekosistemov in negativno vplivajo na selitve rib in s tem na stanje ribjih združb. Za reševanje problematike prekinjenih selitvenih poti za ribe, so bile razvite metode za prednostno razvrščanje prečnih vodnih zgradb za izboljšanje vzdolžne povezanosti vodotokov. Z njimi vrednotimo prečne vodne zgradbe (npr. pregrade, jezove, prepuste), ki onemogočajo selitve rib.

Za uporabo metode za prednostno razvrščanje prečnih vodnih zgradb za izboljšanje vzdolžne povezanosti vodotokov potrebujemo ustrezne podatke. Zbiranje, urejanje in vzdrževanje ustreznih konstrukcijskih in okoljskih podatkov je lahko tehnično, logistično in finančno zahtevno. Pri zbiranju in vzpostavljanju baze podatkov je pomembno, da uporabljamo standardizirane postopke za zajem velikega števila podatkov na širšem geografskem območju (Kemp in O'Hanley, 2010).

Za uspešno vzpostavljanje selitvenih poti za ribe je ključnega pomena izbira ustrezne metode za prednostno razvrščanje prečnih vodnih zgradb za izboljšanje vzdolžne povezanosti vodotokov oz. selitvenih poti za ribe. Pomembno je, da izberemo metodo, ki jo lahko uporabimo na čim večjem območju in za katero obstajajo ustrezni podatki o prečnih vodnih zgradbah, ribah ali drugi podatki.

Z metodami za prednostno razvrščanje prečnih vodnih zgradb za izboljšanje vzdolžne povezanosti vodotokov ugotavljamo, katere prečne vodne zgradbe imajo največji vpliv na selitve rib. Z vzpostavitvijo vzdolžne povezanosti vodotoka na prečni vodni zgradbi za katero smo ugotovili, da je najbolj pomembna za ribe, bomo najbolj učinkovito vplivali na izboljšanje ekološkega stanja vodotoka. Vzdolžno povezanost vodotokov izboljšamo z izgradnjo ribjih prehodov ali pa s poružitvijo prečne vodne zgradbe. Če povzamemo, so metode za prednostno razvrščanje prečnih vodnih zgradb za izboljšanje vzdolžne povezanosti vodotokov orodje za načrtovanje upravljanja z vodami.

3.1 Definicije prehodnosti prečnih vodnih zgradb za ribe

Prečne vodne zgradbe predstavljajo ovire za selitev rib. Vsaki oviri v vodotoku lahko določimo vrednost prehodnosti za ribe, ki znaša med 0 (0 % – za ribe popolnoma neprehodna prečna vodna zgradba) in 1 (100 % – za ribe popolnoma prehodna prečna vodna zgradba). V literaturi so avtorji prehodnost prečnih vodnih zgradb za ribe definirali na različne načine. Na najbolj osnovni stopnji lahko prečnim vodnim zgradbam predpišemo binarno vrednost (0 ali 1), kar pomeni da so prehodne za ribe ali pa niso prehodne (Kemp in O'Hanley, 2010). Velike pregrade brez ribjih prehodov so primer

ovir v vodotokih, ki niso prehodne za ribe. Prečne vodne zgradbe lahko tvorijo delne ovire za selitve rib. V primeru delnih ovir za ribe so meritve vrednosti prehodnosti prečnih vodnih zgradb časovno spremenljive. Stopnjo prehodnosti lahko določimo na podlagi števila rib, ki prečkajo prečno vodno zgradbo v časovnem intervalu ali pa prehodnost določimo s številom dni v katerih ciljne ribje vrste prečkajo prečno vodno zgradbo med selitvenim obdobjem. Čas, potreben za prehod rib čez prečno vodno zgradbo, je še en pomemben dejavnik pri preučevanju prehodnosti prečnih vodnih zgradb (Kemp in O'Hanley, 2010).

Ocena prehodnosti prečne vodne vodne zgradbe za ribe se razlikuje tudi v odvisnosti ali upoštevamo posamezno ribo ali populacijo. Učinkovitost prehajanja na ravni posamezne ribe smatramo glede na skupno število poskusov, da riba preplava prečno vodno zgradbo. Na ravni populacije vrednost prehodnosti prečne vodne zgradbe opredelimo kot delež rib, ki uspešno preplavajo prečno vodno zgradbo v razmerju s številom rib, ki poskušajo preplavati prečno vodno zgradbo (Haro, 2004; Kemp in O'Hanley, 2010; O'Hanley in Tomberlin, 2005).

Na prečnih vodnih zgradbah, ki imajo zgrajen ribji prehod, je pomembno, da ribe najdejo vhod v ribji prehod in uspešno preplavajo ribji prehod. Učinkovitost, da ribe najdejo vhod v ribji prehod, merimo na osnovi števila poskusov posamezne ribe, preden vstopi v ribji prehod ali kot delež ribje populacije ali pa kot potreben čas, da to naredijo uspešno. V primeru, ko gre za zaporedje prečnih vodnih zgradb oz. ovir v vodotoku, morajo ribe preplavati vse ovire, da so selitve uspešne. Kumulativno prehodnost ovir lahko preprosto ocenimo kot produkt posameznih vrednosti prehodnosti ovir, pod pogojem, da ovire smatramo kot neodvisne. To pomeni, da riba, ki uspešno prečka eno oviro, ne vpliva na verjetnost uspešnosti prečkanja več zaporednih ovir v vodotoku (Kemp in O'Hanley, 2010).

3.2 Ocenjevanje prehodnosti prečnih vodnih zgradb za ribe v vodotokih

Obstaja veliko metod ocenjevanja prehodnosti prečnih vodnih zgradb (ovir) za ribe (Preglednica 3). Kadar čas in denar nista omejujoča dejavnika, lahko vpliv ene ali več prečnih vodnih zgradb na selitve rib ovrednotimo empirično z neposrednimi metodami (Kemp in O'Hanley, 2010):

- opazovanje in video snemanje,
- hidroakustične sonarske tehnologije,
- telemetrija: integriran pasivni radijski odzivnik (sprejemnik-oddajnik) (angl. passive integrated transponder – PIT), radijske oznake, akustične oznake.

Preglednica 3: Metode za ocenjevanje prehodnosti prečnih vodnih zgradb za ribe v vodotokih (Kemp in O'Hanley, 2010: str. 300)

Table 3: Methods for assessing the passability of transverse river structures for fish in watercourses (Kemp and O'Hanley, 2010: p. 300)

Metoda ocenjevanja prehodnosti prečnih vodnih zgradb za ribe	Prednosti	Slabosti
Opazovanje in snemanje	Podrobne informacije o vedenju in prehajanju rib čez prečno vodno zgradbo.	Omejena uporabnost npr. v primeru velike kalnosti, majhnih globin.
Hidroakustični sonar	Podrobne informacije o vedenju in prehajanju rib čez prečno vodno zgradbo.	Visoki stroški in kompleksna obdelava podatkov.
Telemetrija: PIT, radijske oznake, akustične oznake	Podrobne informacije o času in ribjih selitvenih poteh. Natančne ocene o učinkovitosti privabljanja rib in prehajanja rib čez prečno vodno zgradbo.	Visoki stroški, uporaba ni sprejemljiva v merilu povodja, regionalnem in nacionalnem merilu.
Popis rib z oceno gostote in številčnosti (npr. elektroribolov)	Zagotavlja prostorske in časovne informacije o porazdelitvi, številčnosti, gostoti in sestavi populacije rib v razdrobljenem rečnem sistemu.	Omejene informacije o prehodnosti prečnih vodnih zgradb.
Razpoložljivi in manjkajoči podatki	Nizki stroški. Podatki se zbirajo skozi posamezne preglede ali z uporabo lokalnega znanja.	Omejene informacije o prehodnosti prečnih vodnih zgradb. Lahko pride do napak, če prečne vodne zgradbe obravnavamo neodvisno (npr. pomanjkanje rib je lahko povezano z drugimi vzroki ali s prisotnostjo drugih neprehodnih prečnih vodnih zgradb v porečju.
Genetska zgradba ribje populacije	Zagotavlja informacije o genski izolaciji ribje populacije. Poudarja vplive prekinjene povezanosti vodotokov na ribe na dolgi časovni rok.	Potencialni visoki stroški in potrebno strokovno znanje. Omejena uporaba za diadromne ribje vrste.
Odločanje na podlagi programskih simulacij (npr. programska oprema FishXing)	Nizki stroški. Programske simulacije lahko uporabljamo v vseh merilih.	Potrebni so natančni hidrološki podatki. Podatki o ribah so po navadi nepopolni ali manjkajoči.
Statistični modeli (npr. multivariatna regresija)	Nizki stroški. Multivariatno analizo lahko uporabljamo v vseh merilih. Prepoznamo faktorje, ki vplivajo na prehodnost prečnih vodnih zgradb za ribe. Možna je tudi prenosljivost napovedi, za prečne vodne zgradbe, ki imajo podobne fizične in hidravlične lastnosti.	Za uporabo statističnih modelov potrebujemo osnovne vhodne podatke, ki jih moramo dobiti z uporabo drugih metod za ocenjevanje prehodnosti prečnih vodnih zgradb za ribe.
Strokovno mnenje	Nizki stroški. Strokovno mnenje lahko uporabljamo v vseh merilih.	Ocene prehodnosti prečnih vodnih zgradb za ribe, ki smo jih podali na podlagi strokovnega mnenja pogosto ne preverjamo z drugimi metodami za ocenjevanje prehodnosti prečnih vodnih zgradb za ribe.

Ocenjevanje prehodnosti prečnih vodnih zgradb za ribe lahko izvedemo tudi na osnovi informacij o oceni številčnosti rib (npr. z elektroribolovom). Pri določevanju vrednosti prehodnosti prečnih vodnih zgradb z metodama gostote in številčnosti rib ali razpoložljivih in manjkajočih podatkov za diadromne ribje vrste, moramo biti pozorni na prisotnost popolnoma neprehodne prečne vodne zgradbe dolvodno od obravnavane prečne vodne zgradbe. V primeru popolnoma neprehodne prečne vodne zgradbe dolvodno od obravnavane prečne vodne zgradbe, sta metodi gostote in številčnosti rib ali razpoložljivih in manjkajočih podatkov neuporabni za ocenjevanje prehodnosti diadromnih ribjih vrst (Kemp in O'Hanley, 2010).

Na ravni porečja stopnjo razdrobljenosti vodnih habitatov zaradi prečnih vodnih zgradb lahko v določeni meri ocenimo z uporabo metod na osnovi genetike, s katerimi določimo populacijsko povezavo med ribami. Neprehodne prečne vodne zgradbe vplivajo na gensko strukturo populacije z zmanjšanjem genske raznolikosti rib (Waidbacher in Haidvogel, 1998). Vse takšne genetske analize so drage in zahtevajo primerno strokovno znanje. Zaradi pomanjkljivih podatkov, visokih stroškov analiz in zahtevnih obdelav podatkov, prehodnost prečnih vodnih zgradb v številnih primerih ocenimo na osnovi strokovnega mnenja in subjektivne ocene eksperta (Kemp in O'Hanley, 2010).

3.3 Vrste metod za prednostno razvrščanje prečnih vodnih zgradb za izboljšanje vzdolžne povezanosti vodotokov

Popis vodnih objektov in naprav je prvi korak, ki je osnova za prednostno razvrščanje prečnih vodnih zgradb za izboljšanje vzdolžne povezanosti vodotokov (Kemp in O'Hanley, 2010). Ker je v vodotokih veliko število za ribe neprehodnih prečnih vodnih zgradb, moramo skrbno načrtovati, na katerih prečnih vodnih zgradbah bomo prednostno vzpostavili vzdolžno povezanost vodotoka. Izbira metode za prednostno razvrščanje prečnih vodnih zgradb za izboljšanje vzdolžne povezanosti vodotokov temelji na odločitvi ekspertov, ki predvidijo, katera metoda je najbolj primerna glede na združbo rib v vodotoku, značilnosti območja in razpoložljivih podatkov.

Metode za prednostno razvrščanje prečnih vodnih zgradb za izboljšanje vzdolžne povezanosti vodotokov delimo na:

- Metode točkovanja in razvrščanja: predstavljajo najbolj splošen pristop prednostnega razvrščanja prečnih vodnih zgradb za izboljšanje vzdolžne povezanosti vodotokov. Pri metodi točkovanja in razvrščanja prečne vodne zgradbe točkujemo na osnovi ključnih fizičnih, ekoloških in ekonomskih lastnosti. Metode točkovanja in razvrščanja vključujejo parametre, kot so velikost habitata (površina ali dolžina vodotoka), kakovost habitata, stopnja do katere so ovirane selitve rib in stroški obnove vzdolžne povezanosti vodotoka. Prečne vodne zgradbe razvrstimo v

padajočem vrstnem redu doseženih točk. Vzpostavljane vzdolžne povezanosti začnemo pri prečni vodni zgradbi, kateri smo pripisali največ točk. Metode točkovanja in razvrščanja so relativno enostavne in lahko izvedljive. Glavna pomanjkljivost metod točkovanja in razvrščanja je, da posamezne prečne vodne zgradbe obravnavamo neodvisno brez upoštevanja stopnje prehodnosti gorvodnih ali dolvodnih prečnih vodnih zgradb (O'Hanley in Tomberlin, 2005; Kemp in O'Hanley, 2010).

- Metode na podlagi geografsko informacijskih sistemov (GIS): uporabne so za izvajanje tipa analiz "kaj če", s katerimi odstranitev ene ali več prečnih vodnih zgradb podrobno modeliramo. Pozitivne lastnosti metod na podlagi GIS so, da omogočajo nespecializiranim končnim uporabnikom enostavne poizvedbe. Končne rezultate lahko prikažemo v kartografski obliki. Prav tako je čas računanja kratek. Negativne lastnosti metod na podlagi GIS so, da so precej poenostavljene. Rezultati metod so odvisni od kakovosti vhodnih podatkov (npr. podatkov o prečnih vodnih zgradbah in prehodnosti prečnih vodnih zgradb za ribe) (Kemp in O'Hanley, 2010).
- Optimizacijsko modeliranje: z optimizacijskim modeliranjem zagotavljamo učinkovito razporejanje finančnih sredstev za maksimiranje koristi obnov vodotokov. Prav tako lahko učinkovito usklajujemo številne cilje. Pozitivna lastnost optimizacijskega modeliranja je tudi, da izboljšujemo preglednost odločanja skozi oblikovanje jasno opredeljenih ciljev, lahko pa ga uporabljamo tudi za oblikovanje izhodišč za bolj podrobno modeliranje. Slabost optimizacijskega modeliranja je, da potrebujemo posebno znanje za matematično in računalniško programiranje za razvoj modelov. V primerih, ko poskušamo optimalno rešiti probleme, so včasih časi računanja zelo dolgi (Kemp in O'Hanley, 2010).

3.3.1 Metoda za prednostno razvrščanje prečnih vodnih zgradb za izboljšanje vzdolžne povezanosti vodotokov v Oregonu

V Oregonu je v vodotokih prisotno veliko število cestnih prepustov, ki ovirajo gorvodne selitve odraslih rib in njihovih mladice. Prepuste se popravi tako, da omogočajo selitve rib po celotnem porečju. Prepusti morajo omogočati:

- gorvodne selitve anadromnih in stalnih rib na drstitutvena območja,
- gorvodne in dolvodne selitve za mladice in stalne ribe zaradi prilagajanja spremenjenim habitatskim razmeram (npr. spremembam v temperaturi vode, spremembam pretoka vode, tekmovanju za razpoložljivo hrano),
- povezano rečno omrežje stalnim ribam, da se prepreči razdrobljenost populacije, ki zmanjša gensko pestrost in celovitost (Mirati, 1999).

Prepuste se oceni na osnovi meril, ki omogočajo prehajanje odraslih rib in njihovih mladice. Parametri, ki se izmerijo na prepustih so:

- premer in dolžina prepusta,
- naklon prepusta,
- prisotnost ali odsotnost tolmana na iztoku vode iz prepusta,
- globina tolmana, če je prisoten in
- izlivna višina iz prepusta (Mirati, 1999).

Drugi s prepusti povezani parametri, ki se popisujejo so:

- vključenost prepusta v strugo in vsebnost naravnega substrata,
- način toka vode skozi prepust (problematično za dolvodne selitve ribjih mladice v nizki vodi), saj obstaja možnost, da so na dnu prepusta luknje, ki jih po navadi povzroča korozija, zato voda teče pod prepust,
- velikost rib (mladice, odrasle ribe ali oboje),
- druge posebnosti na prepustih (npr. zamašitev z drobirjem, smetmi) (Mirati, 1999).

Vse popisane prepuste se uvrsti v kategorijo prehodni za ribe ali pa v kategorijo nepopolni. Prepuste, ki izpolnjujejo kriterije za prehajanje rib, se oceni kot prehodne za ribe. Prepuste, ki ne izpolnjujejo enega ali več kriterijev, se določi kot nepopolne, zato jih je treba vzdrževati ali sanirati (Mirati, 1999). Na osnovi poznavanja ribjih populacij in habitatov v vodotokih se prepuste oceni v kategorijo visoko, srednje ali malo pomembni za popravilo. Prednostno razvrščanje prepustov temelji na osnovi:

- števila in stanja prisotnih rib,
- velikosti populacije rib in
- ocenjene velikosti in kakovosti nedostopnega habitata za ribe.

V metodo za prednostno razvrščanje prečnih vodnih zgradb za izboljšanje vzdolžne povezanosti vodotokov v Oregonu ni vključenih parametrov kot so ocenjeni stroški popravila prepusta, delež izboljšanja prehajanja rib čez prepust ali ocenjeno povečanje ribje produkcije, ker so povezani s preveč neznankami. V nekaterih primerih (na manjših neimenovanih pritokih ali v povirnih delih) ocene prepustov temeljijo na nezanesljivem znanju in predstavljajo zgolj najboljše možne ocene (Mirati, 1999).

3.3.2 Metoda za prednostno razvrščanje prečnih vodnih zgradb za izboljšanje vzdolžne povezanosti vodotokov v okrožju Clackamas (Oregon)

V okrožju Clackamas v Oregonu je bila razvita metoda točkovanja in razvrščanja prepustov za izboljšanje vzdolžne povezanosti z namenom obnove populacije lososa. Prepuste se točkuje po sedmih kriterijih (Preglednica 4) in razvrsti po prednostnem vrstnem redu za popravilo ali zamenjavo, da bodo ponovno omogočene selitve rib (Karle, 2005).

Številni prepusti v vodotokih omogočajo selitve rib v vseh ali samo nekaterih življenjskih obdobjih rib oz. čez celo leto ali pa samo v nekaterih obdobjih leta. Nekateri prepusti, ki imajo izlivno višino večjo od 0,61 m ali padec dna prepusta večji od 5 %, lahko predstavljajo popolno oviro za ribe v vseh življenjskih obdobjih rib in pri vseh pretokih. Prepusti z izlivno višino 0,10 m ali majhnimi padci dna prepusta lahko ovirajo selitve rib med ekstremno nizkimi pretoki oz. med visokimi pretoki skozi prepust. Pozornost se nameni zagotavljanju selitev rib v vseh življenjskih obdobjih in pri vseh pretokih, vse do dimenzioniranega pretoka. Prehodnost prepusta za ribe se določi z ekspertno presojo ali pa s hidravličnimi analizami. Vrednosti prehodnosti znašajo med vrednostima 0 in 1 (Karle, 2005).

Izbira velikega števila kriterijev vodi k prezapletenemu sistemu točkovanja in razvrščanja prepustov, saj je potrebno veliko število podatkov. Postopek točkovanja in razvrščanja se lahko zaradi izbire velikega števila kriterijev upočasni ali ustavi oz. je odvisen od dostopnosti podatkov za vsak posamezen kriterij. Izbira premajhnega števila kriterijev lahko vodi do netočnih ali nesmiselnih rezultatov. Za učinkovit sistem točkovanja in razvrščanja prepustov je pomembno, da izberemo zadostno število kriterijev za katere obstajajo kakovostni podatki. Kriterije za vrednotenje prepustov določimo na osnovi pregledov in raziskav habitatov in merjenih značilnostih habitata za anadromne in stalne ribje vrste (Karle, 2005). Za končno razvrščanje prepustov uporabljamo vrednosti posameznih kriterijev, ki jih seštejemo (model vsot) ali množimo (model produktov). Model vsot in model produktov kriterijev sta preprosta in enostavna za izračun, prav tako sta enako natančna, če imajo vrednosti kriterijev srednje vrednosti. V primeru, da je vrednost kriterija 0, model produktov ni uporaben (Karle, 2005).

Preglednica 4: Kriteriji in vrednosti kriterijev za prednostno razvrščanje prepustov za okrožje Clackamas (Oregon) (Karle, 2005: str. 67)

Table 4: Criteria and criteria values for prioritization of culverts for Clackamas County (Oregon) (Karle, 2005: p. 67)

Kriterij	Vrednost kriterija		
Na novo vzpostavljena gorvodna dolžina vodotoka	1: 0,0 – 0,79 km 2: 0,80 – 1,59 km	5: 1,60 – 4,01 km 8: 4,02 – 8,03 km	10: 8,04 in več km
Na novo vzpostavljena gorvodna površina porečja	0: 0 – 0,401 km ² 2: 0,402 – 0,805 km ²	6: 0,806 – 2,019 km ² 8: 2,020 – 4,043 km ²	10: 4,044 km ² in več
Kakovost na novo vzpostavljenega gorvodnega habitata	<p>0: zelo degradiran habitat – obrežni pas brez drevesne obrežne vegetacije ali pa so prisotne invazivne rastline povečano usedanje v vodi lebdečih delcev na dno struge, dno ni prodnato, poselitev je prisotna v 0,80 km pasu na vsaki brežini.</p> <p>2: degradiran habitat – obrežni pas z redko drevesno obrežno vegetacijo, prisotnost tujerodnih ali invazivnih rastlin (robidnice, gladež), majhna osenčenost vodotoka, opazno usedanje v vodi lebdečih delcev na dno struge, viden prod.</p> <p>6: delno ali zmerno degradiran habitat – obrežni pas vsebuje nekatera odrasla drevesa, nekatere domorodne in nekatere tujerodne rastline, osenčenost vodotoka delno ohranja invazivne rastline izven obrežnega pasu, prisotno usedanje v vodi lebdečih delcev na dno struge, prod v strugi vodotoka, poselitev je izven 15 m območja obrežnega pasu vodotoka.</p> <p>8: kakovosten habitat – obrežni pas vsebuje pretežno odrasla drevesa in grmičevje z zelo malo invazivnimi vrstami, osenčenost vodotoka zaradi odraslih dreves je 80 %, majhno usedanje v vodi lebdečih delcev na dno struge, veliko proda v strugi vodotoka, poselitev je izven 30 m območja obrežnega pasu vodotoka.</p> <p>10: zelo kakovosten habitat – obrežni pas vsebuje samo odrasla drevesa in grmičevje, brez prisotnih invazivnih rastlin, zelo majhno usedanje v vodi lebdečih delcev na dno struge, osenčenost vodotoka je 90 % in več, poselitev je izven 60 m območja obrežnega pasu vodotoka.</p>		
Dolvodne selitvene ovire za ribe	0: naravna dolvodna prečna vodna zgradba (npr. slap) 3: umetna dolvodna prečna vodna zgradba (npr. prepust, jez)	5: ni dolvodne prečne vodne zgradbe	
Pomembnost ribjih vrst*	0: nepoznane 3: postrv vrste <i>Oncorhynchus clarkii</i> (angl. cutthroat trout)	7: losos vrste <i>Oncorhynchus kisutch</i> (angl. coho salmon) 10: losos vrste <i>Oncorhynchus tshawytscha</i> (angl. chinook salmon)	10 šarenka vrste <i>Oncorhynchus mykiss irideus</i> (angl. steelhead trout)
Stanje prepustov**	0: FHWA ocena od 9 do 6 5: FHWA ocena 5	10: FHWA ocena 4 40: FHWA ocena 3	45: FHWA ocena od 2 do 0
Stroški zamenjave oz. obnove prepusta	10: 0 – 59.999 \$ 8: 60.000 – 149.999 \$	6: 150.000 – 249.999 \$ 2: 250.000 – 499.999 \$	0: 500.000 \$ in več

*za nekatere ribje vrste na obstaja slovenskega prevoda. Karle (2005) ne navaja latinskih imen za ribe. Za večjo preglednost smo poiskali latinska imena ribjih vrst.

**FHWA (angl. Federal Highway Administration) ocena se uporablja za opis obstoječih mostov ali prepustov. Ocena temelji na pregledu stanja (npr. razpoke, izpodjedanje, krušenje) gradbenih elementov mostov ali prepustov in se ocenjuje z ocenami od 0 (slabo stanje) do 9 (odlično stanje) (Bridge preservation ..., 2011).

3.3.3 WDFW metoda za prednostno razvrščanje prečnih vodnih zgradb za izboljšanje vzdolžne povezanosti vodotokov

Na oddelku za ribe in prostoživeče živali in rastline v Washingtonu (angl. Washington Department of Fish and Wildlife – WDFW) so vzpostavili celovit program za zagotavljanje smernic o tem, kako določiti in prednostno razvrstiti prepuste, pregrade in druge prečne vodne zgradbe, ki ovirajo selitve rib. Prečne vodne zgradbe se vrednoti predvsem z vidika rib, ki so prisotne v izbranem vodotoku (Fish Passage and Surface ..., 2009; Karle, 2005). Vrednotenje prečnih vodnih zgradb za prednostno razvrščanje za izboljšanje vzdolžne povezanosti vodotokov je izvedljivo, ko obstaja dovolj ustreznih habitatov za ribe dolvodno od prečne vodne zgradbe. Dovolj ustreznih habitatov predstavljajo rečni odseki, ki so dolgi najmanj 200 m, imajo padec dna struge vodotoka manjši od 20 % in so brez naravnih ovir (npr. slapov). Za vrednotenje prečnih vodnih zgradb za prednostno razvrščanje za izboljšanje vzdolžne povezanosti vodotokov so strokovnjaki iz WDFW razvili indeks PI (angl. priority index – PI) s katerim se za prečne vodne zgradbe izračuna vrednosti po enačbi (1). Indeks PI je uporaben za ocenjevanje koristi za ribe, ki jih dosežemo z obnovami prečnih vodnih zgradb. Indeks PI izračunamo kot četrti koren množilne enačbe (Karle, 2005). Skupna vrednost indeksa PI je vsota posameznih indeksov PI, ki jih izračunamo za vsako ribjo vrsto, ki je prisotna v obravnavanem odseku vodotoka (Fish Passage and Surface ..., 2009).

$$PI = \sum_{vse\ vrste} \sqrt[4]{[(BHP) \times MDC]} \quad (1)$$

B – delež prehodnosti prečne vodne zgradbe za ribe

H – velikost na novo vzpostavljenega habitata za ribe (m²)

P – letni produkcijski potencial odraslih rib na m²

M – prilagajanje mobilnosti rib

D – stanje ribjih vrst

C – stroški obnove prečne vodne zgradbe za izboljšanje prehodnosti za ribe

Preglednica 5: Kriteriji in vrednosti kriterijev za izračun indeksa PI (Fish Passage and Surface ..., 2009; Karle, 2005: str. 68)

Table 5: Criteria and criteria values for the calculation of the PI index (Fish Passage and Surface ..., 2009; Karle, 2005: p. 68)

Kriterij	Vrednost kriterija		
B – delež prehodnosti prečne vodne zgradbe za ribe	1,0: 0 % prehodno 0,67: 33 % prehodno 0,33: 67 % prehodno		
H – velikost na novo vzpostavljenega habitata za ribe	Vrednost kriterija H je izmerjena ali izračunana vrednost v m ² .		
P – letni produkcijski potencial odraslih rib na m ² *	0,0007: zlatovščica vrste <i>Salvelinus confluentus</i> (angl. bull trout), <i>Salvelinus malma malma</i> (angl. Dolly Varden) 0,0021: šarenka vrste <i>Oncorhynchus mykiss irideus</i> (angl. steelhead trout) 0,016: losos vrste <i>Oncorhynchus tshawytscha</i> (angl. chinook salmon)	0,037: postrv vrste <i>Oncorhynchus clarkii clarkii</i> (angl. sea run cutthroat trout) 0,04: vrsta postrvi <i>Oncorhynchus clarkii</i> (angl. resident cutthroat trout) <i>Oncorhynchus mykiss</i> (ang. rainbow trout) 0,05: losos vrste <i>Oncorhynchus kisutch</i> (angl. coho salmon)	1,25: losos vrste <i>Oncorhynchus keta</i> (angl. chum salmon) 1,25: losos vrste <i>Oncorhynchus gorbuscha</i> (angl. pink salmon) 3,0: losos vrste <i>Oncorhynchus nerka</i> (angl. anadromous sockeye salmon) <i>Oncorhynchus nerka</i> (angl. nonanadromous kokanee salmon)
M – mobilnosti rib	2: visoka mobilnost rib (anadromne vrste rib) 1: srednja mobilnost rib (stalne ribje vrste) 0: negativni učinki zaradi povečane mobilnosti rib (eksotične salmonidne vrste)		
D – stanje ribjih vrst	3: stanje ribjih vrst je kritično 2: stanje ribjih vrst je zaskrbljujoče (stalež rib je zaskrbljujoč) 1: vrste ne dosegajo stanja 2 in 3		
C – stroški obnove prečne vodne zgradbe za izboljšanje prehodnosti za ribe	3: 100.000 \$ 2: 100.000\$ – 500.000 \$ 1: več kot 500.000 \$		

*V Fish Passage and Surface ..., (2009) latinska imena vrst rib niso navedena. Za večjo preglednost navajamo latinska imena ribjih vrst.

Odstotek prehodnosti prečnih vodnih zgradb za ribe je ocenjen na podlagi strokovne presoje o sposobnostih ribjih vrst, da premagajo višine prečnih vodnih zgradb, hitrosti toka vode in globine

vode. Prehodnost prečnih vodnih zgradb je ocenjena na osnovi plavalnih sposobnosti postrvi velikosti 15 cm. Ocene prehodnosti prečnih vodnih zgradb niso merodajne za postrvi različnih starosti. Deleži prehodnosti prečnih vodnih zgradb za ribe predstavljajo splošne kategorije prehodnosti in ne dejanskega števila oz. deleža rib, ki uspešno preplavajo prečno vodno zgradbo. Prečne vodne zgradbe so razvrščene v naslednje kategorije:

- popolna ovira (0 % prehodna za ribe),
- delna ovira (33 % prehodna za ribe),
- manjša delna ovira (67 % prehodna za ribe) in
- ni ovira (100 % prehodna za ribe; prehodna pri vseh pretokih v vseh časih) (Fish Passage and Surface ..., 2009).

Prehodnost prečne vodne zgradbe (npr. prepustov, pragov, jezov) za ribe je odvisna od višinske razlike med koto zgornje in spodnje vode. Prehodnost prepustov za ribe je odvisna tudi od naklona prepusta in globine vode v prepustu (Preglednica 6) (Fish Passage and Surface ..., 2009).

Preglednica 6: Kriteriji za ugotavljanje prehodnosti prečnih vodnih zgradb za ribe (Fish Passage and Surface ..., 2009)

Table 6: Criteria for determining the passability of transverse river structures for fish (Fish Passage and Surface ..., 2009)

Vrsta prečne vodne zgradbe	Kriterij	Vrednost kriterija	Prehodnost
Jez, prag, prepust	Višinska razlika (h) med koto zgornje in spodnje vode	$h < 0,24 \text{ m}$	100 %
		$0,24 \text{ m} < h < 0,5 \text{ m}$	0,67 %
		$0,5 \text{ m} < h < 1,0 \text{ m}$	0,33 %
		$h > 1 \text{ m}$	0 %
Prepust, betonski kanal	Naklon (n)	$n < 1 \%$	100 %
		$1 \% < n < 2 \%$	0,67 %
		$2 \% < n < 4 \%$	0,33 %
		$n > 4 \%$	0 %
Prepust	Globina vode (h_{vode}) v prepustu	$h_{\text{vode}} < 0,05 \text{ m}$	0 %
		$0,05 \text{ m} < h_{\text{vode}} < 0,15 \text{ m}$	0,33 %
		$0,15 \text{ m} < h_{\text{vode}} < 0,30 \text{ m}$	0,67 %
		$h_{\text{vode}} > 0,30 \text{ m}$	100 %

Naravne prečne vodne zgradbe, ki preprečujejo selitve večini odraslih rib v vodotokih v Washingtonu, so definirane kot:

- slap vertikalne višine $> 3,7 \text{ m}$,
- vodotoki z naklonom $> 20 \%$ na razdalji 160 m in več,

- vodotoki s trajnim padcem > 16 % na razdalji 160 m s širino struge vodotoka < 0,6 m (velja za vodotoke zahodnega Washingtona) ali širino struge vodotoka < 0,9 m (velja za vodotoke vzhodnega Washingtona) (Fish Passage and Surface ..., 2009).

3.3.4 Metoda za prednostno razvrščanje prečnih vodnih zgradb za izboljšanje vzdolžne povezanosti vodotokov v Kaliforniji

Z uporabo metode za prednostno razvrščanje prečnih vodnih zgradb za izboljšanje vzdolžne povezanosti vodotokov v Kaliforniji so obravnavane prečne vodne zgradbe kot so prepusti, pragovi, jezovi, mostovi, ki ustvarjajo začasne, delne ali popolne selitvene ovire za ribe in njihove mladice (Preglednica 7) na drstišča (Taylor in Love, 2003).

Preglednica 7: Vrste prečnih vodnih zgradb in njihovi potencialni vplivi na ribe (Taylor in Love, 2003: str. 1)

Table 7: Types of transverse river structures and their potential effects on fish (Taylor and Love, 2003: p. 1)

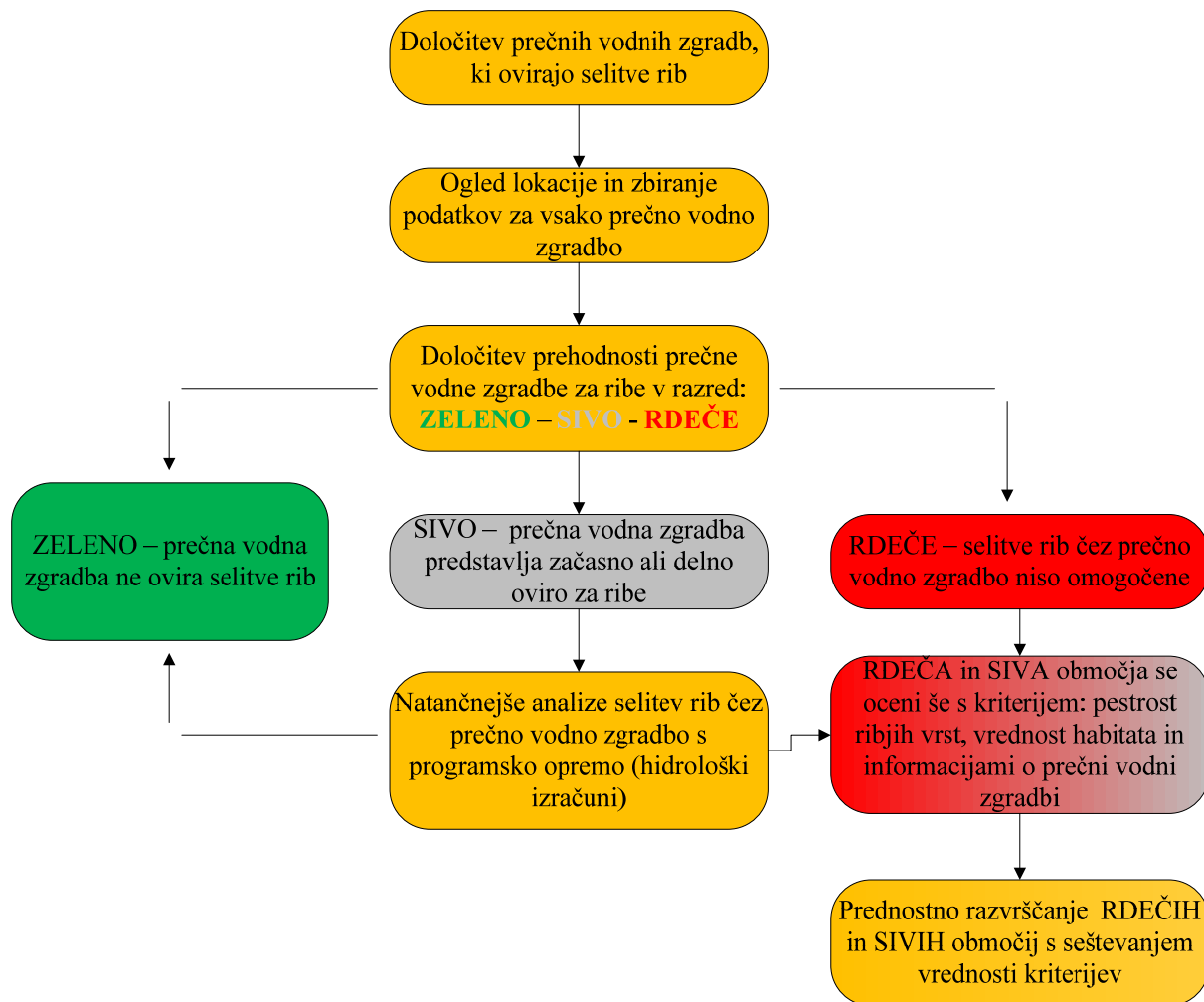
Vrsta ovire za ribe, ki jih ustvarjajo prečne vodne zgradbe	Opis vrste ovire za ribe	Potencialni vplivi na ribe, ki jih povzročajo ovire za ribe
Začasna ovira	Neprehodna za vse ribe pri nekaterih pretokih vode.	Pojavijo se zamude pri selitvah rib na drstišča.
Delna ovira	Neprehodna za nekatere ribje vrste v delu življenja ali v celotnem življenjskem obdobju pri vseh pretokih vode.	Določene ribje vrste izginejo iz posameznih delov porečja.
Popolna ovira	Neprehodna za vse ribe pri vseh pretokih vode.	Vse ribje vrste izginejo iz nekaterih delov porečja.

Kriteriji za prednostno razvrščanje prečnih vodnih zgradb za izboljšanje vzdolžne povezanosti vodotokov na podlagi metode razvite v Kaliforniji so (Taylor in Love, 2003):

- Pestrost ribjih vrst: število trenutno prisotnih ribjih vrst (ali referenčnih ribjih vrst, ki bi jih lahko ponovno naselili) na lokacijah vodotoka, kjer se nahaja prečna vodna zgradba. 4 točke dodelimo za vsako ogroženo vrsto, 2 točki za vsako občutljivo vrsto in 1 točko za vsako ostalo vrsto.
- Prehodnost prečne vodne zgradbe za ribe: vrednost prehodnosti prečne vodne zgradbe za ribe izračunamo s pomočjo programa FishXing. 0 točk dodelimo vsaki 80 % in več prehodni prečni vodni zgradbi, 1 točko za vsako 79-60 % prehodno prečno vodno zgradbo, 2 točki za vsako 59-40 % prehodno prečno vodno zgradbo, 3 točke za vsako 39-20 % prehodno prečno vodno zgradbo, 4 točke za vsako 19-1 % prehodno prečno vodno zgradbo in 5 točk za vsako 0 % prehodno prečno vodno zgradbo.

- Vrednost habitata: je zmnožek velikosti habitata s točkami kakovosti habitata. Velikost habitata opredelimo z dolžino za ribe dostopnega habitata nad prečno vodno zgradbo. Za vsakih 152 m (500 čevljev) vodotoka dodelimo 0,5 točke (1 točka = 304 m vodotoka, 2 točki = 608 m, itd.). Maksimalno število točk je 10. Kakovost habitata ocenimo s pregledom habitata. 1 točko dodelimo za odlično kakovost habitata (neposeljeno območje, gosti obrežni pasovi z odraslimi domorodnimi rastlinami, številni tolmuni v vodotoku, kakovostna drstitvena območja za ribe, hladne poletne temperature vode, poplavne ravnice vodotoka so relativno neokrnjene), 0,75 točke za dobro kakovost habitata (habitat je v večini neokrnjen, erozijski procesi ali drugi dejavniki so spremenili porečje, gosti obrežni pasovi z domorodnimi rastlinami, številni tolmuni v vodotoku, prod v vodotoku omogoča drstenje rib, hladne poletne temperature vode, poplavne ravnice relativno neokrnjene), 0,5 točke za zmerno kakovost habitata (erozijski procesi ali drugi dejavniki so spremenili porečje, pomanjkanje iglavcev v obrežnem pasu vodotoka, redki tolmuni v vodotoku, usedanje v vodi lebdečih delcev na drstitvenih območjih, poletne temperature vode naraščajo do stresnih vrednosti za ribe, poplavne ravnice so neokrnjene ali rahlo spremenjene), 0,25 točke za slabo kakovost habitata (erozijski procesi ali drugi faktorji so bistveno spremenili porečje, zelo degradiran obrežni pas, malo ali nič tolmunov v vodotoku, prekomerno usedanje v vodi lebdečih delcev na drstitvenih območjih, stresne in smrtne poletne temperature vode za ribe, prekinjene poplavne ravnice z vodotokom zaradi nasipov, kamnitih sten).
- Pretočna sposobnost prečne vodne zgradbe in nevarnost za okvaro prečne vodne zgradbe: 0 točk dodelimo za pretočno sposobnost s 100 letno povratno dobo – majhna nevarnost, 1 točko za pretočno sposobnost z najmanj 50 letno povratno dobo – majhna ali srednja nevarnost, 2 točki za pretočno sposobnost z najmanj 25 letno povratno dobo – srednja nevarnost, 3 točke za pretočno sposobnost z najmanj 10 letno povratno dobo – srednja ali velika nevarnost, 4 točke za pretočno sposobnost z manj kot 10 letno povratno dobo – velika nevarnost, 5 točk za pretočno sposobnost z manj kot 5 letno povratno dobo – izredno velika nevarnost.
- Trenutno stanje prečne vodne zgradbe: 0 točk dodelimo za dobro stanje prečne vodne zgradbe, 1 točko za sprejemljivo stanje prečne vodne zgradbe (znaki obrabe prečne vodne zgradbe), 3 točke za slabo stanje preče zgradbe (deloma poškodovani, porušeni ali uničeni elementi prečne vodne zgradbe), 4 točke za zelo slabo stanje prečne vodne zgradbe (popolnoma poškodovani, porušeni ali uničeni elementi prečne vodne zgradbe) (Taylor in Love, 2003).

Za vsako prečno vodno zgradbo se izpolni popisni list in sešteje vrednosti ugotovljene za posamezen kriterij. Na podlagi vsote vrednosti kriterijev za posamezno prečno vodno zgradbo je treba narediti prednostni seznam za obnovo prečnih vodnih zgradb (Slika 10). Poleg naštetih kriterijev se lahko uporabijo še dodatni kriteriji (npr. prisotnost ali odsotnost druge prečne vodne zgradbe, informacije o ribah v okolici prečnih vodnih zgradb, stroški sanacije prečne vodne zgradbe) (Taylor in Love, 2003).



Slika 10: Popis in ocena prehajanja rib čez prečne vodne zgradbe (Taylor in Love, 2003: str. 6)

Figure 10: Inventory and assessment of fish migration over transverse river structures (Taylor and Love, 2003: p. 6)

3.3.5 Metoda za prednostno razvrščanje prečnih vodnih zgradb za izboljšanje vzdolžne povezanosti vodotokov v Pensilvaniji

V Pensilvaniji so strokovnjaki razvili metodo za prednostno odstranjevanje nehidroenergetskih jezov. Del metodologije je že razviti indeks o primernosti habitata – indeks HSI (angl. habitat suitability index – HSI). Z indeksom HSI vrednotijo vplive rabe vode ali rabe tal na ribe. Modeli indeksa HSI za reko Susquehanna v Pensilvaniji in njenih 5 večji pritokov vključujejo 4 ribje vrste (ameriško čepo *Alosa sapidissima*, velikooko čepo *Alosa pseudoharengus*, črnohrbto čepo *Alosa aestivalis* in ameriško jeguljo *Anguilla rostrata*). Prednostno razvrščanje za odstranitev nehidroenergetskih jezov v porečju reke Susquehanna temelji na bioloških kriterijih o ciljnih ribjih vrstah (Kocovsky in sod., 2009).

Pri uporabi metode za prednostno odstranjevanje nehidroenergetskih jezov uporabljajo 4 kriterije:

- 1) indeks HSI za 4 diadromne ribje vrste,
- 2) indeksi HSI v povezavi s krajinskimi značilnostmi,
- 3) na novo vzpostavljena dolžina vodotoka in
- 4) dolžina od rečnega ustja do jezov.

HSI modele uporabljajo za vrednotenje primernosti habitata za ponovno naselitev rib. Izračuna se indekse HSI za različne vrste rib v različnih obdobjih življenja (npr. odrasle ribe, ki se drstijo, oplojena jajčeca in ličinke ter mladice, ki se še ne selijo). V HSI modelih se upošteva tudi podatke o velikosti substrata, hitrosti vode, globini, temperaturi, pH, v vodi raztopljenem kisiku, prevodnosti in kalnosti. Vzorčenje reprezentativnega habitata se izvaja na vsakih 5 km od ustja vodotoka. Za odseke vodotokov med jezovi za katere ni zbranih podatkov, se za izračun indeksa HSI uporabi srednjo vrednost indeksa HSI najbližjega gorvodnega ali dolvodnega dela vodotoka. Naredi se tudi povezavo med krajinskimi značilnostmi in indeksi HSI. Izračunati je treba delež porečja, ki ga pokrivajo karbonatna tla nad vsakim jezom, nato se izračuna korelacije med rabo tal in indeksi HSI, ki vključujejo ribe v različnih življenjskih obdobjih. S korelacijsko analizo so strokovnjaki ugotovili, da so karbonatna tla v pozitivni korelaciji z indeksi HSI za ameriško čepo, velikooko čepo in črnohrbo čepo v določenih življenjskih obdobjih. Pozitivne ali negativne korelacije med drugimi krajinskimi značilnostmi (npr. deležem gozdnih površin) in indeksi HSI niso bile izrazite. Na novo vzpostavljena dolžina vodotoka je dolžina vodotoka, ki je ponovno dostopna ribam, če se jez odstrani. Na novo vzpostavljeno dolžino vodotoka se izračuna kot dolžino vodotoka do naslednjega zaporednega jezov ali do prehoda vodotoka iz 3. reda v 2. red vodotoka po Strahlerju (Strahler, 1952). Npr. jez, ki zajezuje 10 km vodotoka je višje na prednostnem seznamu za odstranitev, kot jez, ki zajezuje 1 km vodotoka. Pri kriteriju oddaljenost od rečnega ustja upoštevamo dolžino oddaljenosti jezov od rečnega ustja (Kocovsky in sod., 2009).

Enačba za predhodno prednostno razvrščanje (angl. preliminary rank removal priority – PRRP) nehidroenergetskih jezov za njihovo odstranitev iz vodotoka je:

$$PRRP = \frac{1}{7} [R_{HSI-vrsta\ 1} + R_{HSI-vrsta\ 2} + R_{HSI-vrsta\ 3} + R_{HSI-vrsta\ 4} + R_{LS} + R_C + R_I] \quad (2)$$

$R_{HSI-vrsta\ 1}$ – prednostno razvrščene vrednosti indeksa HSI za ameriško čepo *Alosa sapidissima* v vseh življenjskih obdobjih za vsak jez

$R_{HSI-vrsta\ 2}$ – prednostno razvrščene vrednosti indeksa HSI za velikooko čepo *Alosa pseudoharengus* v vseh življenjskih obdobjih za vsak jez

$R_{HSI-vrsta\ 3}$ – prednostno razvrščene vrednosti indeksa HSI za črnohrbto čepo *Alosa aestivalis* v vseh življenjskih obdobjih za vsak jez

$R_{HSI-vrsta\ 4}$ – prednostno razvrščene vrednosti indeksa HSI za ameriško jeguljo *Anguilla rostrata* v vseh življenjskih obdobjih za vsak jez

R_{LS} – prednostno razvrščene vrednosti krajinskih značilnosti za vse ribe in vsak jez

R_C – prednostno razvrščene vrednosti za oddaljenosti od rečnega ustja

R_l – prednostno razvrščene vrednosti za dolžino zajezitve

Končno prednostno razvrščanje za odstranitev nehidroenergetskega jezua temelji na vrednosti PRRP in relativnem položaju jezua na vodotoku. Npr. jez z najnižjo vrednostjo PRRP, ki je lociran najbolj dolvodno v porečju, je najvišje na prednostnem seznamu za odstranitev (Kocovsky in sod., 2009).

3.3.6 Avstrijska metoda za prednostno razvrščanje prečnih vodnih zgradb za izboljšanje vzdolžne povezanosti vodotokov

V Avstriji sta Mader in Maier (2008) prednostno razvrstila prečne vodne zgradbe, ki ovirajo selitve rib z namenom, da se v roku 12 let ponovno vzpostavi povezanost vodotokov za nemoteno selitev vodnih organizmov. Za testni primer sta vzela reko Wulka (pregledanih 32 km reke in določenih 28 prečnih vodnih zgradb, ki ovirajo selitve rib), Stooberbach (pregledanih 27 km reke in določenih 30 prečnih vodnih zgradb, ki ovirajo selitve rib), Rabnitz (pregledanih 39 km reke in določenih 54 prečnih vodnih zgradb, ki ovirajo selitve rib), Pinka (pregledanih 42 km reke in 9,6 km pritoka in določenih 42 prečnih vodnih zgradb, ki ovirajo selitve rib). Na vseh rekah sta skupno pregledala 150 km in določila 154 prečnih vodnih zgradb, ki ovirajo selitve rib. Evidentirala sta prečne vodne zgradbe, ki so imele več kot 10 cm razlike med koto zgornje in spodnje vode. Prečne vodne zgradbe sta razdelila v 3 razrede:

- Razred 1: lokalne spremembe struge (npr. stabilizacija struge), ki ne motijo selitve rib.
- Razred 2: selektiven vpliv prečne vodne zgradbe na selitve rib, zaradi spremenjenih pretočnih pogojev in različnih plavalnih sposobnosti rib v različnih življenjskih obdobjih.
- Razred 3: prečne vodne zgradbe z visokimi vertikalnimi višinami, ki popolnoma prekinejo selitve vseh ribjih vrst v vseh življenjskih obdobjih.

Mader in Maier (2008) sta v raziskavi za prednostno razvrščanje prečnih vodnih zgradb za izboljšanje vzdolžne povezanosti vodotokov uporabila tri kriterije:

- pridobljena dolžina rečnega odseka po odstranitvi prečne vodne zgradbe,
- potencialno naravno morfološko stanje (nem. leitbild – vzorčna podoba vodotoka) in ekološko stanje rečnih odsekov in
- stroški in koristi ponovne vzpostavitve vzdolžne povezanosti vodotoka.

Dolžino rečnega odseka po odstranitvi prečne vodne zgradbe merimo od ustja reke do prve prečne vodne zgradbe in nadaljujemo do vsake naslednje prečne vodne zgradbe, ki ovira selitve rib gorvodno po vodotoku. Pomembnost odstranitve prečne vodne zgradbe je odvisna od pridobljene dolžine rečnega odseka po odstranitvi prečne vodne zgradbe, ki ovira selitve rib.

Vzorčno podobo vodotoka opredelimo kot stanje vodotoka, ki je enako zelo dobremu ekološkemu stanju ali referenčnemu stanju pred antropogenimi spremembami. Vzorčno podobo vodotoka uporabljamo za ocenjevanje fizikalno-kemijskih, hidromorfoloških in bioloških elementov. Zelo dobro ekološko stanje vodotoka je definirano kadar vrednosti fizikalno-kemijskih in hidromorfoloških elementov kakovosti za tip vodnega telesa površinske vode niso spremenjene zaradi človekovega vpliva ali pa so te spremembe le zelo majhne v primerjavi z vrednostmi, ki jih običajno povezujemo s tem tipom v razmerah brez motenj. Vrednosti bioloških elementov kakovosti za vodno telo površinske vode odražajo vrednosti, ki jih običajno povezujemo s tem tipom v razmerah brez motenj, in ne kažejo znakov ali kažejo le zelo majhne znake odstopanja. To so za tip značilne razmere in združbe (Direktiva 2000/60/ES). Podatke o vzorčni podobi vodotoka lahko pridobimo na dva načina. Vrednosti fizikalno-kemijskih, hidromorfoloških in bioloških elementov kakovosti ugotovimo direktno v kateremkoli preostalem rečnem odseku brez antropogenih sprememb. Za rečne odseke pod vplivom antropogenih obremenitev uporabimo zgodovinske podatke o vrednostih fizikalno-kemijskih, hidromorfoloških in bioloških elementov kakovosti (Mader in Maier, 2008). Iz komponent vijugavost vodotoka (angl. sinuosity), število zavojev vodotoka na km (angl. bends per km) in koeficienta spremembe širine vodotoka (angl. variation coefficient of the river width) izračunamo vrednost parametra, ki ga uporabimo za vrednotenje ekološkega stanja. Vsak odsek vodotoka opišemo s kombinacijo treh komponent in vrednotimo glede na odstopanje od vzorčne podobe vodotoka, ki ima vrednost 1.

Komponenta vijugavost opisuje odklon vodotoka od ravne linije vodotoka. Vijugavost vodotoka je brezdimenzijska količina, ki jo izračunamo po naslednji enačbi (Mader in Maier, 2008):

$$\text{vijugavost vodotoka} = \frac{(\text{rečna dolžina} - \text{dolžina ravne linije vodotoka})}{\text{dolžina ravne linije vodotoka}} \quad (3)$$

Število zavojev vodotoka na km se zmanjšuje zaradi reguliranja in izravnave vodotokov. Komponenta spremembe rečne širine predstavlja razpoložljivost habitatov za ribe znotraj odsekov vodotoka enake dolžine. Koeficient spremembe širine vodotoka izračunamo iz povprečne širine vodotoka in standardne deviacije širine vodotoka (Mader in Maier, 2008):

$$\text{koeficient spremembe širine vodotoka} = \frac{\text{standardna deviacija širine vodotoka}}{\text{povprečna širina vodotoka}} \quad (4)$$

Stroške različnih ukrepov privzamemo iz stroškov že končanih projektov, ki vključujejo stroške dobave materiala, transporta, strojev in dela. Korist pri obnovi vzdolžne povezanosti vodotoka definiramo s pestrostjo vrst in naravno porazdelitvijo ribjih vrst znotraj rečnega odseka. Bolj kot se poveča število vrst v vodotoku in približa referenčnim razmeram, večja je korist. Pri kriteriju stroški in koristi ponovne vzpostavitve vzdolžne povezanosti vodotoka izračunamo stroškovni faktor za vsako vzorčno mesto in ga navedemo kot odstotek glede na najdražji ukrep. Faktor koristi in stroškov (angl. benefit-cost = BC) se izračuna po enačbi (Mader in Maier, 2008):

$$BC \text{ faktor} = \frac{\text{koristi [\%]}}{\text{stroški [\%]}} \quad (5)$$

Ovrednoteno vrednost pridobljene rečne dolžine za prednostno razvrščanje prečnih vodnih zgradb za izboljšanje vzdolžne povezanosti vodotokov izračunamo po enačbi (Mader in Maier, 2008):

$$WEL_y = [\sum_{i=1...n}(EF_i \times L_i)] \times BC_y \quad (6)$$

WEL_y – ovrednotena vrednost pridobljene rečne dolžine na vzorčnem mestu y

y – vzorčno mesto (število vzorčnih mest = številu prečnih vodnih zgradb)

n – število rečnih odsekov z različnim ekološkim stanjem med dvema prečnima zgradbama

EF_i – ekološki faktor rečnega odseka

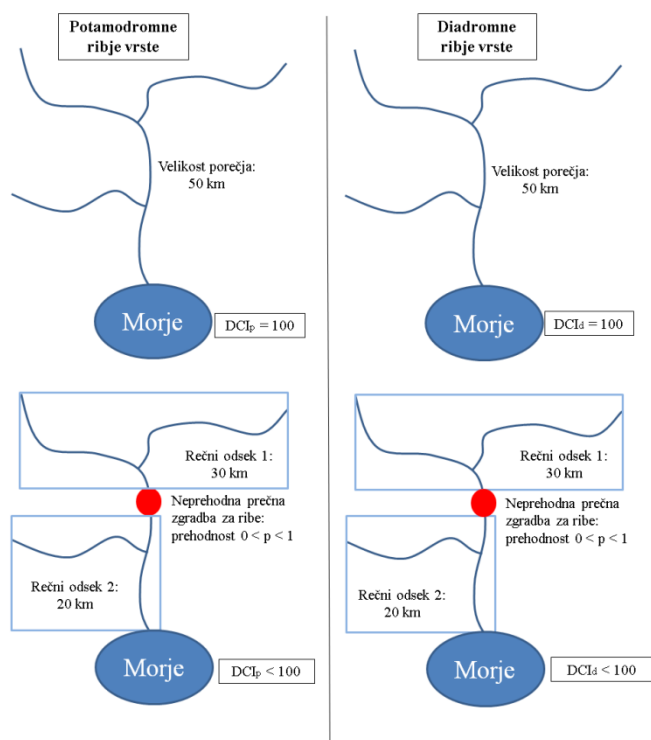
L_i – pridobljena rečna dolžina po odstranitvi prečne vodne zgradbe (km)

BC_y – faktor koristi in stroškov za vzorčno mesto y

3.3.7 Kanadska metoda za prednostno razvrščanje prečnih vodnih zgradb za izboljšanje vzdolžne povezanosti vodotokov

Cote in sod. (2009) so razvili indeks s katerim določimo vzdolžno povezanost rečnih omrežij, ki temelji na verjetnosti, da se ribe lahko prosto gibljejo med dvema naključnima točkama v rečnem omrežju. Kanadska metoda za prednostno razvrščanje prečnih vodnih zgradb za izboljšanje vzdolžne povezanosti vodotokov temelji na indeksu vzdolžne povezanosti vodotoka – indeks DCI (angl. dendritic connectivity index). Z indeksom DCI vrednotimo vpliv prečnih vodnih zgradb na povezanost rečnega omrežja za ribe. Prečne vodne zgradbe, ki se nahajajo blizu rečnih ustij, imajo največji vpliv na diadromne ribe (selijo se v smeri med morjem in celinsko vodo ter obratno), medtem, ko imajo prečne vodne zgradbe v središču rečnih omrežij največji vpliv na potamodromne ribe (selijo se znotraj celinskih voda). Na osnovi selitev rib ločimo indeks vzdolžne povezanosti vodotoka za potamodromne ribe (indeks DCI_p) in indeks vzdolžne povezanosti vodotoka za diadromne ribe (indeks DCI_d). Metoda računanja indeksa DCI_p in DCI_d je konceptualno preprosta in dovolj fleksibilna za obravnavanje strukturnih sprememb vodotokov (linearnih in zelo razvejanih rečnih omrežij) in diadromnih in potamodromnih rib (Cote in sod., 2009).

Odseke vodotoka ustvarijo naravne (npr. slap) ali antropogene prečne vodne zgradbe (npr. jez, prag). Vsaka prečna vodna zgradba ima vrednost prehodnosti za ribe p , ki je odvisna od fizičnih lastnosti prečne vodne zgradbe (npr. višina jez), hidroloških razmer (časovna spremenljivost pretoka), ki jih prečna vodna zgradba ustvarja in plavalnih sposobnosti rib v različnih življenjskih obdobjih, ki živijo v izbranem porečju (Cote in sod., 2009). Rečno omrežje brez prečnih vodnih zgradb, ki ovirajo selitve rib je popolnoma povezano, zato imata indeks DCI_p in indeks DCI_d vrednost 100. Neprehodne prečne vodne zgradbe za ribe zmanjšujejo vrednosti indeksa DCI_p in indeksa DCI_d (Slika 11). Neprehodne prečne vodne zgradbe v središču rečnega omrežja imajo največji vpliv na potamodromne ribe ter s tem na indeks DCI_p , ker predpostavimo, da lahko potamodromne ribe uporabljajo habitat nad ali pod prečno vodno zgradbo ob predpostavki, da sta habitata primerna za preživetje ločenih ribjih populacij. Neprehodne prečne vodne zgradbe v bližini morja pa najbolj vplivajo na diadromne ribe in indeks DCI_d . Razlog, da neprehodne prečne vodne zgradbe v bližini morja najbolj vplivajo na indeks DCI_d je, ker se diadromne ribje vrste selijo iz morja v reke, zato prva neprehodna prečna vodna zgradba diadromnim ribam onemogoči gorvodne selitve po vodotoku (Cote in sod., 2009). Indeksa DCI_p in DCI_d lahko izračunamo za katerokoli velikost rečnega omrežja ali pa samo za del rečnega omrežja. Indeks DCI_p in DCI_d izračunamo s skriptom (Cote in sod., 2009) v programski opremi R (R Development Core Team, 2013). R je brezplačna programska oprema za statistično analizo podatkov in njihov grafični prikaz.



Slika 11: Komponente indeksa DCI_p in DCI_d (Cote in sod., 2009)

Figure 11: Components of the DCI_p and DCI_d index (Cote et al., 2009)

Indeks DCI izračunamo po enačbi (Cote in sod., 2009):

$$DCI = E[C] = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n c_{ij} P(C = c_{ij}) \quad (7)$$

C – naključna diskretna spremenljivka

c_{ij} – realizacija spremenljivke C

i – rečni odsek i

j – rečni odsek j

n – število rečnih odsekov, ki je enako številu prečnih vodnih zgradb plus ena

Indeks DCI_p izračunamo po enačbi (Cote in sod., 2009):

$$DCI_p = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n c_{ij} \frac{l_i l_j}{L} \times 100 \quad (8)$$

c_{ij} – prehodnost prečnih vodnih zgradb za ribe med rečnima odsekoma i in j

l_i – dolžina rečnega odseka i (m)

l_j – dolžina rečnega odseka j (m)

L – skupna dolžina rečnega omrežja (m)

i – rečni odsek i

j – rečni odsek j

n – število rečnih odsekov, ki je enako številu prečnih vodnih zgradb plus ena

Pri izračunu prehodnosti prečnih vodnih zgradb za ribe predpostavimo, da je prehodnost več prečnih vodnih zgradb neodvisna. To pomeni, da prehodnost ene prečne vodne zgradbe ne vpliva na prehodnost, da ista riba, ki je prečkala prvo prečno vodno zgradbo prečka še naslednjo prečno vodno zgradbo. Prehodnost prečnih vodnih zgradb za ribe med rečnima odsekoma i in j izračunamo po enačbi (Cote in sod., 2009):

$$c_{ij} = \prod_{m=1}^M p_m^u p_m^d \quad (9)$$

M – število prečnih vodnih zgradb med rečnima odsekoma i in j

p_m^u – gorvodna prehodnost m -te prečne vodne zgradbe za ribe

p_m^d – dolvodna prehodnost m -te prečne vodne zgradbe za ribe

Če prehodnost prečne vodne zgradbe za ribe ocenimo kot binarno vrednost, to je v primeru, ko sta p_m^u in $p_m^d = 1$ in p_m^u ali $p_m^d = 0$, enačbo za izračun indeksa DCI_p poenostavimo. Sosednji odseki ločeni s popolno prehodnimi prečnimi vodnimi zgradbami so v enačbi združeni, zato so pri izračunu upošteevane samo neprehodne prečne vodne zgradbe. Indeks DCI_p izračunamo po enačbi (Cote in sod., 2009):

$$DCI_p = \sum_{i=1}^n \frac{l_i^2}{L^2} \times 100 \quad (10)$$

l_i – dolžina rečnega odseka i (m)

L – skupna dolžina rečnega omrežja (m)

i – rečni odsek i

j – rečni odsek j

n – število rečnih odsekov in je enako številu prečnih vodnih zgradb plus ena

Pri izračunu indeksa DCI_d predpostavimo, da se ribe lahko selijo v vodotok iz ene same točke, to je iz rečnega ustja in nazaj. V enačbi za izračun indeksa DCI_d upoštevamo verjetnost, da se riba lahko seli v obe smeri med rečnim ustjem in drugim odsekom rečnega omrežja. Predpostavimo, da je verjetnost prečkanja zaporednih prečnih vodnih zgradb neodvisna. Indeks DCI_d izračunamo po enačbi (Cote in sod., 2009):

$$DCI_d = \sum_{i=1}^n \frac{l_i}{L} \left(\prod_{m=1}^M p_m^u p_m^d \right) \times 100 \quad (11)$$

l_i – dolžina rečnega odseka i (m)

L – skupna dolžina rečnega omrežja (m)

M – število prečnih vodnih zgradb med rečnima odsekoma i in j

p_m^u – gorvodna prehodnost m -te prečne vodne zgradbe za ribe

p_m^d – dolvodna prehodnost m -te prečne vodne zgradbe za ribe

Če prehodnost prečne vodne zgradbe za ribe ocenimo kot binarno vrednost, to je v primeru, ko sta p_m^u in $p_m^d = 1$ in p_m^u ali $p_m^d = 0$, enačbo za izračun indeksa DCI_d poenostavimo (Cote in sod., 2009):

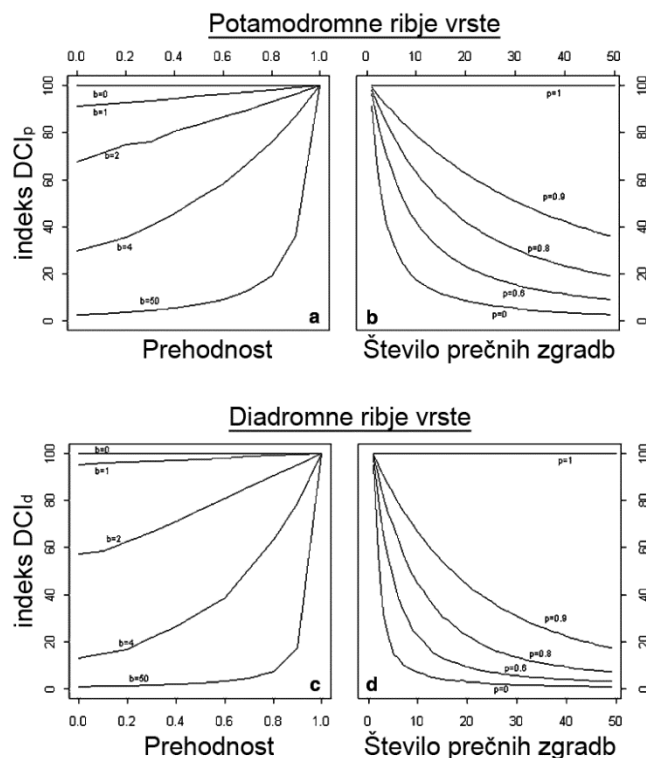
$$DCI_D = \frac{l_1}{L} \times 100 \quad (12)$$

l_1 – dolžina rečnega odseka, ki je najbližje rečnemu ustju (m)

L – skupna dolžina rečnega omrežja (m)

V rečnem sistemu so poleg antropogenih prečnih vodnih zgradb lahko prisotne še naravne prečne vodne zgradbe (npr. slap), ki vplivajo na selitve rib. Naravne prečne vodne zgradbe predstavljajo absolutno stanje naravne povezanosti vodotoka. V realnem primeru rečnega omrežja je treba ločiti učinek antropogenih prečnih vodnih zgradb od naravnih prečnih vodnih zgradb (Cote in sod., 2009). Pri pripravi podatkov za izračun indeksa DCI definiramo ali gre za naravno ali antropogeno prečno vodno zgradbo.

Indeks DCI na simuliranem rečnem omrežju z neodvisnimi prečnimi vodnimi zgradbami, ki onemogočajo selitve rib upada z večanjem števila prečnih vodnih zgradb (Slika 12). Vrednosti indeksa DCI najbolj upadejo pri dodajanju prvih nekaj neprehodnih prečnih vodnih zgradb za ribe v rečno omrežje. Lastnost indeksa DCI je tudi ta, da je pri sistemih sestavljenih iz mnogih neodvisnih prečnih vodnih zgradb, ki so neprehodne za ribe, večja povezanost dosežena z majhnimi izboljšavami na prečnih vodnih zgradbah. Npr. večji učinek dosežemo z izboljšanjem prehodnosti prečne vodne zgradbe za ribe iz zmerne v dobro kot pa z izboljšanjem prehodnosti prečne vodne zgradbe iz slabe v zmerno prehodnost (Cote in sod., 2009).



Slika 12: Učinek prehodnosti in števila prečnih vodnih zgradb na indeks DCI za potamodromne in diadromne ribe (Cote in sod., 2009: str. 107)

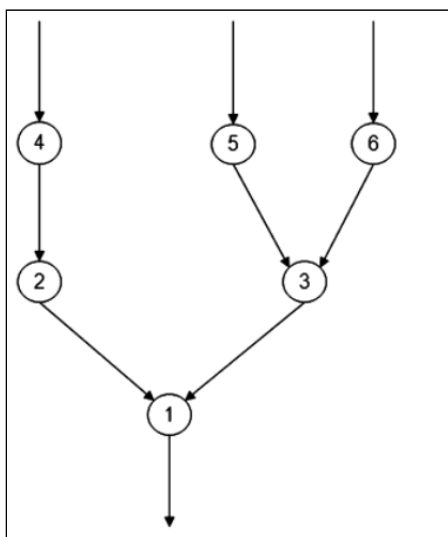
Figure 12: The effects of passability and number of transverse river structures on DCI index for potamodromous and diadromous fish (Cote et al., 2009: p. 107)

Na sliki so prikazana razmerja med indeksom DCI in prehodnostjo prečnih vodnih zgradb za ribe za različna števila prečnih vodnih zgradb v vodotoku (Slika 12a, c) ter med indeksom DCI in številom prečnih vodnih zgradb pri različnih vrednostih prehodnosti prečnih vodnih zgradb (Slika 12b, d) za potamodromne in diadromne ribje vrste. Omenjena razmerja veljajo za razvejana rečna omrežja, kjer prečne vodne zgradbe smatramo za neodvisne (Cote in sod., 2009). Večje kot je število neprehodnih prečnih vodnih zgradb za ribe v rečnem omrežju, manjša je vrednost indeksa DCI za potamodromne in diadromne ribje vrste in večja kot je prehodnost prečnih vodnih zgradb za ribe, večja je vrednost indeksa DCI za potamodromne in diadromne ribe.

3.3.8 Druge metode za prednostno razvrščanje prečnih vodnih zgradb za izboljšanje vzdolžne povezanosti vodotokov

Ena od metod za prednostno razvrščanje prečnih vodnih zgradb za izboljšanje vzdolžne povezanosti vodotokov je metoda naprednega modeliranja in tehnika optimiziranja odstranjevanja prečnih vodnih zgradb, ki popolnoma ali delno ovirajo selitve rib. Z metodo naprednega modeliranja in optimiziranja odstranjevanja prečnih vodnih zgradb določamo velikost za ribe dostopnega habitata v vodotoku v

odvisnosti od stroškov. Prečne vodne zgradbe v modelu so razvrščene kot drevesno omrežje (angl. tree network). Vozlišča v drevesnem omrežju predstavljajo prečne vodne zgradbe, krogi in puščice pa označujejo območja rečnega habitata med prečnimi vodnimi zgradbami in smer toka (Slika 13). Model vključuje tudi vzdolžno povezanost vodotokov za ribe, ki je omejena s prehodnostjo prečnih vodnih zgradb. Skupno prehodnost prečnih vodnih zgradb za ribe določimo z množenjem vseh posameznih prehodnosti prečnih vodnih zgradb ob predpostavki, da so vrednosti prehodnosti prečnih vodnih zgradb neodvisne (Kemp in O'Hanley, 2010).



Slika 13: Drevesno omrežje (Kemp in O'Hanley, 2010: str. 303)

Figure 13: Tree network (Kemp and O'Hanley, 2010: p. 303)

Pri metodi modeliranja prednostnega odstranjevanja hidroenergetskih pregrad uporabljamo mešani, celoštevilski linearni program (angl. mixed-integer linear programme – MILP). V modelu obravnavamo prehodnost prečnih vodnih zgradb za ribe na binaren način (0 ali 1 oz. neprehodna ali prehodna prečna vodna zgradba za ribe). Binarna obravnava prečnih vodnih zgradb omejuje uporabnost metode, ker se ne moremo natančno opredeliti do prečnih vodnih zgradb, ki delno ovirajo selitve rib. Z metodo modeliranja prednostnega odstranjevanja hidroenergetskih pregrad iščemo rešitve med izboljšavami vzdolžne povezanosti vodotoka za ribe in stroški odstranjevanja hidroenergetskih pregrad ter posledične izgube hidroenergetske proizvodnje. Model zagotavlja mehanizem za vrednotenje alternativ prednostnega odstranjevanja hidroenergetskih pregrad v procesu upravljanja voda (Kemp in O'Hanley, 2010).

Za porečje reke Kolumbija so strokovnjaki razvili metodo optimizacijskega modeliranja za iskanje najcenejših rešitev odstranjevanja prečnih vodnih zgradb v porečju reke Kolumbija. Odstranjevanje prečnih vodnih zgradb je povezano še z drugimi vrstami obnov vodotokov, delovanjem jezov, ukrepi za nadzor plenjenja lososov in določanjem kvot izlova lososov. Učinke odstranjevanja prečnih vodnih

zgradb in drugih omilitvenih ukrepov na dolgoročno dinamiko populacije lososov ocenijo z uporabo determinističnih simulacijskih modelov življenjskega obdobja lososov. Optimizacijsko modeliranje je omejeno in na splošno neuporabno kot orodje za prednostno razvrščanje prečnih vodnih zgradb za njihovo odstranitev iz vodotoka zaradi dolgih simulacij izračunov za vse mogoče kombinacije odstranjevanja prečnih vodnih zgradb (Kemp in O'Hanley, 2010).

Zheng in sodelavci (2009) so razširili uporabo optimizacijskega modeliranja za odstranjevanje prečnih vodnih zgradb. Razvili so mešani, celoštevilski linearni program za optimiziranje kombinacij ekoloških in socio-ekonomskih ciljev, stroškov odstranjevanja prečnih vodnih zgradb in upravljanja z invazivnimi ribami. V modelu upoštevajo različna porečja, ribe, stroške odstranitve prečne vodne zgradbe in vplive odstranitve prečne vodne zgradbe na ekosistem in dinamiko rib. Ekološke učinke odstranjevanja prečnih vodnih zgradb modelirajo z uporabo habitatnih modelov za ribe v povezavi z ekosistemskimi modeli na osnovi združb (Kemp in O'Hanley, 2010).

V Nemčiji so strokovnjaki razvili metodo za prednostno razvrščanje prečnih vodnih zgradb za izboljšanje vzdolžne povezanosti vodotokov, ki je podprta z zahtevami vodne direktive. Metodologija ocenjevanja prečnih vodnih zgradb v posameznih porečjih je podlaga za vrednotenje ekološkega stanja voda. Prehodnost prečnih vodnih zgradb za ribe ocenjujejo na osnovi treh kriterijev: (1) prehodnost prečne vodne zgradbe za ribe, (2) atrakcija ribjega prehoda, če je prisoten in (3) učinkovitost ribjega prehoda pri prehajanju rib. Gorvodne selitve rib so možne, če obstaja vsaj ena pot po kateri se lahko ribe selijo čez prečno vodno zgradbo. Dolvodno prehajanje rib čez prečne vodne zgradbe v različnih življenjskih obdobjih rib lahko poteka v primeru, ko obstaja prosta pot, pri kateri ribe ostanejo nepoškodovane. Z metodo za prednostno razvrščanje prečnih vodnih zgradb presojava ali območja vodotoka dosegajo dobro ekološko stanje skladno z vodno direktivo in prehodnostjo prečne vodne zgradbe v gorvodni in dolvodni smeri. Ključni element metodologije za razvrščanje vplivov prečnih vodnih zgradb na ekološko stanje je upoštevanje dolžine odsekov vodotoka med prečnimi vodnimi zgradbami (Kemp in O'Hanley, 2010).

4 TESTNI PRIMER UPORABE KANADSKE METODE ZA PREDNOSTNO RAZVRŠČANJE PREČNIH VODNIH ZGRADB ZA IZBOLJŠANJE VZDOLŽNE POVEZANOSTI VODOTOKOV

4.1 Splošno

Kanadsko metodo za prednostno razvrščanje prečnih vodnih zgradb za izboljšanje vzdolžne povezanosti vodotokov smo izbrali za testiranje in za vrednotenje prečnih vodnih zgradb na porečju Sore. Metodo smo izbrali zaradi njene uporabnosti in podatkov, ki so potrebni za izračun indeksa DCI. Za izračun indeksa DCI potrebujemo podatke o dolžinah vodotoka med posameznimi prečnimi vodnimi zgradbami v vodotoku, celotni dolžini vodotoka in gorvodni in dolvodni prehodnosti prečnih vodnih zgradb za ribe.

4.2 Izračun indeksa DCI v programu R

Za izračun indeksa DCI v programu R potrebujemo skript in 3 datoteke formata ".csv" (Preglednica 8). Vhodne datoteke ".csv" smo ustvarili v programu Notepad. Naslovi stolpcev v datotekah ".csv" morajo imeti enaka imena, kot so predvideli avtorji, zaradi pravilnega delovanja skripta, ki izvršuje računske operacije na podlagi imen datotek in imen stolpcev v datotekah (Cote, 2012).

Za izračun indeksa DCI moramo upoštevati sledeča pravila (Cote, 2012):

- za izračunu indeksa DCI_d , rečni odsek, najbližje morju ali na sotočju vodotokov označimo z 1;
- datoteke, ki jih uporabimo za izračun indeksa DCI moramo shraniti v isti mapi;
- imena datotek in stolpcev v datoteki ".csv" morajo biti skladna z navodili (Preglednica 8);
- datoteke, ki se končajo s končnico ".r" so skripti v R.

Za izračun indeksa DCI smo v R namestili pakete RBGL in Graph, Rgraphviz, Combinat (The fish passage extension, 2011; Cote, 2012). Paket Rgraphviz smo zamenjali z delujočim paketom RGraphics. Za ustrezno delovanje skript smo skripte spremenili in paket Rgraphviz zamenjali s paketom RGraphics. Shematski prikaz situacije porečja in izračun posameznih dolžin rečnih odsekov smo naredili s programom ArcMap v. 10.1 (ARCMAP, 2013). Za izračun indeksa DCI smo uporabili ".r" datoteko "dci.fxs.r" (Slika 14).

Preglednica 8: Opis vhodnih podatkov za izračun indeksa DCI (Cote, 2012; Cote in sod., 2009)

Table 8: Description of the input data for the calculation of the DCI index (Cote, 2012; Cote et al., 2009)

Ime datoteke	Imena stolpcev v datoteki	Opis
barrier.csv	Pass, Bar_ID, Seg_ID, nat_barrier	V stolpcu z imenom "Pass" definiramo prehodnost prečne vodne zgradbe za ribe z vrednostmi med 0 in 1 (0 = neprehodna prečna vodna zgradba, 1 = popolnoma prehodna prečna vodna zgradba). V stolpcu "Bar_ID" označimo prečne vodne zgradbe (npr. prvo prečno vodno zgradbo gorvodno od sotočja označimo z A, drugo z B, itd.). V stolpcu "Segment_ID" definiramo številko rečnega odseka med dvema zaporednima prečnima zgradbama. V stolpcu "nat_barrier" definiramo ali gre za naravno ali umetno ustvarjeno prečno vodno zgradbo.
length.csv	Seg_ID, Shape_Length	V stolpcu "Segment_ID" definiramo številko rečnega odseka med dvema zaporednima prečnima zgradbama. V stolpcu "Shape_Length" definiramo razdaljo rečnih odsekov.
segment_matrix.csv	Seg_ID, Seg	V datoteki "segment_matrix.csv" definiramo medsebojna razmerja med posameznimi (mejnimi) rečnimi odseki. V stolpcu "Segment_ID" definiramo številko rečnega odseka med dvema zaporednima prečnima zgradbama. V stolpcu "Seg" pa definiramo mejne rečne odseke.

```

RGui - [R Console]
File Edit View Misc Packages Windows Help

R version 2.11.1 (2010-05-31)
Copyright (C) 2010 The R Foundation for Statistical Computing
ISBN 3-900051-07-0

R is free software and comes with ABSOLUTELY NO WARRANTY.
You are welcome to redistribute it under certain conditions.
Type 'license()' or 'licence()' for distribution details.

R is a collaborative project with many contributors.
Type 'contributors()' for more information and
'citation()' on how to cite R or R packages in publications.

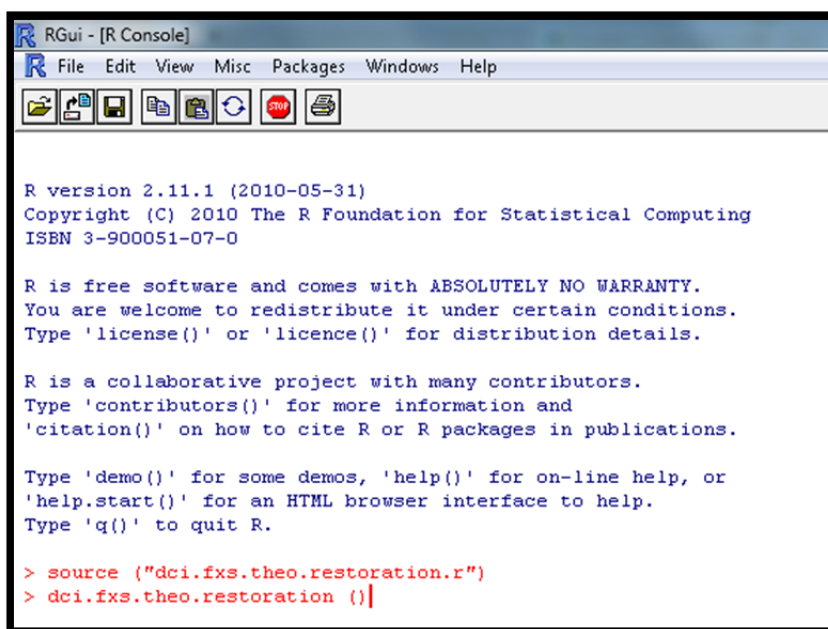
Type 'demo()' for some demos, 'help()' for on-line help, or
'help.start()' for an HTML browser interface to help.
Type 'q()' to quit R.

> source("dci.fxs.r")
> dci.fxs ()
  
```

Slika 14: Ukaz v R za izračun indeksa DCI

Figure 14: The command in R for calculating the DCI index

S skriptom "dci.fxs.theo.restoration.r" smo v R izračunali teoretična indeksa DCI_p in DCI_d za vsako prečno vodno zgradbo v vodotoku (Slika 15). V algoritmu za izračun teoretičnega indeksa DCI je predpostavljeno, da je prečna vodna zgradba za katero računamo teoretični indeks DCI 100 % prehodna za ribe. Najvišji teoretični indeks DCI za prečno vodno zgradbo pomeni, da ta prečna vodna zgradba najbolj vpliva na selitve rib in da jo je treba prednostno obravnavati pri obnovah vodotokov. Teoretični indeks DCI uporabljamo pri razvrščanju prečnih vodnih zgradb za izboljšanje vzdolžne povezanosti vodotokov za ribe (Cote, 2012; Cote in sod., 2009).



```
RGui - [R Console]
File Edit View Misc Packages Windows Help

R version 2.11.1 (2010-05-31)
Copyright (C) 2010 The R Foundation for Statistical Computing
ISBN 3-900051-07-0

R is free software and comes with ABSOLUTELY NO WARRANTY.
You are welcome to redistribute it under certain conditions.
Type 'license()' or 'licence()' for distribution details.

R is a collaborative project with many contributors.
Type 'contributors()' for more information and
'citation()' on how to cite R or R packages in publications.

Type 'demo()' for some demos, 'help()' for on-line help, or
'help.start()' for an HTML browser interface to help.
Type 'q()' to quit R.

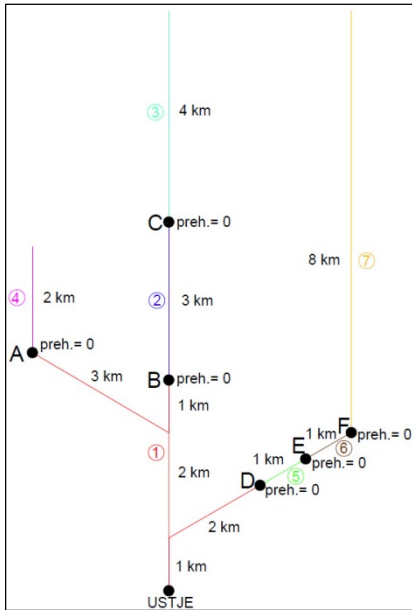
> source ("dci.fxs.theo.restoration.r")
> dci.fxs.theo.restoration ()
```

Slika 15: Ukaz v R za izračun teoretičnega indeksa DCI

Figure 15: The command in R for calculating the theoretical DCI index

4.3 Izračun indeksa DCI v primeru rečnega omrežja s šestimi prečnimi vodnimi zgradbami, ki so neprehodne za ribe

Za lažje razumevanje delovanja skript za izračun indeksa DCI v R, smo si za primer izbrali rečno mrežo s šestimi prečnimi vodnimi zgradbami, ki so neprehodne za ribe ($p = 0$). Slika 16 prikazuje prečne vodne zgradbe (A, B, C, itd.), rečne segmente (številke v krogcih), dolžine segmentov v km in prehodnost prečnih vodnih zgradb za ribe. Izračunali smo indeksa DCI_p in DCI_d v Microsoft Office programu Excel z upoštevanjem enačbe (10) in enačbe (12), ki jih predlagajo Cote in sod. (2009). Izračunane vrednosti indeksa DCI_p in DCI_d v Excelu so enake kot vrednosti DCI_p in DCI_d , ki smo jih izračunali v R v. 2.11.1.



Slika 16: Primer rečne mreže z neprehodnimi prečnimi vodnimi zgradbami za ribe

Figure 16: An example of river network with transverse river structures impassable for fish

$$DCIp = \frac{(9^2+3^2+4^2+2^2+1^2+1^2+8^2)}{28^2} \times 100 = 22,45 \quad (13)$$

$$DCId = \frac{9}{28} \times 100 = 32,1428 \quad (14)$$

$$teoA DCIp = \frac{((9+2)^2+3^2+4^2+1^2+1^2+8^2)}{28^2} \times 100 = 27,04 \quad (15)$$

$$teoB DCIp = \frac{((9+3)^2+4^2+2^2+1^2+1^2+8^2)}{28^2} \times 100 = 29,34 \quad (16)$$

$$teoC DCIp = \frac{(9^2+(3+4)^2+2^2+1^2+1^2+8^2)}{28^2} \times 100 = 25,51 \quad (17)$$

$$teoD DCIp = \frac{((9+1)^2+3^2+4^2+2^2+1^2+8^2)}{28^2} \times 100 = 24,74 \quad (18)$$

$$teoE DCIp = \frac{(9^2+3^2+4^2+2^2+(1+1)^2+8^2)}{28^2} \times 100 = 22,70 \quad (19)$$

$$teoF DCIp = \frac{(9^2+3^2+4^2+2^2+1^2+(1+8)^2)}{28^2} \times 100 = 24,49 \quad (20)$$

$$teoA DCId = \frac{(9+2)}{28} \times 100 = 39,29 \quad (21)$$

$$teoB DCId = \frac{(9+3)}{28} \times 100 = 42,86 \quad (22)$$

$$teoC DCId = \frac{9}{28} \times 100 = 32,14 \quad (23)$$

$$teoD DCId = \frac{(9+1)}{28} \times 100 = 35,71 \quad (24)$$

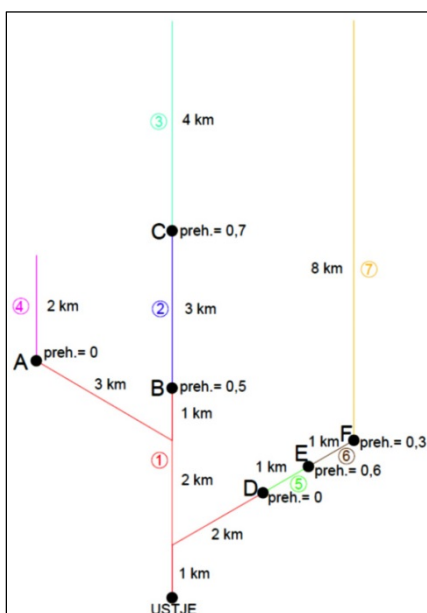
$$teoE DCId = \frac{9}{28} \times 100 = 32,14 \quad (25)$$

$$teoF DCId = \frac{9}{28} \times 100 = 32,14 \quad (26)$$

Za potamodromne in diadromne ribe je najbolj pomembna prečna vodna zgradba z oznako B (teoB $DCI_p = 29,34$; teoB $DCI_d = 42,86$). Vzpostavitev prehodnosti za ribe na prečni vodni zgradbi B bi najbolj pozitivno vplivala na potamodromne in diadromne ribe.

4.4 Izračun indeksa DCI v primeru rečnega omrežja s šestimi prečnimi vodnimi zgradbami, ki imajo različno prehodnost za ribe

Za rečno omrežje s šestimi prečnimi vodnimi zgradbami z različnimi vrednostmi prehodnosti za ribe ($0 \leq p \leq 1$) (Slika 17) smo izračunali indeksa DCI_p in DCI_d v Excelu z enačbami (8) in (11) (Cote in sod., 2009) in dobili enake rezultate kot v R v. 2.11.1 (Preglednica 11). Za različno prehodne prečne vodne zgradbe za ribe smo izračunali največjo vrednost teoretičnega indeksa DCI_p in DCI_d za prečno vodno zgradbo D. V nadaljevanju prikazujemo samo potek izračuna indeksov DCI_p in DCI_d v Excelu. Izračun teoretičnega indeksa DCI_p in DCI_d je podoben izračunu indeksa DCI_p in DCI_d , razlika je le v tem, da za prečno vodno zgradbo za katero teoretični indeks DCI računamo, predpostavimo, da je 100 % prehodna za ribe.



Slika 17: Primer rečne mreže z različno prehodnimi prečnimi vodnimi zgradbami za ribe

Figure 17: An example of river network with transverse river structures with different passability for fish

Preglednica 9: Izračun indeksa DCI_p po rečnih odsekihTable 9: Calculation of DCI_p index according to river segments

Rečni odsek	$l_{\text{prvi odsek}}$ (km)	$l_{\text{drugi odsek}}$ (km)	$l_{\text{prvi odsek}} \times l_{\text{drugi odsek}}$ (km ²)	Prečne vodne zgradbe med rečnimi odseki	Produkt vseh prehodnosti prečnih vodnih zgradb	Zmnožek produkta dolžin in produkta prehodnosti prečnih vodnih zgradb
1-1	9	9	81	ni prečnih vodnih zgradb	1	81
1-2	9	3	27	B	0,5	13,5
1-3	9	4	36	B, C	0,35	12,6
1-4	9	2	18	A	0	0
1-5	9	1	9	D	0	0
1-6	9	1	9	D, E	0	0
1-7	9	8	72	D, E, F	0	0
2-1	3	9	27	B	0,5	13,5
2-2	3	3	9	ni prečnih vodnih zgradb	1	9
2-3	3	4	12	C	0,7	8,4
2-4	3	2	6	A, B	0	0
2-5	3	1	3	B, D	0	0
2-6	3	1	3	B, D, E	0	0
2-7	3	8	24	B, D, E, F	0	0
3-1	4	9	36	C, B	0,35	12,6
3-2	4	3	12	C	0,7	8,4
3-3	4	4	16	ni prečnih vodnih zgradb	1	16
3-4	4	2	8	C, B, A	0	0
3-5	4	1	4	C, B, D	0	0
3-6	4	1	4	C, B, D, E	0	0
3-7	4	8	32	C, B, D, E, F	0	0
4-1	2	9	18	A	0	0
4-2	2	3	6	A, B	0	0
4-3	2	4	8	A, B, C	0	0
4-4	2	2	4	ni prečnih vodnih zgradb	1	4
4-5	2	1	2	A, D	0	0
4-6	2	1	2	A, D, E	0	0
4-7	2	8	16	A, D, E, F	0	0
5-1	1	9	9	D	0	0
5-2	1	3	3	D, B	0	0
5-3	1	4	4	D, B, C	0	0
5-4	1	2	2	D, A	0	0
5-5	1	1	1	ni prečnih vodnih zgradb	1	1
5-6	1	1	1	E	0,6	0,6
5-7	1	8	8	E, F	0,18	1,44
6-1	1	9	9	E, D	0	0
6-2	1	3	3	E, D, B	0	0
6-3	1	4	4	E, D, B, C	0	0
6-4	1	2	2	E, D, A	0	0
6-5	1	1	1	E	0,6	0,6
6-6	1	1	1	ni prečnih vodnih zgradb	1	1
6-7	1	8	8	F	0,3	2,4
7-1	8	9	72	F, E, D	0	0
7-2	8	3	24	F, E, D, B	0	0
7-3	8	4	32	F, E, D, B, C	0	0
7-4	8	2	16	F, E, D, A	0	0
7-5	8	1	8	F, E	0,18	1,44
7-6	8	1	8	F	0,3	2,4
7-7	8	8	64	ni prečnih vodnih zgradb	1	64
Vsota						253,88
DCI_p (vsota/L ²)						32,38

Preglednica 10: Izračun indeksa DCI_d po rečnih odsekih

Table 10: Calculation of DCI_d index according to river segments

Rečni odsek	$I_{\text{prvi odsek (km)}}$	$I_{\text{drugi odsek (km)}}$	Prečne vodne zgradbe med odseki	Produkt vseh prehodnosti prečnih vodnih zgradb gorvodno	Produkt dolžine drugega odseka in prehodnosti prečnih vodnih zgradb gorvodno
1-1	9	9	ni prečnih vodnih zgradb	1	9
1-2	9	3	B	0,5	1,5
1-3	9	4	B, C	0,35	1,4
1-4	9	2	A	0	0
1-5	9	1	D	0	0
1-6	9	1	D, E	0	0
1-7	9	8	D, E, F	0	0
Vsota					11,9
DCI_d (vsota/L)					42,5

Preglednica 11: Vrednosti indeksa DCI_p in DCI_d in teoretičnega indeksa DCI_p in DCI_d (teo DCI_p in teo DCI_d)

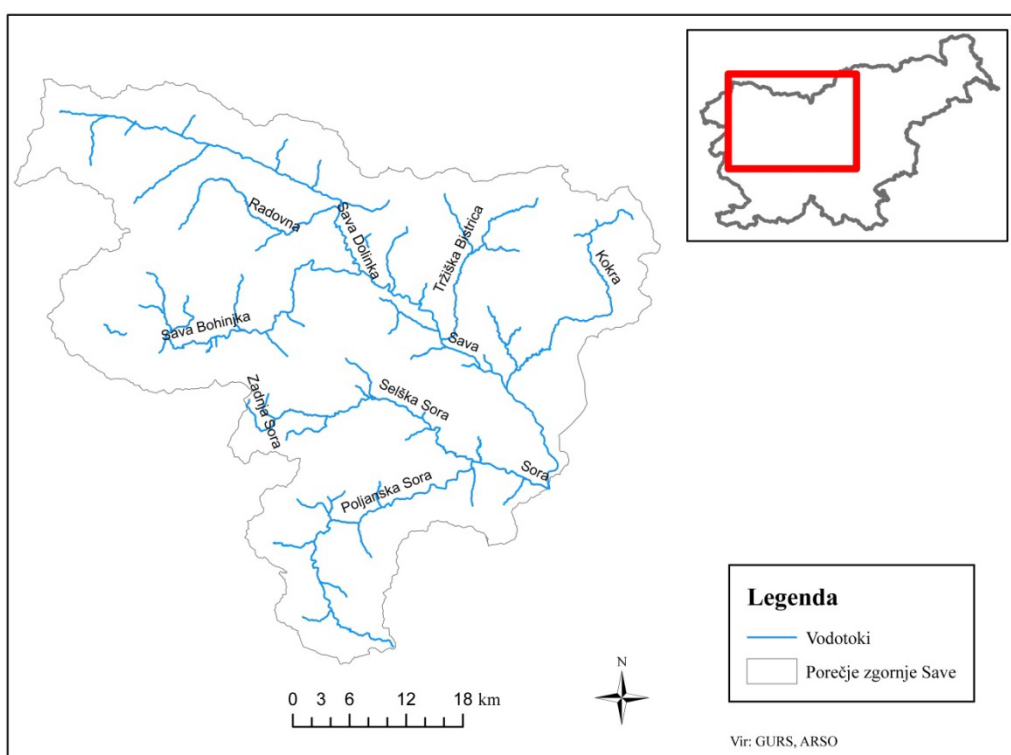
Table 11: Values for DCI_p and DCI_d index and theoretical DCI_p and DCI_d index (teo DCI_p in teo DCI_d)

$DCI_p = 32,38$	$DCI_d = 42,50$
teoA $DCI_p = 38,45$	teoA $DCI_d = 49,64$
teoB $DCI_p = 39,04$	teoB $DCI_d = 52,86$
teoC $DCI_p = 34,68$	teoC $DCI_d = 44,64$
teoD $DCI_p = 41,61$	teoD $DCI_d = 53,36$
teoE $DCI_p = 32,73$	teoE $DCI_d = 42,50$
teoF $DCI_p = 34,67$	teoF $DCI_d = 42,50$

5 PREDNOSTNO RAZVRŠČANJE PREČNIH VODNIH ZGRADB ZA IZBOLJŠANJE VZDOLŽNE POVEZANOSTI VODOTOKOV NA POREČJU SORE

5.1 Opis območja

Porečje Sore je del porečja zgornje Save, ki spada v donavsko vodno območje. Porečje zgornje Save opredelimo od izvira Save Dolinke in Save Bohinjke do Sotočja Save in Sore, vključno s Soro, ki zajema Selško Soro, Zadnjo Soro, Poljansko Soro in Soro (Problematika vodnega ..., 2007; Načrt upravljanja voda za vodni območji Donave in Jadranskega morja 2009-2015, 2011).



Slika 18: Porečje zgornje Save

Figure 18: Upper Sava river basin

Površina porečja zgornje Save znaša 2171,5 km², kar predstavlja 10,7 % površine Slovenije. Dolžina vseh vodotokov na porečju zgornje Save znaša 3221,7 km, kar predstavlja 10,9 % vodotokov Slovenije (Problematika vodnega ..., 2007). Obravnavano območje Zadnje Sore, Selške Sore, Poljanske Sore in Sore je skupaj dolgo 92 km. Najdaljša med vsemi je Poljanska Sora s 43,1 km, sledijo ji Selška Sora s 32,8 km, Sora s 9,4 km in Zadnja Sora s 6,6 km (Problematika vodnega ..., 2007).

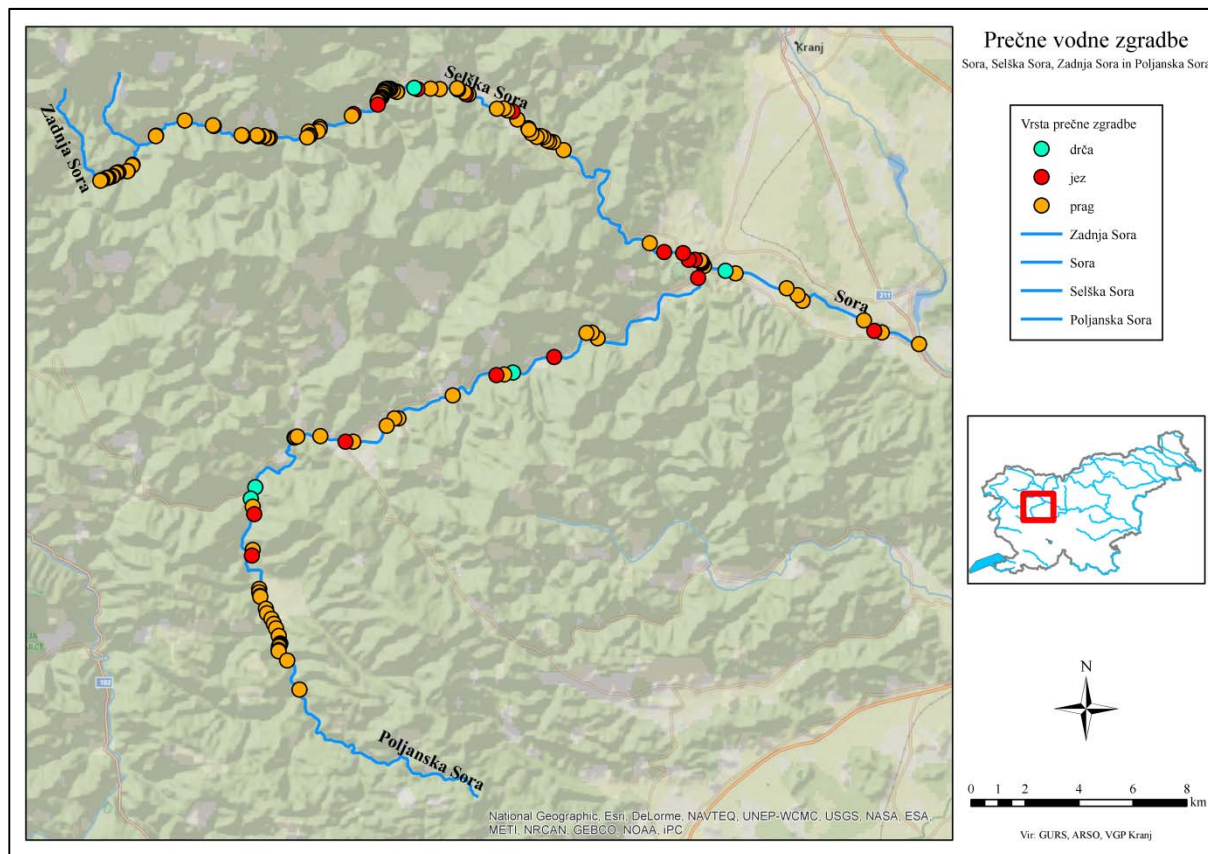
Porečje Sore z glavnimi rekami Soro, Selško Soro, Zadnjo Soro in Poljansko Soro leži v hribovitem svetu zahodne Slovenije. Reke so hudourniškega značaja, saj je za to območje značilno veliko padavin

in strma pobočja ter velik delež malo prepustnih kamnin. V času deževja reke Selška Sora, Zadnja Sora in Poljanska Sora v zgornjem toku hitro narastejo, povečane količine vode nato potujejo do izliva Sore v Savo dolvodno od Zbiljskega jezera. Za porečje Sore so značilne pogoste poplave. Zadnje katastrofalne poplave so bile 18. septembra 2007 (Komac in sod., 2008).

5.2 Prečne vodne zgradbe na porečju Sore

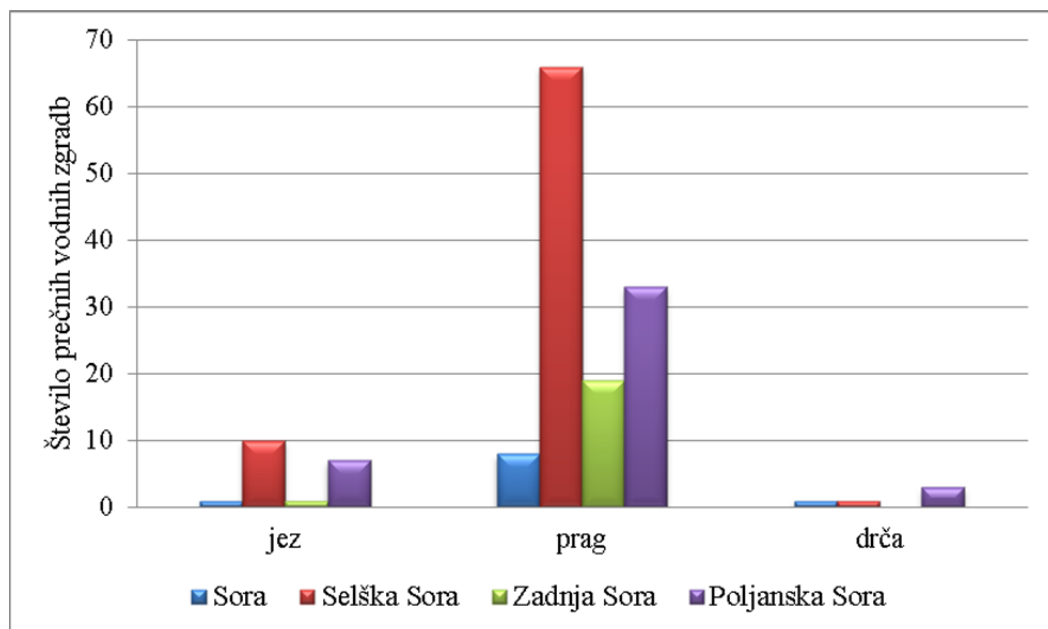
Podatke o prečnih vodnih zgradbah (npr. vrsta, lokacija, višina, letnica izgradnje) smo pridobili od Vodnogospodarskega podjetja d.d. iz Kranja (podatke so nam posredovali 27.3.2012 in 25.4.2012). Posredovali so nam podatke o prečnih vodnih zgradbah za Savo Dolinko, Savo Bohinjko, Savo do Medvod, Tržiško Bistrico, Kokro, Soro, Selško Soro, Zadnjo Soro in Poljansko Soro (Prečne vodne zgradbe na porečju Selške Sore, Poljanske Sore in Sore, 2012). V magistrskem delu smo uporabili podatke o lokacijah in višini prečnih vodnih zgradb na Sori, Selški Sori, Zadnji Sori in Poljanski Sori. Podatke o prečnih vodnih zgradbah in njihovih višinah smo dopolnili s podatki, ki smo jih izmerili na terenu in podatki iz katastra vodnogospodarskih objektov in naprav v splošni in posebni rabi (Poljanska Sora – kataster vodnogospodarskih objektov in naprav v splošni in posebni rabi, 1995). Poleg tega smo si na terenu ogledali vse večje prečne vodne zgradbe (jezove in pragove).

Na porečju Selške Sore, Zadnje Sore, Poljanske Sore in Sore je evidentiranih 19 jezov, 126 pragov in 5 drč (Slika 19 in Slika 20) (PRILOGA A: Podatki o prečnih vodnih zgradbah v porečju Sore). Z izjemo drč, za katere smo predpostavili, da ne ovirajo selitve rib, prečne vodne zgradbe (pragovi in jezovi) lahko ovirajo selitve rib. Najbolj obremenjena s prečnimi vodnimi zgradbami je Selška Sora, na kateri smo evidentirali 77 prečnih vodnih zgradb, od tega 10 jezov, 66 pragov in 1 drčo. Glede na stopnjo obremenjenosti s prečnimi vodnimi zgradbami ji sledi Poljanska Sora na kateri smo evidentirali 43 prečnih vodnih zgradb, od tega 7 jezov, 33 pragov in 3 drče. Na Zadnji Sori smo evidentirali 1 jez in 19 pragov, na Sori pa smo evidentirali 1 jez, 8 pragov in 1 drčo.



Slika 19: Vrste prečnih vodnih zgradb na Sori, Selški Sori, Zadnji Sori in Poljanski Sori

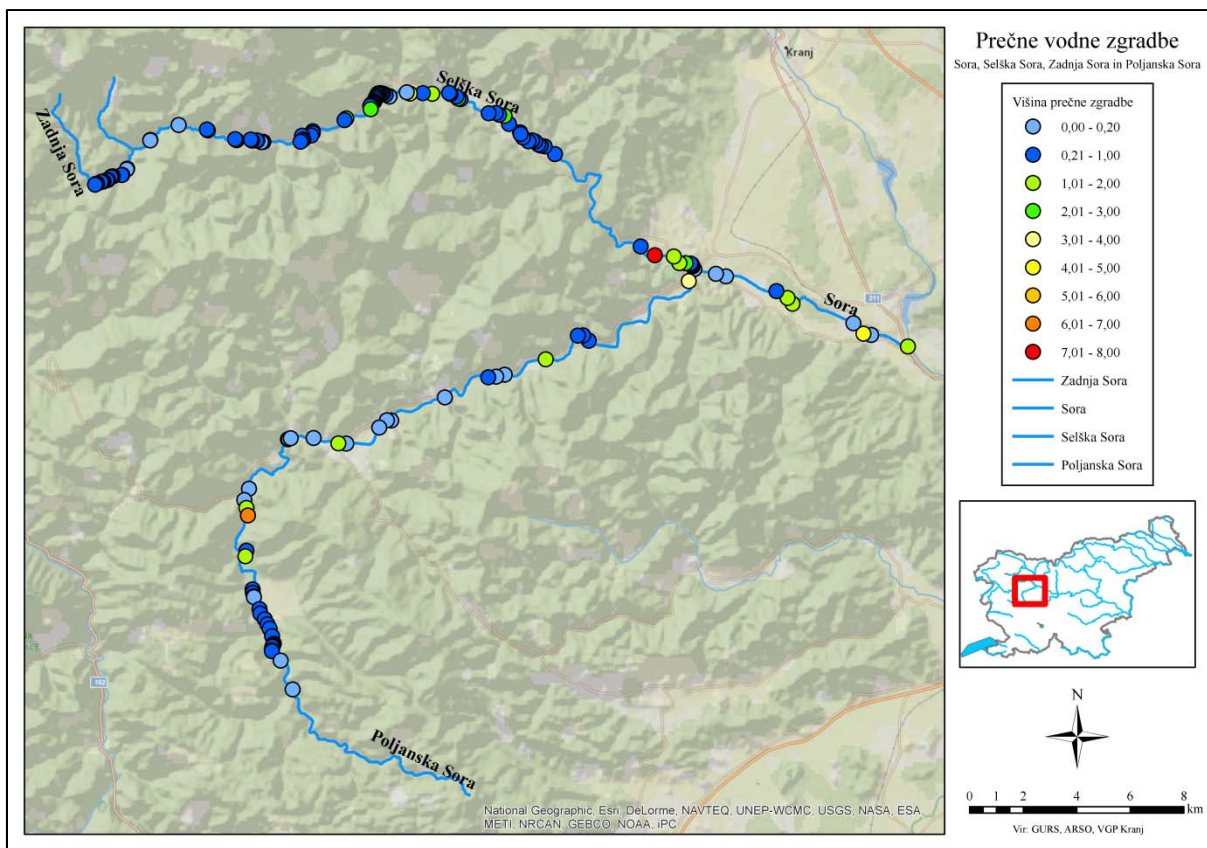
Figure 19: The types of transverse river structures on Sora, Selška Sora, Zadnja Sora and Poljanska Sora Rivers



Slika 20: Vrste in število prečnih vodnih zgradb na Sori, Selški Sori, Zadnji Sori in Poljanski Sori

Figure 20: The types and number of transverse river structures on Sora, Selška Sora, Zadnja Sora and Poljanska Sora Rivers

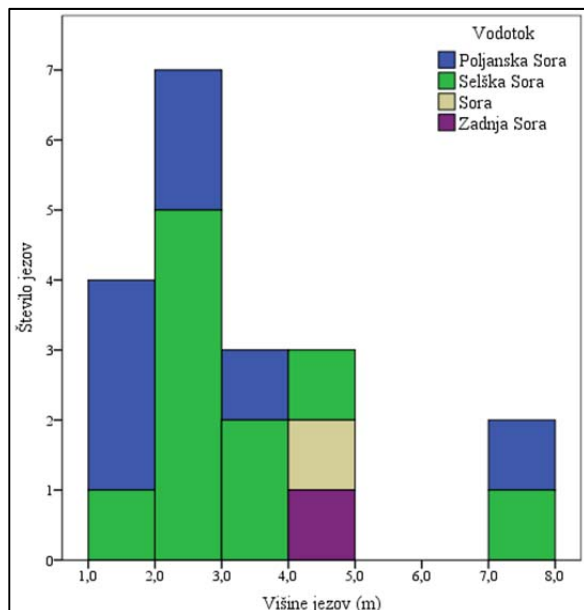
Vplive prečnih vodnih zgradb na selitve rib po vodotoku ugotavljamo na osnovi višin prečnih vodnih zgradb in plavalnih sposobnosti rib v različnih življenjskih obdobjih. Višino prečne vodne zgradbe definiramo kot višinsko razliko med koto zgornjega in spodnjega nivoja vode. Višine prečnih vodnih zgradb na Sori, Selški Sori, Zadnji Sori in Poljanski Sori so med 0 m in 8 m (Slika 21).



Slika 21: Prečne vodne zgradbe in njihove višine na Sori, Selški Sori, Zadnji Sori in Poljanski Sori

Figure 21: Transverse river structures and their heights on Sora, Selška Sora, Zadnja Sora and Poljanska Sora Rivers

Na porečju Sore, Selške Sore, Zadnje Sore in Poljanske Sore smo evidentirali 19 jezov (Slika 19), z višinami med 1 m in 8 m (Slika 21 in Slika 22). Na Sori in Zadnji Sori smo evidentirali po en jez z višino med 4 in 5 m. Na Selški Sori je 10 jezov z višinami med 1 m in 8 m. Na Poljanski Sori pa je skupno 7 jezov. Najnižji jez na Poljanski Sori je visok 1 m, najvišji jez pa je visok 7 m.

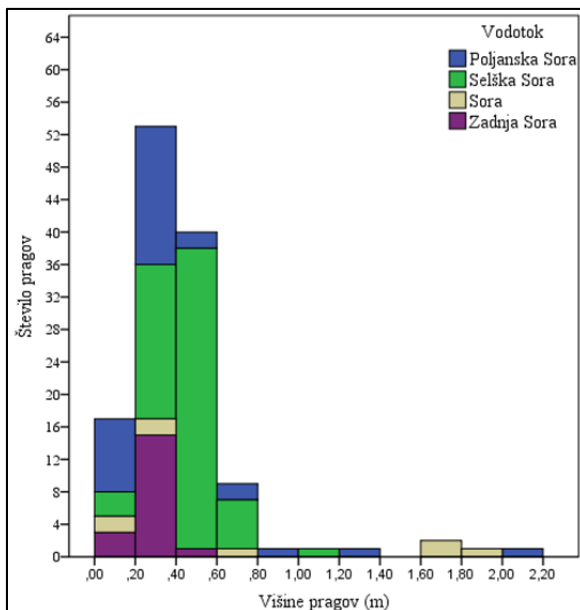


Slika 22: Frekvenčni histogram višin jezov na Sori, Selški Sori, Zadnji Sori in Poljanski Sori

Figure 22: Frequency histogram of dams heights on Sora, Selška Sora, Zadnja Sora and Poljanski Sora Rivers

Na porečju Sore, Selške Sore, Zadnje Sore in Poljanske Sore smo evidentirali 126 pragov (Slika 19), kar je največ od prečnih vodnih zgradb. Skupaj 15 pragov, od tega 2 na Sori, 3 na Selški Sori, 2 na Zadnji Sori in 8 na Poljanski Sori, je talnih pragov, kar pomeni, da je njihova višina 0 m, saj služijo le za utrditev vzdolžnega padca in prečnega profila struge. Talni pragovi ne ovirajo selitve rib v vodotokih.

Višine pragov na porečju Sore so med 0 m in 2 m (Slika 21 in Slika 23). S pragovi je najbolj obremenjena Selška Sora, kjer smo evidentirali 66 pragov. Višine pragov na Selški Sori so med 0 m in 1,2 m. Pogosto so na Selški Sori prisotni pragovi višine 0,4 m (31 pragov) in 0,3 m (14 pragov). Na Poljanski Sori smo evidentirali 33 pragov, z višinami med 0 m in 2 m. Na Poljanski Sori so najštevilčnejši pragovi višine 0,3 m (14 pragov). Na Zadnji Sori smo evidentirali 19 pragov višin od 0 do 0,4 m. Na zadnji Sori je največ pragov z višino 0,3 m (13 pragov). Na Sori smo evidentirali 8 pragov višin med 0 m in 1,8 m.



Slika 23: Frekvenčni histogram višin pragov na Sori, Selški Sori, Zadnji Sori in Poljanski Sori

Figure 23: Frequency histogram of weirs heights on Sora, Selška Sora, Zadnja Sora and Poljanska Sora Rivers

5.2.1 Gostota prečnih vodnih zgradb na Sori, Selški Sori, Zadnji Sori in Poljanski Sori

Obremenjenost vodotokov s prečnimi vodnimi zgradbami smo ovrednotili na podlagi gostote prečnih vodnih zgradb na dolžino vodotoka. Večja kot je gostota obremenjenosti vodotokov s prečnimi vodnimi zgradbami, bolj je vodotok obremenjen s prečnimi vodnimi zgradbami na dolžinsko enoto vodotoka (Preglednica 12). Prečne vodne zgradbe razdeljujejo vodotok na odseke, ki so omejeni z gorvodno in dolvodno prečno vodno zgradbo. To pomeni, da je habitat rib razdeljen na posamezne rečne odseke, kar vpliva na selitev rib in s selitvijo povezanimi značilnostmi kot so razmnoževanje, rast in razvoj rib.

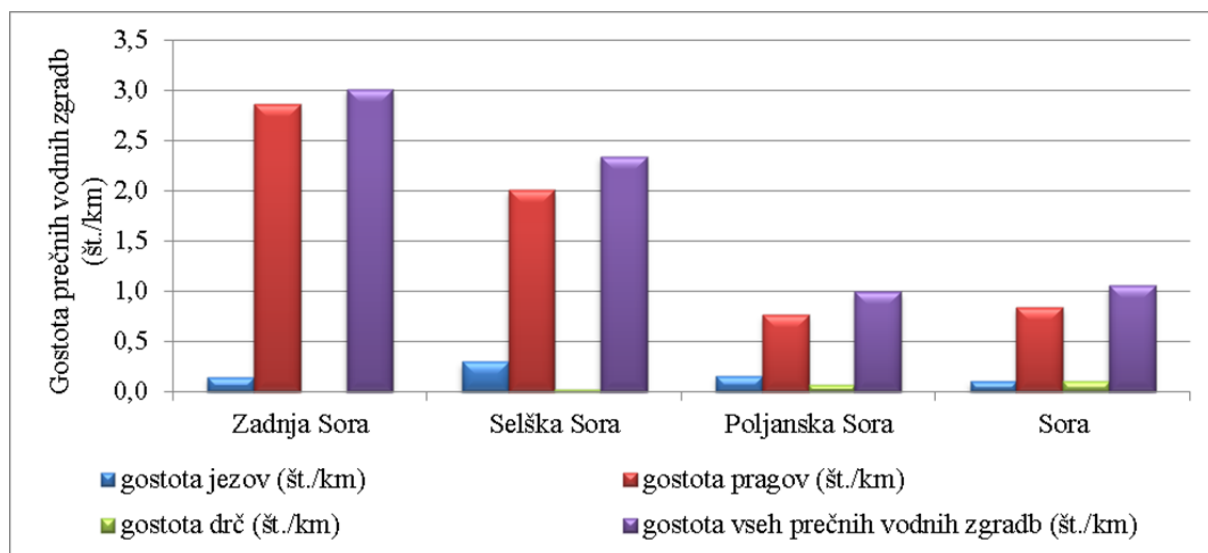
Preglednica 12: Gostota obremenjenosti vodotokov s prečnimi vodnimi zgradbami

Table 12: The density of load of rivers with transverse river structures

Vodotok	Gostota _{jez} (št./km)	Gostota _{prag} (št./km)	Gostota _{drča} (št./km)	Gostota _{skupaj} (št./km)
Zadnja Sora	0,15	2,86	0,00	3,01
Selška Sora	0,30	2,01	0,03	2,34
Poljanska Sora	0,16	0,77	0,07	1,00
Sora	0,11	0,85	0,11	1,06
Skupaj	0,21	1,37	0,05	1,63

Najbolj obremenjen vodotok s prečnimi vodnimi zgradbami je Zadnja Sora na račun velikega števila pragov na razmeroma kratki dolžini. Drug najbolj obremenjen vodotok s prečnimi vodnimi zgradbami

je Selška Sora, sledita ji še Sora in Poljanska Sora. Z jezovi je najbolj obremenjena Selška Sora z gostoto jezov 0,30 jez/km. Sledi ji Poljanska Sora z 0,16 jez/km, Zadnja Sora z 0,15 jez/km in Sora z 0,11 jez/km. Zadnja Sora je najbolj obremenjena s pragovi z gostoto pragov 2,86 prag/km. Drug najbolj obremenjen vodotok s pragovi je Selška Sora z 2,01 prag/km, sledita ji še Sora z 0,85 prag/km in Poljanska Sora z 0,77 prag/km.



Slika 24: Gostota prečnih vodnih zgradb na Sori, Selški Sori, Zadnji Sori in Poljanski Sori

Figure 24: The density of transverse river structures on Sora, Selška Sora, Zadnja Sora and Poljanska Sora Rivers

5.2.2 Ribji prehodi na obravnavanem območju

Podatke o ribjih prehodih smo pridobili na osnovi katastra prečnih vodnih zgradb (Prečne vodne zgradbe na porečju Selške Sore, Poljanske Sore in Sore, 2012) in terenskega pregleda vodotokov in prečnih vodnih zgradb. Tipi ribjih prehodov so ribje steze na Selški Sori, Poljanski Sori in Sori ter hrapava drča na Sori. Skupno število vseh evidentiranih ribjih prehodov na obravnavanem območju je sedem. Tri ribje prehode smo evidentirali na Selški Sori in po dva ribja prehoda na Sori in Poljanski Sori. V preteklosti je bil na Poljanski Sori še en ribji prehod, ki je danes v celoti porušen (Slika 32). Sedem ribjih prehodov je zgrajenih na jezovih in en ribji prehod na pragu na Sori. Višinske razlike objektov, na katerih so zgrajeni ribji prehodi so od 1,2 m do 4,4 m.

Glede na ekspertno presojo stanja ribjih prehodov in njihove učinkovitosti (Preglednica 13) predvidevamo, da so gorvodne selitve rib možne na treh ribjih prehodih. Na Sori na jezu v Goričanah je ribja steza z betonskimi prekati, ki omogoča selitve rib v optimalnih hidroloških razmerah za posamezne ribe ob pogoju, da ribja steza ni zamašena (Koračin in Povž, 2013). Po en učinkovit ribji

prehod je na Sori, Selški Sori in Poljanski Sori. Ocena učinkovitosti ribjih prehodov bi morala temeljiti na monitoringu gorvodnih selitev rib čez ribji prehod, da bi lahko ovrednotili učinkovitost ribjega prehoda. Prehodnost ribjih prehodov lahko določamo z uporabo različnih metod (Preglednica 3).

Preglednica 13: Ribji prehodi na Sori, Selški Sori in Poljanski Sori

Table 13: Fish migration aids on Sora, Selška Sora and Poljanska Sora Rivers

Vodotok	Št. ribjih prehodov	Vrsta prečne vodne zgradbe	Višina prečne vodne zgradbe	Vrsta ribjega prehoda	Stanje ribjega prehoda	Učinkovitost ribjega prehoda (Koračin in Povž, 2013)**
Sora	2	Prag na sotočju	1,8	Hrapava drča	V dobrem stanju, nepoškodovan	Omogoča selitve rib
		Jez v Goričanah	4,4	Ribja steza z betonskimi prekati	V slabem stanju, poškodovan, velikokrat zamašen in potreben obnove	Selitve rib so možne samo v optimalnih hidroloških razmerah za posamezno vrsto ob pogoju, da ribja steza ni zamašena s plavnim lesom ali s smetmi
Selška Sora	3	Okornov jez	1,5	Ribja steza s kamnito-betonskimi prekati	V dobrem stanju, nepoškodovan	Omogoča selitve rib
		Šeširjev jez	2,7	Ribja steza	Atrakcija rib v vhodni del ribjega prehoda je neučinkovita	Ne omogoča selitev rib
		Dermotov jez	2,5	Ribja steza z betonskimi prekati	V slabem stanju, poškodovan, ustvarja turbulentni tok	Ne omogoča selitev rib
Poljanska Sora*	2	Puštalski jez	3,5	Ribja steza z lesenimi prekati	Atrakcija rib v vhodni del ribjega prehoda je neučinkovita	Ne omogoča selitev rib
		Petruzzov jez	1,2	Ribja steza	V dobrem stanju, nepoškodovan	Omogoča selitve rib

*Ribji prehod na jezu Koreninovc na Poljanski Sori je v celoti porušen

**Učinkovitost ribjega prehoda smo ocenili na podlagi ekspertne presoje in informacij, ki sta nam jih posredovala Koračin in Povž (2013)



Slika 25: Hrapava drča na pragu na Sori (Kolman, 2012)

Figure 25: A rock-ramp fishway on a weir on Sora River (Kolman, 2012)



Slika 26: Ribja steza na jezcu v Goričanah na Sori (Kolman, 2012)

Figure 26: Fish ladder on a dam in Goričane on Sora River (Kolman, 2012)



Slika 27: Ribja steza na Okornovem jezcu na Selški Sori (Kolman, 2012)

Figure 27: Fish ladder on Okorn dam on Selška Sora River (Kolman, 2012)



Slika 28: Ribja steza na Šeširjevem jezcu na Selški Sori (Kolman, 2012)

Figure 28: Fish ladder on Šešir dam on Selška Sora River (Kolman, 2012)



Slika 29: Ribja steza na Dermotovem jezcu na Selški Sori (Kolman, 2012)

Figure 29: Fish ladder on Dermont dam on Selška Sora River (Kolman, 2012)



Slika 30: Ribja steza na Puštalskem jezcu na Poljanski Sori (Kolman, 2012)

Figure 30: Fish ladder on Puštal dam on Poljanska Sora River (Kolman, 2012)



Slika 31: Ribja steza na Petruzzovem jezu na Poljanski Sori (Kolman, 2012)

Figure 31: Fish ladder on Petruzz dam on Poljanska Sora River (Kolman, 2012)



Slika 32: Porušena ribja steza na jezu Koreninovc na Poljanski Sori (Kolman, 2012)

Figure 32: Destroyed fish ladder on Koreninovc dam on Poljanska Sora River (Kolman, 2012)

5.3 Vrste rib in njihove značilnosti

5.3.1 Vrste rib na obravnavanem območju

Vrste rib v donavskem in jadranskem povodju v Sloveniji so bile popisane za potrebe vrednotenja ekološkega stanja rek. Za ta namen je bil razvit indeks za vrednotenje ekološkega stanja rek na podlagi rib (angl. Slovenian fish-based assessment index for rivers – SIFAIR) v skladu z vodno direktivo (Direktiva 2000/60/ES). SIFAIR je indeks, v katerem so upoštevani: taksonomska sestava, številčnost vrst, biomasa in starostna struktura rib (Urbanič in Podgornik, 2012; Podgornik in Urbanič, 2012).

Na območju Sore, Selške Sore, Zadnje Sore in Poljanske Sore so prepoznani štiri ribji tipi: E1, E2, M1 in H (Preglednica 14) (Urbanič in Podgornik, 2012; Podgornik in Urbanič, 2012).

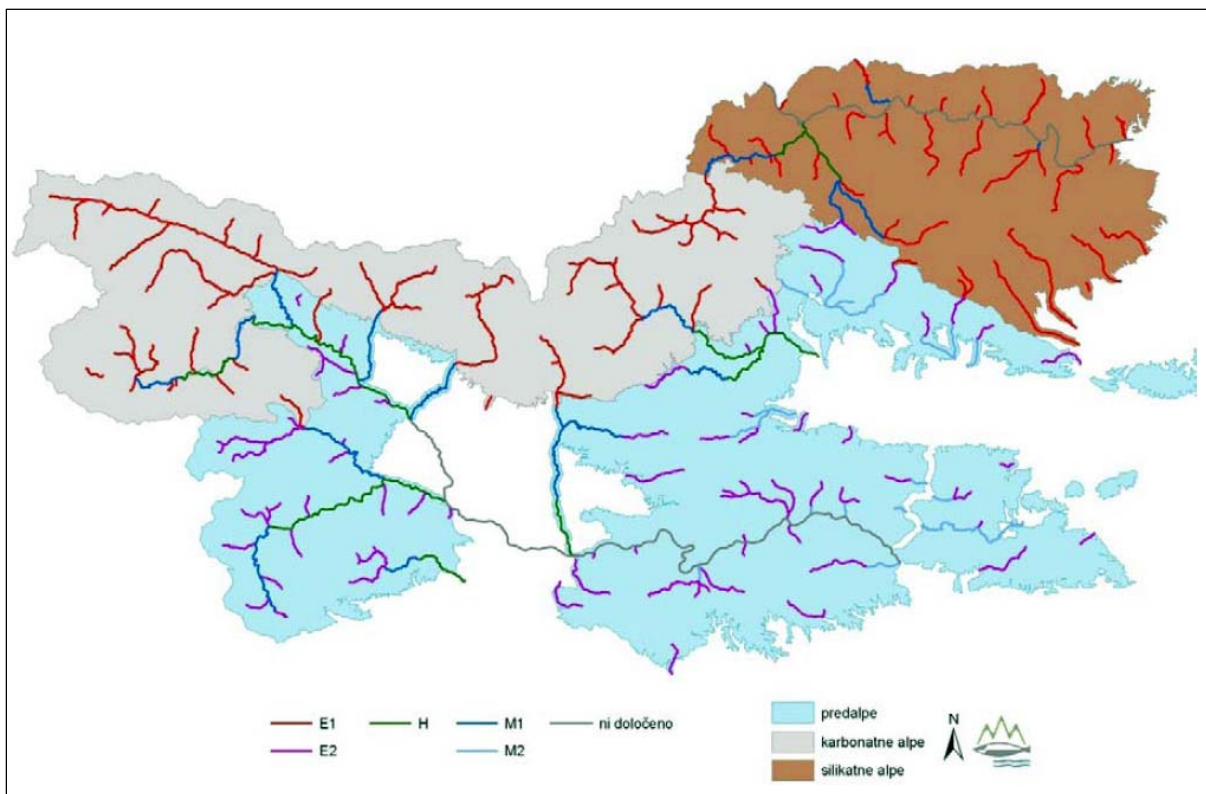
Preglednica 14: Ribje vrste značilne za porečje Sore, Selške Sore, Zadnje Sore in Poljanske Sore (Urbanič in Podgornik, 2012; Podgornik in Urbanič, 2012; Veenvilet in Veenvilet, 2006)

Table 14: Fish species in Sora, Selška Sora, Zadnja Sora and Poljanska Sora River Basin (Urbanič and Podgornik, 2012; Podgornik and Urbanič, 2012; Veenvilet and Veenvilet, 2006)

Ribja vrsta	Avtohtonost	Reprodukcija*	Habitat**	Družina	Ribji tip			
					E1	E2	M1	H
potočna postrv (rečna oblika) (<i>Salmo trutta</i>)	da	litofilna	reofilen	postrvi (Salmonidae)	•	•	•	•
kapelj (<i>Cottus gobio</i>)	da	speleofilna	reofilen	kaplji (Cottidae)		•	•	•
lipan (<i>Thymallus thymallus</i>)	da	litofilna	reofilen	lipani (Thymallidae)			•	•
sulec (<i>Hucho hucho</i>)	da	litofilna	reofilen	postrvi (Salmonidae)			•	•
blistavec (<i>Telestes souffia</i>)	da	litofilna	reofilen	krapovci (Cyprinidae)				•
pisanec (<i>Phoxinus phoxinus</i>)	da	litofilna	reofilen	krapovci (Cyprinidae)				•
pohra (<i>Barbus balcanicus</i>)	da	litofilna	reofilen	krapovci (Cyprinidae)				•
klen (<i>Squalius cephalus</i>)	da	litofilna	reofilen	krapovci (Cyprinidae)				•
donavski potočni piškur (<i>Eudontomyzon vladykovi</i>)	da	litofilna	reofilen	piškurji (Petromyzontidae)				•
podust (<i>Chondrostoma nasus</i>)	da	litofilna	reofilen	krapovci (Cyprinidae)				•
mrena (<i>Barbus barbus</i>)	da	litofilna	reofilen	krapovci (Cyprinidae)				•
pisanka (<i>Alburnoides bipunctatus</i>)	da	litofilna	reofilen	krapovci (Cyprinidae)				•

*Reprodukcija: litofilna reprodukcija = odlaganje iker na kamne in prodnike, speleofilna reprodukcija = odlaganje iker pod kamenje (Dussling in sod., 2004).

**Habitat: reofilen = hitro tekoče vode, ki so bogate s kisikom (Dussling in sod., 2004).



Slika 33: Slovenski ribji tipi v ekoregiji Alpe (Urbanič in Podgornik, 2012: str. 5)

Figure 33: Slovenian fish types in the Ecoregion Alps (Urbanič and Podgornik, 2012: p. 5)

5.3.2 Plavalne sposobnosti rib

Hitrosti plavanja in skakalne sposobnosti rib so prilagoditve na morfologijo vodotoka, pretočne značilnosti vodotoka in selitvene vzorce rib. Hitrosti plavanja rib delimo na:

- eksplozivno hitrost plavanja (angl. burst speed): največja hitrost plavanja, ki traja manj kot 20 s in se konča z ekstremno utrujenostjo. V vodotokih ribe eksplozivno hitro plavajo, da premagajo območja velikih hitrosti vode oz. pri hranjenju in izogibanju pred plenilci. Pri eksplozivni hitrosti plavanja ribe uporabljajo bela mišična vlakna, ki se lahko hitro in močno skrčijo ob odsotnosti kisika. Pri eksplozivni hitrosti plavanja ribe dosežejo dokaj visoko hitrost, vendar le za kratek čas. Izčrpanje nastopi, ko je ves shranjen glikogen v belih mišičnih vlaknih pretvorjen v mlečno kislino. Za obnovitev zalog glikogena je potreben kisik, kar lahko traja dolgo časa (do 24 ur).
- dolgotrajno hitrost plavanja (angl. prolonged speed): so tiste hitrosti, ki jih ribe lahko ohranjajo od 20 s do 200 min ter se končajo z utrujenostjo. Dolgotrajno plavanje vključuje uporabo rdečih in belih mišičnih vlaken. Dolgotrajna hitrost plavanja uporabljajo ribe npr. pri prehajanju čez prepuste. Podkategorija dolgotrajne hitrosti plavanja je kritična hitrost plavanja (angl. critical speed), ki predstavlja maksimalno hitrost, ki jo lahko riba ohranja določeno časovno obdobje.

- trajno hitrost plavanja (angl. sustained speed): nizke plavalne hitrosti, ki se ohranjajo dolgo časa oz. več kot 200 min in povzročajo malo ali nič utrujenosti. Pri tem načinu plavanja je vključena uporaba rdečih mišic. Takšen način plavanja predstavlja aerobno aktivnost, ki omogoča, da riba plava brez napora pri konstantni in relativno nizki hitrosti. Mišice za aerobno delovanje rabijo kisik v celicah v najmanj takšni količini, kot ga porabijo. Kakršnakoli omejitev oskrbe s kisikom vpliva na učinek rdečih mišic. Podkategorija trajne hitrosti plavanja je potovalna hitrost plavanja (angl. cruising speed), ki jo ribe uporabljajo za selitve (Beach, 1984; Bell, 1990; Fishxing, 2006; Kemp in sod., 2008; NRCS, 2007; Wardle, 1978).

Ribje vrste iz družine postrvi (Salmonidae) so dobri plavalci in skakalci še posebej v primerjavi s toploljubnimi vrstami rib in drugimi vrstami, ki se selijo. Plavalne in skakalne sposobnosti rib moramo upoštevati pri načrtovanju ribjih prehodov, prepustov in drugih struktur, ki bi imele vpliv na selitve rib. Potovalna hitrost plavanja in eksplozivna hitrost plavanja rib sta pomembni pri načrtovanju ribjega prehoda. Npr. riba za vstop in izstop iz prepusta uporablja eksplozivno hitrost plavanja in potovalno hitrost za plavanje skozi prepust. V nekaterih primerih pod določenimi pretočnimi razmerami je riba prisiljena uporabiti eksplozivno hitrost plavanja, da preplava celotno dolžino prepusta (Kemp in sod., 2008; Taylor in Love, 2003).

Velikost rib in stopnja njihovega razvoja vplivata na plavalne sposobnosti. Mladice in majhne ribe ne plavajo tako dobro kot zdrave odrasle ribe iste vrste (Bell, 1990), zato moramo pri načrtovanju ribjih prehodov to upoštevati. Ribji prehodi, ki omogočajo prehajanje številnim ribjim vrstam, različnih velikosti in plavalnih sposobnostih, lahko predstavljajo zahtevne načrtovalske projekte. Ribje prehode moramo načrtovati za prehajanje najmanjših in najšibkejših rib, saj ostale ribe ne bodo imele težav pri prehajanju (NRCS, 2007).

Plavalne sposobnosti rib so odvisne od oblike telesa, dolžine telesa, fiziološkega stanja in predvsem od temperature vode (Beach, 1984; NRCS, 2007). Riba plava z uporabo krčenja lateralnih mišic. Hitrost plavanja rib je v tesni povezavi s frekvenco premikanja plavuti. Razdalja, ki jo riba doseže z vsakim zamahom plavuti, je enaka približno 70 % dolžine ribe. Leta 1975 je Wardle definiral največjo hitrost plavanja ribe (U), ki je odvisna od dolžine ribe (L) in časa krčenja mišice (t) (Beach, 1984):

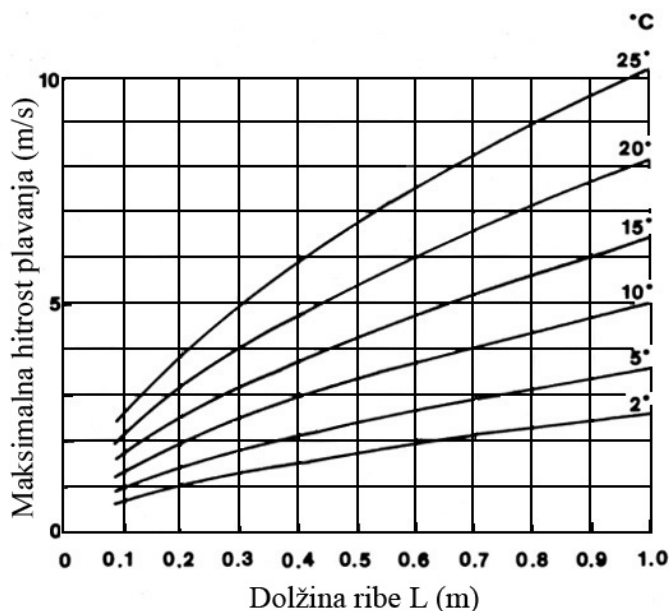
$$U = 0,7L/2t \quad (27)$$

U – maksimalna hitrost plavanja (m/s)

L – dolžina ribe (m)

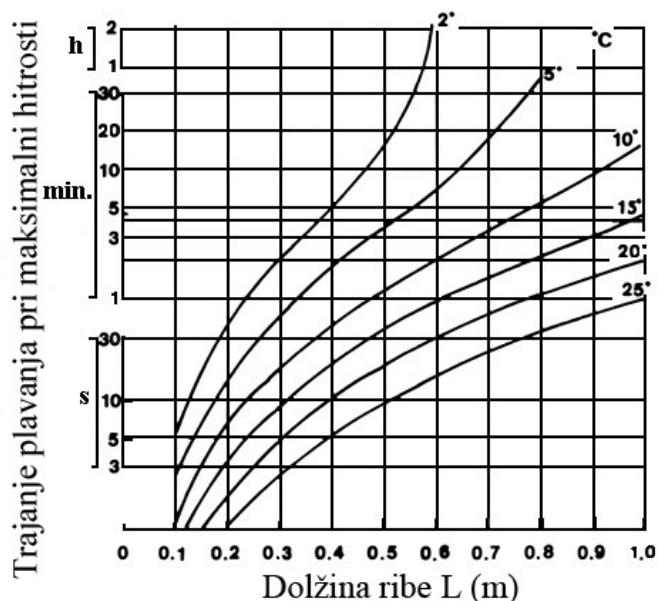
t – čas krčenja mišic (s)

Beach (1984) podaja informacijo, kako so plavalne hitrosti (Slika 34) in časi trajanja plavalnih hitrosti rib (Slika 35) odvisni od temperature vode in dolžine ribe. Velike ribe imajo pri visokih temperaturah vode boljše plavalne sposobnosti oz. dosegajo večje hitrosti plavanja kot manjše ribe oz. pri nizkih temperaturah (Slika 34). Daljši čas trajanja plavanja pri maksimalnih hitrostih in določeni temperaturi dosežejo velike ribe zaradi tega, ker imajo večje ribe večje zaloge glikogena kot male ribe.



Slika 34: Maksimalne hitrosti plavanja rib v odvisnosti od dolžine ribe in temperature vode (Beach, 1984: str. 8)
Figure 34: Maximal swimming speeds of fish in relation with the length of the fish and water temperature (Beach, 1984: p. 8)

Nekatere ribe čakajo, da postane temperatura vode primerna za selitev v drstitvene vodotoke. Premrzli ali pretopli vodotoki onemogočajo gorvodne selitve rib. Temperature vode se spremenijo zaradi razlogov kot so npr. odstranitev vegetacije, namakanja za potrebe kmetijstva, izpustov vode iz globokih zbiralnikov, hladilne vode za nuklearke. Posledično neprimerne temperature vode povzročajo izbruhe bolezni, ki ogrozijo ribe, zamude pri selitvah rib na drstitvena območja in pospešen aliupočasnjjen razvoj rib (Bell, 1990; NRCS, 2007; Beach, 1984).



Slika 35: Čas trajanja maksimalnih plavalnih hitrostih rib v odvisnosti od dolžine ribe in temperature vode (Beach, 1984: str. 9)

Figure 35: Time of maximum swimming speeds of fish in relation with the length of the fish and water temperature (Beach, 1984: p. 9)

5.3.3 Skakalne sposobnosti rib

Skakalna višina (angl. jumping height) rib je odvisna od vrste ribe, dolžine telesa, fiziološkega stanja in temperature vode in njenega vpliva na mišice. Starejše in večje ribe imajo boljše maksimalne skakalne sposobnosti, medtem ko ribe nekaterih vrst nimajo skakalnih sposobnosti pri nobeni starosti. Skakalne sposobnosti rib vrednotimo na osnovi poskusov in terenskega opazovanja (NRCS, 2007; Kemp in sod., 2008). Višino skakanja rib iz vode lahko izračunamo po splošni enačbi v kateri predpostavimo, da je to skok iz vode pod kotom 90° (Bell, 1990; Powers in Orsborn, 1985):

$$h = \frac{v^2}{2g} \quad (28)$$

h – višina skoka nad vodno gladino (m)

v – hitrost ribe pri skoku iz vode (m/s)

g – težnostni pospešek ($9,81 \text{ m/s}^2$)

Ribe skačejo iz vode pod različnimi koti (\emptyset). Pri skoku ribe iz vode gre za vertikalno in horizontalno gibanje, ki je odvisno od hitrosti ribe in kota pod katerim riba skoči iz vode. Powers in Orsborn (1985)

sta določila enačbi za vertikalno razdaljo skoka ribe iz vode (enačba 29) in horizontalno razdaljo do največje višine skoka ribe iz vode (enačba 30):

$$h = \frac{(v \times \sin \varnothing)^2}{2g} \quad (29)$$

h – višina skoka nad vodno gladino (m)

v – hitrost ribe pri skoku iz vode (m/s)

\varnothing – kot pod katerim skoči riba iz vode ($^{\circ}$)

g – težnostni pospešek ($9,81 \text{ m/s}^2$)

$$x = \frac{v^2 \times \cos \varnothing \times \sin \varnothing}{g} \quad (30)$$

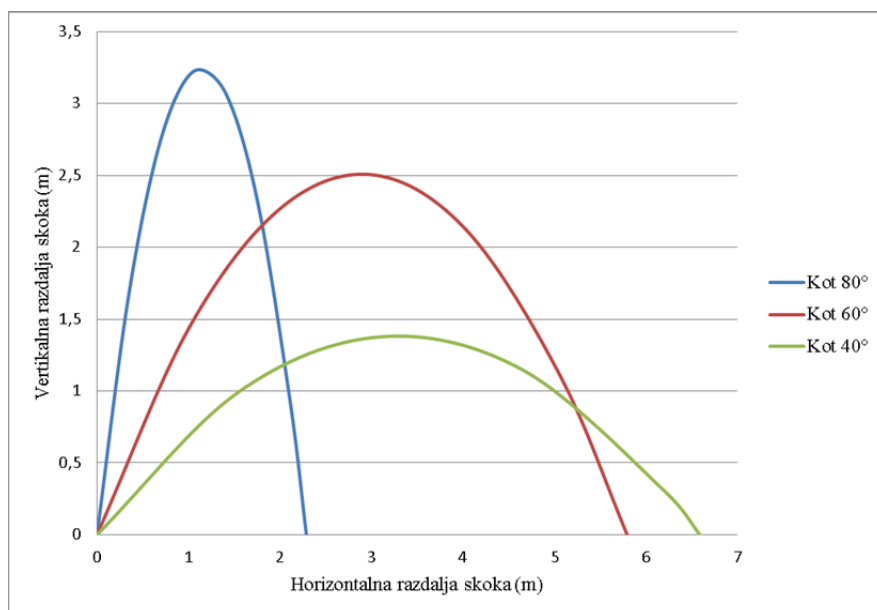
x – horizontalna razdalja do največje višine skoka ribe iz vode (m)

v – hitrost ribe pri skoku iz vode (m/s)

\varnothing – kot pod katerim skoči riba iz vode ($^{\circ}$)

g – težnostni pospešek ($9,81 \text{ m/s}^2$)

Powers in Orsborn (1985) prikazujeta skakalne krivulje za šarenko *Oncorhynchus mykiss irideus* za različne kote (80° , 60° in 40°) skoka iz vode (Slika 36).



Slika 36: Skakalne krivulje za postrv *Oncorhynchus mykiss irideus* pri hitrosti 8,1 m/s (Powers in Orsborn, 1985)
Figure 36: Leaping curves for steelhead trout *Oncorhynchus mykiss irideus* at speed of 8,1 m/s (Powers and Orsborn, 1985)

Preglednica 15: Skakalne in plavalne sposobnosti nekaterih ribjih vrst

Table 15: Leaping and swimming abilities of some fish species

Ime	Znanstveno ime	Skakalne sposobnosti (m)	Eksplozivna hitrost plavanja (m/s)	Vir
Potočna postrv	<i>Salmo trutta</i>	1,10	4,64	Meixler in sod., 2009
Ščuka	<i>Esox lucius</i>	1,49	5,40	Meixler in sod., 2009
Postrv vrste	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	1,03	4,50	Meixler in sod., 2009
Lipán	<i>Thymallus thymallus</i>	<0,96	1,2 – 2,3	Kemp in sod., 2008
Mrena	<i>Barbus barbus</i>	ne	2,1 – 3,4	Kemp in sod., 2008
Klen	<i>Squalius cephalus</i>	ne	1,0 – 2,1	Kemp in sod., 2008

Za nekatere vrste rib (potočna postrv, lipán, mrena in klen), ki so prisotne v obravnavanem porečju Sore, smo našli podatke o skakalnih sposobnostih (Preglednica 15) (Meixler in sod., 2009; Kemp in sod., 2008). Horvat (1993) navaja, da so ribe iz družine krapovcev (Cyprinidae) sposobne premagati višine od 20 do 30 cm, ribe iz družine postrvi (Salmonidae) pa višine od 50 do 60 cm. Peter (1998) pravi, da je vsaka prečna vodna zgradba v vodotoku, ki je višja od 15 cm, lahko neprehodna za ribe. V literaturi nismo našli dovolj podatkov o plavalnih in skakalnih sposobnostih za posamezne ribje vrste. Za pridobitev podatkov o plavalnih in skakalnih sposobnostih rib bi bilo treba izvesti meritve plavalnih in skakalnih sposobnosti rib za čim več različnih ribjih vrst v različnih življenjskih obdobjih.

5.4 Uporaba kanadske metode za prednostno razvrščanje prečnih vodnih zgradb za izboljšanje vzdolžne povezanosti vodotokov na porečju Sore

5.4.1 Vhodni podatki za uporabo kanadske metode za prednostno razvrščanje prečnih vodnih zgradb za izboljšanje vzdolžne povezanosti vodotokov na porečju Sore

Za izračun indeksa DCI je treba imeti podatke o dolžini posameznih rečnih odsekov, celotni dolžini rečnega omrežja, povezanosti rečnih odsekov med seboj in prehodnosti posameznih prečnih vodnih zgradb za ribe. Podatke o dolžini rečnih odsekov smo pridobili s pomočjo programske opreme ArcMap v. 10.1 (ARCMAP, 2013). V izračunu indeksa DCI smo upoštevali dolžine 151 rečnih odsekov različnih dolžin od 5,39 m do 9947,09 m. Povprečna dolžina rečnih odsekov je 609,43 m. Grafični prikaz prečnih vodnih zgradb in rečnega omrežja nam je služil tudi za definiranje matrike rečnih odsekov ("segment_matrix.csv"). V matriki rečnih odsekov definiramo kako rečni odseki mejijo med seboj. Ustvarili smo 451 kombinacij rečnih odsekov. Bolj kot je rečna mreža razvejana, večje je število kombinacij rečnih odsekov pri enakem številu prečnih vodnih zgradb.

Prehodnost prečnih vodnih zgradb je parameter, ki je najtežje določljiv. Skakalnih sposobnosti za vse evidentirane vrste rib na obravnavanem območju porečja Sore nismo našli v literaturi. Prav tako skakalnih sposobnosti rib nismo uspeli izračunati iz enačb, kjer je vhodni podatek plavalna hitrost rib, ker ni podatkov o plavalnih hitrostih za vse ribe. Za potrebe naše raziskave smo predpostavili, da prečne vodne zgradbe, ki so visoke vključno do 20 cm, ne ovirajo selitev rib. Vse ostale prečne vodne zgradbe, ki so večje kot 20 cm, smo smatrali, da ovirajo selitve rib.

Za prehodnost prečnih vodnih zgradb za ribe smo uporabili le tri vrednosti in sicer 1 (100 % prehodna prečna vodna zgradba), 0,5 (50 % prehodna prečna vodna zgradba) in 0 (0 % prehodna prečna vodna zgradba). Za prehodne prečne vodne zgradbe za ribe smo upoštevali vse drče, prečne vodne zgradbe z višino vključno do 20 cm, in prečne vodne zgradbe z zgrajenim in učinkovitim ribjim preходом. Jezu v Goričanah smo določili, da je ribji prehod 50 % prehodan za ribe, kar pomeni, da so selitve rib možne samo v optimalnih hidroloških razmerah za posamezne ribe in v primerih, ko ribji prehod ni zamašen (npr. s plavnim lesom ali s smetmi). Za ostale neučinkovite ribje prehode smo upoštevali, da so 0 % prehodni oz., da ne omogočajo selitev rib.

5.4.2 Rezultati izračuna indeksa DCI_p za porečje Sore

V naši raziskavi je najbolj relevanten indeks DCI_p , ki je merodajen za selitve rib znotraj celinskih voda. Indeks DCI za diadromne ribje vrste (DCI_d) nismo izračunali, ker v vodotokih porečja reke Sore ni diadromnih ribjih vrst. Možne vrednosti indeksa DCI_p so od 0 do 100. Vrednost indeksa $DCI_p = 100$ pomeni, da je rečno omrežje brez prečnih vodnih zgradb ali pa so vse prečne vodne zgradbe 100 % prehodne za ribe. Velja zakonitost, da večje kot je število neprehodnih prečnih vodnih zgradb za ribe v rečnem sistemu, manjša je vrednost indeksa DCI_p za potamodromne ribje vrste.

Za izračun indeksa DCI_p in teoretičnega indeksa DCI_p smo uporabili programsko opremo R verzija 2.11.1 (R Development Core Team, 2013) in skripta "dci.fxs.r" in "dci.fxs.theo.restoration.r", ki ju je uporabil tudi Cote (2012). Izračun teoretičnih indeksov DCI_p za 150 prečnih vodnih zgradb in 151 rečnih odsekov je trajal približno 36 ur, kar pomeni, da je računalnik porabil v povprečju 14 minut za izračun teoretičnega indeksa DCI_p za posamezno prečno vodno zgradbo.

Na Sori, Selški Sori, Zadnji Sori in Poljanski Sori smo evidentirali 150 prečnih vodnih zgradb med katerimi je 115 prečnih vodnih zgradb neprehodnih za ribe in 1 prečna vodna zgradba, ki je deloma prehodna za ribe. Za porečje Sore smo izračunali indeks $DCI_p = 5,42$. Vrednosti indeksa DCI_p so odvisne tudi od razvejanosti rečnega sistema, saj se pri izračunu indeksa upošteva medsebojna odvisnost med posameznimi rečnimi odseki. V obravnavanem primeru je bila razvejanost rečnega

sistema preprosta, saj primarno in najdaljšo os vodotoka tvorita skupaj Sora in Selška Sora, sekundarno os vodotoka Poljanska Sora in Zadnja Sora.

Iz rezultatov sklepamo, da je obravnavano rečno omrežje zelo obremenjeno s prečnimi vodnimi zgradbami, ki imajo pomemben vpliv na selitve rib. Majhna vrednost indeksa DCI_p je odraz velikega števila neprehodnih prečnih zgradb za ribe na rekah Sori, Selški Sori, Zadnji Sori in Poljanski Sori. Rečno omrežje je zaradi prečnih vodnih zgradb razdeljeno na veliko število rečnih odsekov, ki različno vplivajo na življenje rib.

5.4.3 Rezultati izračuna teoretičnih indeksov DCI_p za porečje Sore

Da bi ribam omogočili gorvodne in dolvodne selitve po porečju Sore, bo treba zgraditi ribje prehode na 115 neprehodnih prečnih vodnih zgradbah in popraviti 3 nedelujoče ribje prehode in en deloma delujoč ribji prehod na reki Sori na jezcu v Goričanah. Jez v Goričanah je treba redno vzdrževati in predvsem popraviti na način, da bo omogočal selitve vsem ribam v vseh življenjskih obdobjih in pri vseh hidroloških razmerah. Za ponovno vzpostavitev vzdolžne povezanosti vodotokov na porečju Sore je treba najprej narediti prednostni seznam prečnih vodnih zgradb, na katerih bo vzpostavljena vzdolžna povezanost vodotokov. Seznam prečnih vodnih zgradb na katerih je treba prednostno vzpostaviti vzdolžno povezanost vodotoka smo naredili na osnovi izračuna teoretičnih vrednosti DCI_p .

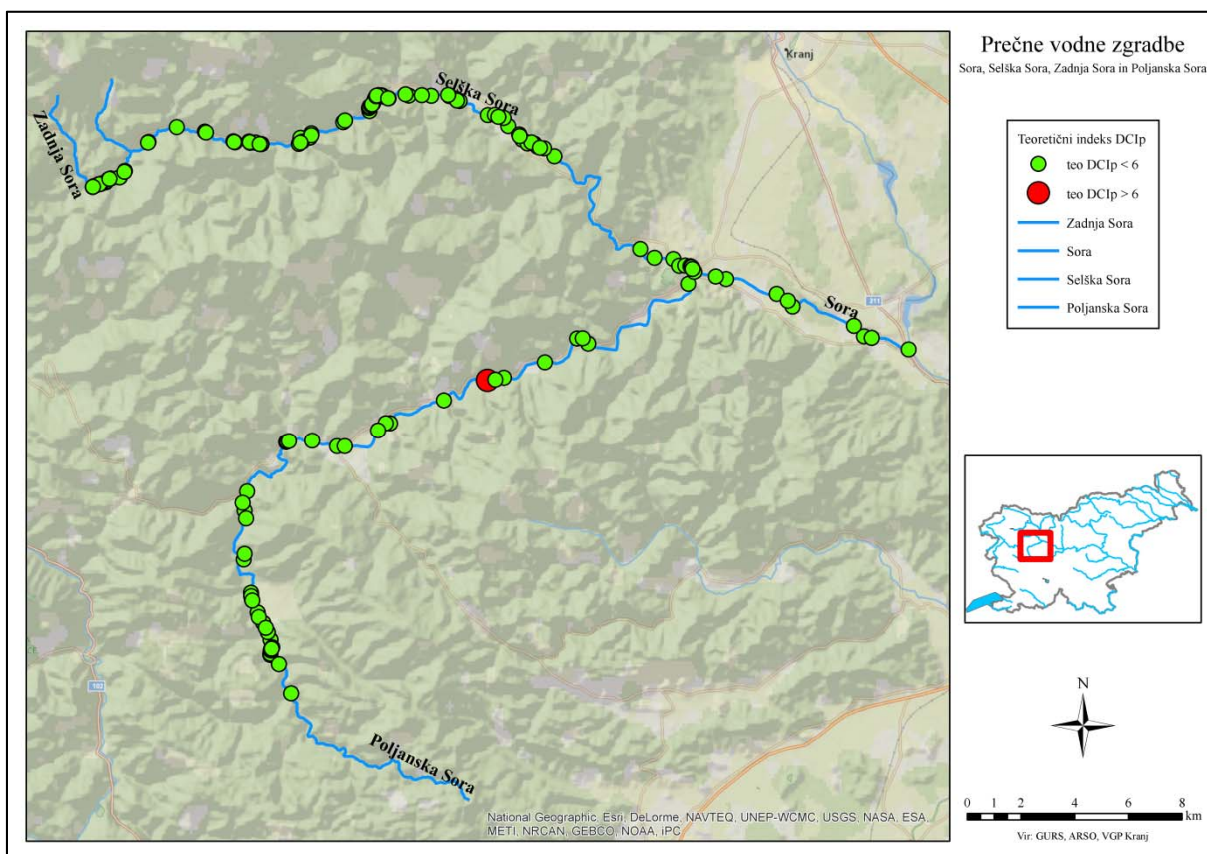
V izračunu teoretičnega indeksa DCI_p za porečje Sore predpostavimo, da je izbrana prečna vodna zgradba (npr. prečna vodna zgradba PSJ3) popolnoma prehodna za ribe ($p = 1$ oz. 100 %), vse ostale prečne vodne zgradbe v obravnavanem porečju pa imajo nespremenjene vrednosti prehodnosti (p) za ribe in izračunamo teoretični indeks. Postopek izračuna teoretičnega indeksa DCI_p ponovimo tolikokrat, kolikor je število prečnih vodnih zgradb v obravnavanem porečju. Teoretične vrednosti indeksa DCI_p za porečje Sore so med vrednostmi $DCI_p = 5,42-6,14$ (PRILOGA A: Podatki o prečnih vodnih zgradbah v porečju Sore). V nadaljevanju je prikazana preglednica s prvimi desetimi prečnimi vodnimi zgradbami, ki so najvišje na prednostnem seznamu za izboljšanje vzdolžne povezanosti vodotokov na porečju Sore (Preglednica 16). Prve tri najvišje vrednosti teoretičnega indeksa DCI_p za porečje Sore smo izračunali za jezove na Poljanski Sori (PSJ3 – $DCI_p = 6,14$, PSJ1 – $DCI_p = 5,96$ in PSJ4 – $DCI_p = 5,75$). Za ostalih 140 prečnih vodnih zgradb, ki jih ne prikazujemo v preglednici (Preglednica 16) se vrednosti teoretičnega indeksa DCI_p za porečje Sore ne razlikujejo veliko in so v razponu od vrednosti 5,42 (150. zaporedna vrednost) do 5,44 (11. najvišja zaporedna vrednost).

Preglednica 16: Prednostni seznam 10 prečnih vodnih zgradb z najvišjimi teoretičnimi vrednostmi indeksa DCI_p

Table 16: Priority list of 10 transverse river structures with the highest theoretical values of DCI_p index

Zaporedna številka	ID prečne vodne zgradbe	Tip prečne vodne zgradbe	Višina prečne vodne zgradbe (m)	Prehodnost prečne vodne zgradbe (p)	Teoretični indeks DCI_p
1	PSJ3	jez	1	0	6,14
2	PSJ1	jez	3,5	0	5,96
3	PSJ4	jez	2	0	5,75
4	SSP4	prag	0,7	0	5,58
5	SSP5	prag	0,6	0	5,51
6	SJ1	jez	4,4	0,5	5,50
7	SP6	prag	0,7	0	5,48
8	PSP1	prag	0,75	0	5,46
9	PSP13	prag	2	0	5,45
10	SP4	prag	1,6	0	5,45

Legenda: SJ = Sora jez, SP = Sora prag, SSP = Selška Sora prag, PSJ = Poljanska Sora jez, PSP = Poljanska Sora prag, številka = označuje zaporedno številko tipa prečne vodne zgradbe na vsakem posameznem vodotoku gorvodno.



Slika 37: Razporeditev prečnih vodnih zgradb glede na razpon vrednosti teoretičnega indeksa DCI_p na Sori, Selški Sori, Zadnji Sori in Poljanski Sori

Figure 37: Distribution of transverse river structures in relation to the range of values of the theoretical index DCI_p on Sora, Selška Sora, Zadnja Sora and Poljanska Sora Rivers

5.5 Kritični pogled na rezultate izračuna indeksa DCI

Kanadsko metodo za prednostno razvrščanje prečnih vodnih zgradb za izboljšanje vzdolžne povezanosti vodotokov smo izbrali zaradi enostavne uporabnosti metode in vhodnih podatkov, ki so potrebni za izračun indeksa DCI. Za uporabo kanadske metode moramo imeti podatke o dolžinah odsekov vodotoka med posameznimi prečnimi vodnimi zgradbami, celotni dolžini vodotoka, gorvodni in dolvodni prehodnosti prečne vodne zgradbe za ribe in medsebojnih mejnih položajih odsekov vodotoka. Gorvodno in dolvodno prehodnost prečnih vodnih zgradb smo določili na podlagi ekspertnega znanja in podatkov iz literature. Predpostavili smo, da so vse prečne vodne zgradbe dolvodno prehodne za ribe, saj je glede na ugotovitve Larinier (2000), dolvodno prehajanje rib čez prečne vodne zgradbe, ki so manjše od 13 m, neškodljivo za ribe. Za gorvodno prehajanje rib čez prečne vodne zgradbe smo določili višino prečne vodne zgradbe (20 cm), ki je še prehodna za ribe. Skupna prehodnost prečne vodne zgradbe (produkt gorvodne in dolvodne prehodnosti prečne vodne zgradbe za ribe) se uporabi v izračunu indeksa DCI. Za porečje Sore smo na osnovi gorvodne in dolvodne prehodnosti prečnih vodnih zgradb ekspertno določili tri vrednosti prečnih vodnih zgradb: neprehodne prečne vodne zgradbe za ribe ($p = 0$), prehodne prečne vodne zgradbe za ribe ($p = 1$) in deloma prehodne prečne vodne zgradbe za ribe ($p = 0,5$). V prihodnje je treba večjo pozornost nameniti prehodnosti prečnih vodnih zgradb za ribe in pridobiti kakovostnejše podatke ter upoštevati, da so prečne vodne zgradbe za različne vrste rib in različne starostne razrede rib različno prehodne. V kolikor bi imeli kakovostnejše podatke o prehodnosti prečnih vodnih zgradb za ribe, bi bil prednostni seznam prečnih vodnih zgradb za izboljšanje vzdolžne povezanosti vodotokov natančnejši.

Vhodne podatke je treba pripraviti v treh datotekah vrste ".csv". Vhodne podatke smo pripravili ročno s pomočjo situacije porečja Sore s 150 prečnimi vodnimi zgradbami. V matriki rečnih odsekov ("segment_matrix.csv") smo definirali, kako odseki vodotoka mejijo med seboj in ustvarili 451 kombinacij rečnih odsekov. Sestavljanje matrike rečnih odsekov je zamudno, pri čemer obstaja tudi verjetnost, da se zmotimo pri zapisu kombinacije rečnih odsekov. V kolikor pri sestavljanju datotek napravimo napako oz. kakšen podatek narobe zapišemo, nas R opozori, da je prišlo do napake pri izračunu indeksa DCI. Odkrivanje napak je težavno in zamudno. Več kot je v vodotoku ali porečju prečnih vodnih zgradb, bolj težavno je pravilno sestaviti datoteke vhodnih podatkov za izračun indeksa DCI. Prav tako se z obravnavo večjega števila prečnih vodnih zgradb povečuje čas računanja teoretičnega indeksa DCI_p v R (36 ur za 150 prečnih vodnih zgradb na porečju Sore). Pri izračunih teoretičnega indeksa DCI_p je smiselno obravnavati porečja ali vodotoke z majhnim številom prečnih vodnih zgradb (npr. 50-100 prečnih vodnih zgradb), s čimer skrajšamo čas računanja v R. Za izračun indeksov DCI za posamezna porečja bi morali postopek poenostaviti in sestaviti algoritem, s katerim bi iz programa ArcMap neposredno izvozili podatke v takšni obliki, ki bi že bila pripravljena za izračun indeksa DCI v R.

Kanadska metoda za prednostno razvrščanje prečnih vodnih zgradb za izboljšanje vzdolžne povezanosti temelji predvsem na dolžini na novo vzpostavljenega rečnega odseka za ribe. Metodo bi lahko izboljšali z vključitvijo dodatnega kriterija, to je kakovost habitata. Rečne odseke vodotokov bi ocenili z eno izmed metod s katerimi se vrednoti kakovost rečnih odsekov za ribe. Kriterij kakovost rečnega odseka bi nato uporabili kot utežno vrednost pri izračunu indeksa DCI.

Indeks DCI lahko izračunamo za potamodromne ribe (indeks DCI_p) in diadromne ribe (indeks DCI_d). Za porečje Sore smo izračunali samo indeks DCI_p , ker v porečju ni prisotnih diadromnih rib. Rezultati teoretičnih indeksov DCI_p za porečje Sore s 150 prečnimi vodnimi zgradbami so bili med vrednostmi 5,42 do 6,14. Možen razpon vrednosti indeksa DCI_p in DCI_d je med 0 in 100. V primeru porečja Sore so tako majhne vrednosti indeksa DCI_p zaradi velikega števila prečnih vodnih zgradb (150 prečnih vodnih zgradb), katere so v večini neprehodne za ribe ($p = 0$).

5.6 Razprava

V magistrskem delu smo preverjali delovni hipotezi:

1. Prečne vodne zgradbe na porečju Sore so glavni razlog za razdrobljenost rečnih ekosistemov. Veliko število prečnih vodnih zgradb (jezovi in pragovi) je neprehodnih za ribje vrste.
2. Testirali bomo metodo ugotavljanja vzdolžne povezanosti rečnega omrežja z indeksom DCI na porečju Sore. Indeks DCI je odvisen od dolžin posameznih segmentov rečnih odsekov med posameznimi prečnimi vodnimi zgradbami v vodotoku in od njihove gorvodne in dolvodne prehodnosti za ribe. Menimo, da je indeks DCI uporaben za prednostno razvrščanje prečnih vodnih zgradb za izboljšanje vzdolžne povezanosti vodotokov na porečju Sore.

Prvo delovno hipotezo lahko glede na rezultate indeksa DCI potrdimo (PRILOGA A: Podatki o prečnih vodnih zgradbah v porečju Sore). Razdrobljenost rečne mreže je na obravnavanem porečju Sore odvisna predvsem od števila prečnih vodnih zgradb, ki preprečujejo gorvodne in dolvodne selitve rib. Na vrednost indeksa DCI vpliva število prečnih vodnih zgradb in njihova prehodnost za ribe. Za porečje Sore smo izračunali indeks $DCI_p = 5,42$. Glede na rezultate indeksa DCI_p , lahko trdimo, da so prečne vodne zgradbe na Sori, Selški Sori, Zadnji Sori in Poljanski Sori glavni razlog za razdrobljenost rečnih ekosistemov.

Razdrobljenost rečnih ekosistemov lahko ovrednotimo tudi z gostoto obremenjenosti vodotokov s prečnimi vodnimi zgradbami, ki pove, v kolikšni meri prečne vodne zgradbe razdrobijo vodotok na posamezne rečne odseke. Največja obremenjenost vodotokov s prečnimi vodnimi zgradbami, ki razdeljujejo vodotok na posamezne rečne odseke, je na Zadnji Sori (3,01 prečna vodna zgradba/km),

Selški Sori (2,34 prečna vodna zgradba/km), Sori (1,06 prečna vodna zgradba/km) in Poljanski Sori (1,00 prečna vodna zgradba/km). Pri analizi gostote obremenjenosti vodotokov s prečnimi vodnimi zgradbami smo upoštevali vse evidentirane prečne vodne zgradbe ne glede na njihovo prehodnost za ribe.

Prehodnost prečnih vodnih zgradb za ribe v vodotokih lahko ugotavljamo na različne načine in sicer z opazovanjem in snemanjem, hidroakustičnem sonarjem, popisom rib z oceno gostote in številčnosti (elektroribolov) idr. V Sloveniji ni dostopnih podatkov o tem, koliko je posamezna prečna vodna zgradba prehodna za ribe. Prehodnost pregrad za evidentirane ribe v Sori, Selški Sori, Zadnji Sori in Poljanski Sori, ki so povzete po Urbanič in Podgornik (2012), smo skušali določiti iz že znanih skakalnih in plavalnih sposobnosti rib. Iz podatkov o plavalnih lastnostih rib smo skušali izračunati skakalne višine posameznih rib. V literaturi nismo našli podatkov o plavalnih in skakalnih sposobnostih za večino ribjih vrst, evidentiranih v porečju Sore, na podlagi katerih bi lahko določili prehodnost prečnih vodnih zgradb za ribe. Prav tako v literaturi ni na voljo podatkov o skakalnih in plavalnih sposobnostih različnih vrst rib v različnih življenjskih obdobjih. Glede na literaturo (Horvat, 1993; Peter, 1998) smo se odločili, da vse prečne vodne zgradbe, ki so večje od 20 cm, predstavljajo selitvene ovire za ribe. Na obravnavanem območju smo tako evidentirali 115 za ribe neprehodnih prečnih vodnih zgradb, 34 prehodnih prečnih vodnih zgradb za ribe in 1 prečno vodno zgradbo na Sori – jez v Goričanah, ki je prehodna za ribe le v nekaterih hidroloških razmerah in v primeru, če ni zamašena s plavnim lesom ali smetmi.

V drugi delovni hipotezi smo preverjali uporabnost indeksa DCI_p za ugotavljanje vzdolžne povezanosti vodotokov na porečju Sore. Izračun indeksa DCI_p za porečje Sore temelji na dolžini rečnih odsekov, ki jih ustvarjajo prečne vodne zgradbe, skupni dolžini vodotoka in prehodnosti prečnih vodnih zgradb za ribe. Teoretični indeks DCI_p za porečje Sore izračunamo za vseh 150 prečnih vodnih zgradb s predpostavko, da je pri vsakem izračunu teoretičnega indeksa DCI_p določena prečna vodna zgradba prehodna za ribe ($p = 1$), vse ostale prečne vodne zgradbe pa imajo nespremenjeno vrednost prehodnosti za ribe. Najvišja vrednost teoretičnega indeksa DCI_p za porečje Sore nam pove, da bomo z obnovo vzdolžne povezanosti vodotoka na prečni vodni zgradbi za katero smo v izračunu predpostavili, da je popolnoma prehodna za ribe ($p = 1$), vzpostavili največjo dolžino vodotoka, ki bo ponovno na razpolago za ribe. Izračunali smo teoretične indekse DCI_p za 150 prečnih vodnih zgradb in naredili prednostni seznam z desetimi prečnimi vodnimi zgradbami, ki imajo najvišjo teoretično vrednost indeksa DCI_p . Vrednosti teoretičnih indeksov DCI_p so uporabne za oblikovanje prednostnega seznama za obnovo vzdolžne povezanosti vodotokov za ribe na porečju Sore. Za primer porečja Sore nismo računali indeksa DCI_d in teoretičnega indeksa DCI_d , ker v vodotokih porečja Sore in Save ni prisotnih diadromnih rib, za katere so značilne selitve med celinskimi vodami in morjem.

Indeks DCI_p in teoretični indeks DCI_p smo izračunali samo za porečje Sore, ker smo imeli na voljo dovolj kakovostne podatke, ki smo jih dopolnili še s podatki izmerjenimi na terenu in podatki iz katastra vodnogospodarskih objektov in naprav v splošni in posebni rabi (Poljanska Sora – kataster vodnogospodarskih objektov in naprav v splošni in posebni rabi, 1995). Izračun teoretičnih indeksov DCI_p za porečje Sore s 150 prečnimi vodnimi zgradbami je trajal približno 36 ur. V kolikor bi želeli izračunati indeks DCI_p in teoretične indekse DCI_p za vsa posamezna porečja vodotokov na porečju zgornje Save, bi bilo treba pripraviti dovolj kakovostne podatke za izračun, kot smo to naredili za porečje Sore. Izračun indeksa DCI_p in teoretičnih indeksov DCI_p za vsa posamezna porečja vodotokov porečja zgornje Save je zahteven (priprava podatkov o prečnih vodnih zgradbah, priprava vhodnih podatkov za izračun v R, časi računanja) ter zelo pomemben za trajnostno in celovito upravljanje voda skladno z vodno direktivo.

6 REŠITVE PRI VZPOSTAVLJANJU VZDOLŽNE POVEZANOSTI VODOTOKOV ZA RIBE

6.1 Splošno

Motnje rečne in habitatne vzdolžne povezanosti so velika hidromorfološka obremenitev. Jezovi in pragovi predstavljajo prečne vodne zgradbe, ki lahko onemogočajo selitve rib po vodotoku in vplivajo na naravne selitvene vzorce ribjih vrst. Prečne vodne zgradbe lahko omejujejo dostop ribam do primernih habitatov in drstišč. Vplive prečnih vodnih zgradb na ribe lahko ublažimo z izvedbo omilitvenih ukrepov, kot je porušitev prečne vodne zgradbe ali pa izgradnja ribjih prehodov. Ribji prehod je zgradba, ki omogoča ribam, da prečkajo prečno vodno zgradbo v vodotoku v gorvodni in dolvodni smeri (Measures for ensuring ..., 2013; Kolman in Mikoš, 2006). Omilitveni ukrepi za vzpostavitev selitvenih poti za ribe morajo biti izvedeni na mestih, kjer bodo ukrepi imeli največji ekološki učinek, zato je treba v prvi fazi načrtovanja narediti prednostni seznam prečnih vodnih zgradb, na katerih se vzpostavi vzdolžna povezanost vodotokov za ribe.

6.2 Zgodovina

Prvi ribji prehodi zgrajeni v 17. stoletju v Franciji so bili sestavljeni iz strmih in širokih odprtih kanalov s hrapavim dnom iz snopov vej. Ribje prehode se je začelo graditi okoli leta 1850 s pojavom hidravličnih turbin in hidroenergetskih jezov. Eden izmed prvih dokumentiranih ribjih prehodov v letih 1852-1854 je na reki Ballisodare na Irskem. Prva prizadevanja pri izgradnji ribjih prehodov so temeljila bolj na navdihu kot na znanstvenem in inženirskem znanju. Verjetno so bile prve znanstvene raziskave o hidravliki ribjih prehodov narejene v Belgiji, kjer je Denil okoli leta 1900 razvil nov model ribjega prehoda, ki je bil zelo učinkovit pri disipaciji vodne energije (Kamula, 2001; Fish passes ..., 2002). Denil je pospešil nadaljnji razvoj ribjih prehodov. Njegovi načrti in študije so bili povod za nadaljnje hidravlične raziskave. Raziskave o hidravliki ribjih prehodov so se začele okoli leta 1980. Predmet intenzivnih hidravličnih raziskav je bil še posebej tip ribjega prehoda Denil. Poleg Denil ribjih prehodov so bile hidravlične študije narejene še za bazenski tip ribjih prehodov in ribje prehode z vertikalnimi prekatami. Po letu 1990 je začelo naraščati število raziskovalcev, ki so se ukvarjali z izgradnjo in upravljanjem ribjih prehodov. Eden glavnih ciljev raziskav o ribjih prehodih je, da se ugotovi, kateri so najboljše in uporabnejše ribji prehodi z učinkovitejšimi pretočnimi razmerami skozi objekt in preprostim vzdrževanjem (Kamula, 2001).

6.3 Biološke osnove selitev rib

Vse ribe izvajajo ciljne habitatne premike v posameznih starostnih obdobjih. Ribe se selijo z namenom, da optimizirajo rabo virov in produktivnost (npr. prehrana, zaščita pred plenilci, katastrofalne poplave, porazdelitev, rast, reprodukcija) (Larinier, 2000; Measures for ensuring ..., 2013). Selitve rib zaradi razmnoževanja se največkrat pojavijo v gorvodni smeri, pri čemer se začetek selitev razlikuje med rekami. Nekatere ribe se selijo na drstitutna območja v času nizkih pretokov (npr. potočna postrv od poletja do jeseni, menek med zimo). Dolvodne selitve rib se pojavljajo zaradi razširjanja, plavljenja (mladic med poplavami) proti jesenskim ali zimskim habitatom ali nazaj k njihovim glavnim razmnoževalnim habitatom (Measures for ensuring ..., 2013).

Celovitost ribjih populacij je odvisna od dostopnosti habitata. Zato motnja vzdolžne povezanosti vodotokov negativno vpliva na ribe in ogroža ribje populacije. Selitev rib je rezultat več dejavnikov, ki jih lahko delimo na notranje in zunanje dejavnike. Zunanji dejavniki so abiotске razmere kot npr. svetloba, pretok, temperature vode, kakovost vode, vsebnost kisika v vodi, dostopnost habitatov in antropogeni vplivi (npr. ladijski promet), drift, plenilstvo in razpoložljivost hrane. Pomembni notranji dejavniki so hormonska pripravljenost za razmnoževanje, prehranske zahteve, stres ali drugi endogeni dejavniki (npr. vrnitev v rojstni kraj). Na notranje dejavnike močno vplivajo zunanji dejavniki (Measures for ensuring ..., 2013).

6.4 Orientacija in selitveno obnašanje rib

Ribe med selitvami uporabljajo vid in otip ter pobočnico za orientacijo v neposredni okolici in določitev smeri gibanja (gorvodno). Pomen sluha pri selitvi rib še raziskujejo. Znano je, da tokovne razmere in podvodne zgradbe ustvarjajo tipične zvočne učinke, ki lahko delujejo kot pomoč pri orientaciji. Prav tako so pomembni kopensko magnetno polje in čuta za toploto in vonj, saj imajo nekateri vodotoki tipičen vonj, ki pomaga, da ribe prepoznajo vodotoke (Measures for ensuring ..., 2013).

Zaznavanje toka, orientacija in obnašanje rib pri plavanju lahko povzamemo z ugotovitvijo, da so vse ribe sposobne zaznati vodni tok pri določeni mejni vrednosti, ki ga uporabijo za orientacijo in plavanje proti toku vode (pozitivna reotaksa – gibanje v nasprotni smeri toka vode). Če vrednost hitrosti vodnega toka pade pod določeno mejno vrednost značilno za vrsto in starost rib, ribe izgubijo orientacijo oz. pozitivno reotakso. Večina rib se seli gorvodno znotraj ali vzporedno z glavnim tokom, pri čemer ribe posamezne vrste in starostnega obdobja preferirajo določene hitrosti toka vode. Če je na rečnem odseku prisotnih več tokov vode z različnimi hitrostmi, ribe za orientacijo izberejo tok, ki ima

najvišjo hitrost. Močno turbulentne pretočne razmere, povratni tokovi ali mirne vode motijo gorvodno orientacijo rib. Pri ribjem prehodu mora biti zato hitrost toka vode na vhodnem delu večja kot v bližnji okolici, da ribe privablja, da zaplavajo v ribji prehod (Measures for ensuring ..., 2013).

Ribe se pri gorvodni selitvi različno obnašajo in jih je možno razvrstiti glede na njihove prednostne selitvene koridorje:

- orientacija po rečnem dnu,
- orientacija ob obalni liniji blizu dna in
- orientacija proti "odprtim vodam" (Measures for ensuring ..., 2013).

6.5 Funkcionalnost ribjih prehodov

Ribji prehodi so zgradbe, ki omogočajo ribam in drugim vodnim organizmom (npr. bentoškimi nevretenčarjem), da prečkajo neprehodno prečno vodno zgradbo v vodotoku. Prvi poskusi izgradnje ribjih prehodov so omogočali le gorvodne selitve rib, danes pa morajo ribji prehodi omogočati gorvodne in dolvodne selitve vodnih organizmov. Pri gradnji funkcionalnega ribjega prehoda moramo dobro poznati hidrološke razmere in hidromorfološke zahteve za lokalne ribje populacije (Measures for ensuring ..., 2013).

Ribji prehod mora delovati skozi celo leto. Ribji prehod je funkcionalen, ko predstavlja primeren selitveni koridor za vse ribje vrste v različnih življenjskih obdobjih. Omogočen mora biti prehod tudi najšibkejšim ribam in ribam v različnih življenjskih obdobjih (vsaj eno leto starim ribam). Minimalna hitrost vode skozi ribji prehod za salmonide je 0,3 m/s in 0,2 m/s za vse druge ribe. V praksi ni vedno možno zgraditi ribji prehod, ki zagotavlja ustrezne selitvene razmere v vseh pretočnih situacijah. Tudi ribam se biološko ni potrebno seliti 365 dni na leto, zato je ocenjeno, da je funkcionalen ribji prehod tisti, ki uspešno obratuje vsaj 300 dni na leto. Ta mejna vrednost hitrosti vode skozi ribji prehod morda ni ustrezna za vse reke (Measures for ensuring ..., 2013). Pomembno je, da je ribji prehod funkcionalen toliko dni, kot je mogoče, še posebno v obdobju selitev rib za potrebe razmnoževanja. V rekah, kjer je prisotna potočna postrv ali menek, je treba funkcionalnost ribjega prehoda zagotavljati v obdobju majhnih pretokov – to je jeseni in pozimi, ko se te ribe selijo za potrebe razmnoževanja. V potamalnih rekah (spodnji tok reke) je selitveni višek pomladi in poleti, zato je treba funkcionalnost ribjega prehoda zagotavljati pri visokih pretokih (Measures for ensuring ..., 2013).

6.6 Priporočila pri načrtovanju ribjih prehodov

6.6.1 Biološki podatki, hidravlični podatki in podatki o območju

Značilnosti ribjega prehoda opišemo z biološkimi podatki, hidravličnimi podatki in podatki o območju. Pred konstruiranjem ribjega prehoda moramo zbrati vse možne podatke. Podatki, ki jih je treba pri gradnji ribjega prehoda upoštevati, so (Bates, 2000):

- Biološki podatki: ribji prehod konstruiramo na podlagi biološkega kriterija. Prehod za ribe moramo dimenzionirati za najbolj šibke ribe. Pomembni biološki podatki so: podatki o ciljnih selitvenih ribjih vrstah, za katere bo ribji prehod grajen, cikli selitev rib, plavalne sposobnosti rib in vedenjski vzorec rib. Prav tako je pri načrtovanju ribjega prehoda pomemben vedenjski vzorec ribjih vrst. Za posamezne vrste moramo poznati: način selitev, ki vključuje sledenje obalni liniji, globino plavanja, mesta, kjer se ribe zadržujejo, odziv rib na različne hidravlične razmere in odziv rib na svetlobne razmere. Upoštevati moramo tudi značilnosti selitev ribjih mladice, saj pomembno vplivajo na gorvodno in dolvodno porazdelitev rib v populaciji (Bates, 2000).
- Podatki o hidravličnih lastnostih: preučiti moramo značilnosti toka vode skozi prečno vodno zgradbo, kakor tudi analizirati in modelirati hidravlične lastnosti toka vode skozi ribji prehod (Bates, 2000).
- Podatki o območju: za dimenzioniranje ribjega prehoda moramo poznati fizične značilnosti prečne vodne zgradbe, ki vključujejo topografijo območja, hidravlične razmere, geologijo, dostopnost območja in informacije o visokih vodah, skupaj s podatki o prodonosnosti in količinah naplavin (Bates, 2000).

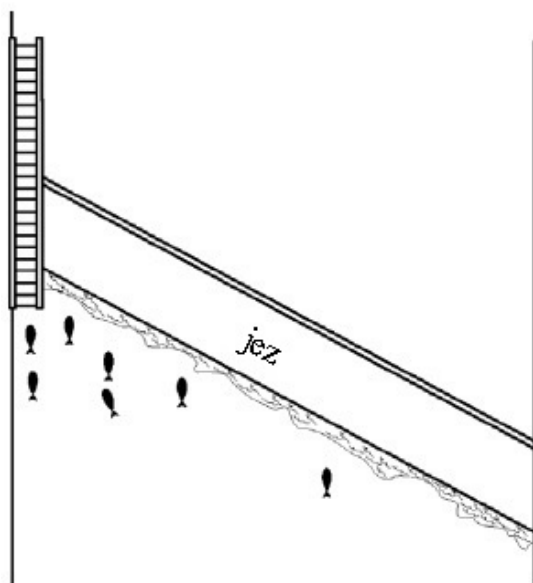
6.6.2 Vhod in izhod ribjega prehoda

Položaj ribjega prehoda izberemo glede na značaj prečne vodne zgradbe. Glavne tri vrste prečnih vodnih zgradb, ki so prisotne v vodotokih, so jezovi, hidroenergetske pregrade in derivacijske pregrade. Pri jezovih, kjer ni prisotna raba vode, ribji prehod postavimo glede na položaj jezu. Če je položaj jezu vodoraven, ribji prehod zgradimo ob strani, če je jez diagonalen, ribji prehod zgradimo na mestih, kjer se ribe zbirajo. Na hidroenergetskih pregradah ribje prehode postavimo blizu turbin. Pri derivacijskih hidroelektrarnah ribje prehode postavimo v glavni strugi, kjer je prisoten samo preostali tok, ki ne teče po derivaciji (Measures for ensuring ..., 2013).

6.6.2.1 Vhod v ribji prehod

Vhod je najpomembnejši element ribjega prehoda. Pomembno je, da ribe najdejo vhod v ribji prehod, da lahko uspešno nadaljujejo selitev. Ni pomembna samo pozicija vhoda, temveč tudi hidravlične razmere (ustrezen tok vode, ki privablja ribe), ki v največji meri omogočijo različnim vrstam rib, da najdejo vhod v ribji prehod (Measures for ensuring ..., 2013). Čez ribji prehod mora teči zadosten pretok, da na vhodni strani ribjega prehoda ustvari dovolj močan curek vode, ki privablja ribe. Dlje ko curek potuje dolvodno po vodotoku, bolj učinkovito privablja ribe. V kolikor je vhod v ribji prehod postavljen pod kotom, curek vode prodre dolvodno po vodotoku v večjem obsegu (Bates, 2000). Parametri, ki določajo položaj vhoda v ribji prehod so:

- bližina selitvenega koridorja,
- bližina prečne vodne zgradbe ali dolvodno od območja visoke turbulence,
- bližina obalne linije in na spodnji meji turbulentne cone,
- na strani glavnega toka,
- na strani kjer je postavljena hidroelektrarna,
- na strani, kjer je iztok iz turbine,
- v bazenu dolvodno od jezua pri derivacijskih hidroelektrarnah,
- na koničastem kotu jezua (pogled gorvodno) pri diagonalnih jezovih (Slika 38),
- za središčne izpuste vode iz turbin ali če optimalna lokacija vhoda v ribji prehod ni jasno vidna, je treba vključiti dva vhoda, enega ob strani in enega na sredini (Measures for ensuring ..., 2013).



Slika 38: Ribji prehod na diagonalnem jezua (Measures for ensuring ..., 2013: str. 15)

Figure 38: Fishpass on the diagonal dam (Measures for ensuring ..., 2013: p. 15)

Ker se nekateri od zgoraj napisanih parametrov lahko spreminjajo glede na dejanske pretočne razmere, se priporoča uporaba pretoka, ki se pojavlja med glavno selitveno sezono ključnih ribjih vrst. Druga možnost je izgradnja več ribjih prehodov za različne pretočne razmere.

6.6.2.2 Izhod iz ribjega prehoda

Izhod iz ribjega prehoda mora biti ustrezno oddaljen od vtoka v turbine hidroelektrarne. V primeru, da je hitrost vode na vtoku v turbino 0,5 m/s, mora biti izhod ribjega prehoda oddaljen od vtoka v turbine 5 m. V primeru, da so hitrosti vode večje moramo zagotoviti vsaj minimalno oddaljenost od vtoka v turbine 10 m. Voda, ki priteče v ribji prehod mora imeti večjo hitrost kot tok vode skozi ribji prehod (Measures for ensuring ..., 2013). Pomembno je tudi, da izhod ribjega prehoda izpeljemo v območje, kjer voda kroži. V primeru, ko voda ne kroži, obstaja možnost, da voda postane onesnažena. Voda, ki teče skozi ribji prehod, mora biti enake kakovosti, kot voda, ki teče skozi turbine in prelivna polja hidroelektrarne (Bates, 2000).

V primeru, ko je gladina zgornje vode konstantna, je vtok v ribji prehod neproblematičen. Če gladina zgornje vode niha za uravnavanje pretoka v ribji prehod uporabimo bazen, da kompenziramo različne gladine zgornje vode. Izhodni del ribjega prehoda moramo zgraditi na način, da omogočimo postavitev opreme za monitoring rib. Prav tako moramo izhodni del ribjega prehoda zaščititi pred plavnim lesom z valobrani, turbinskimi rešetkami. Poleg tega moramo redno opravljati preglede in vzdrževalna dela (Measures for ensuring ..., 2013).

6.7 Dolvodne selitve rib

6.7.1 Načini za omogočanje dolvodnih selitev rib

Obnova dolvodne povezanosti vodotokov je manj raziskana v primerjavi z gorvodnimi selitvami rib. To je posledica dejstva, da se je ponovna vzpostavitev povezanosti vodotokov začela z gorvodnimi selitvami rib. Vse bolj se uveljavlja dejstvo, da morajo ribji prehodi omogočati gorvodne in dolvodne selitve vodnih organizmov. Dolvodne selitve lahko povzročijo velike izgube rib, če te ne najdejo poti dolvodno po vodotoku ali celo poskušajo plavati skozi turbine hidroelektrarne. Zlasti novi ribji prehodi morajo omogočati gorvodne in dolvodne selitve. Ukrepe za zaščito rib moramo vključiti v vse obstoječe načrte upravljanja hidroelektrarn. Dolvodne selitve rib moramo omogočiti z dolvodnimi ribjimi prehodi, posebnimi turbinami, ki ne poškodujejo rib in uravnavanjem delovanja elektrarne skozi prelivna polja (Measures for ensuring ..., 2013).

Dolvodne selitve potekajo bodisi blizu površja (npr. mladice salmonidov) ali blizu dna (npr. mrena, podust, jegulja, itd.). Prav tako kot gorvodni ribji prehodi morajo biti objekti za dolvodne selitve povezani z dolvodnim selitvenim koridorjem (Measures for ensuring ..., 2013).

Dolvodne selitve rib lahko omogočimo na različne načine:

- Ujemi in prenesi: ribe, ki se selijo ujamemo in prenesemo dolvodno od prečne vodne zgradbe. Način ujemi in prenesi lahko uporabimo tudi za omogočanje gorvodnih selitev. S tem načinom lahko prenesemo ribe čez več zaporednih prečnih vodnih zgradb, v nasprotnem primeru bi morali zgraditi številne ribje prehode. Pri načinu ujemi in prenesi lahko preverimo funkcionalnost (monitoring podatki). Način ujemi in prenesi se ne smatra kot trajnostni.
- Preko prečne vodne zgradbe s prelivnim tokom: ribe se selijo čez delno odprte ali v celoti odprte jezove.
- Obtočni kanal in turbinske rešetke: obtočni kanal moramo locirati v bližini kjer se ribe zbirajo. Turbinske rešetke lahko kombiniramo z dolvodnim obtočnim kanalom, pri čemer vhod v obtočni kanal za dolvodne selitve rib postavimo blizu čelne strani turbinskih rešetk in na stran, kjer se ribe zbirajo.

Pri dolvodnih selitvah rib moramo preprečiti ribam vstop skozi turbine. V kolikor ribe zaidejo skozi turbine po navadi umrejo ali pa se poškodujejo npr. zaradi sprememb tlaka in hitrosti vode, trčenja s turbino ali drugimi jezovnimi strukturami, turbulence v podslapju. Strokovnjaki so razvili turbine, ki omogočajo, da se ribe pri prehodu čez turbine ne poškodujejo (Measures for ensuring ..., 2013).

6.7.2 Vedenjske ovire pri dolvodnih selitvah rib

Vedenjske ovire so naprave, ki proizvajajo spodbudo za ribe, ki je lahko odbijajoča ali privlačna. Ponavadi jih uporabljamo, da ribam preprečim vstop v turbine. Primeri takšnih naprav so:

- električna zaščita,
- zaščita iz mehurčkov,
- zvočna zaščita,
- svetlobna zaščita,
- razlika v tlaku,
- površinske stene za odvrčanje le tistih rib, ki se selijo blizu površja.

Ugotovili so, da uporaba vedenjskih ovir v Evropi ni pogosta ter da je omejena na hitrosti vode, ki so manjše od 0,3 m/s (Measures for ensuring ..., 2013).

6.7.3 Fizične ovire pri dolvodnih selitvah rib

Fizične ovire delujejo kot mehanski filtri, njihova postavitve pa mora biti zgoščena, da so učinkovite. Učinkujejo tudi na hidroenergetsko proizvodnjo, saj preprečujejo zamašitve (npr. s plavnim lesom).

Primeri takšnih naprav so:

- Fine rešetke: preprečujejo ribam vstop v kanal po katerem voda priteče do turbin. Palice na rešetkah ne smejo biti medsebojno oddaljene več kot 20 milimetrov. Za preprečitev vstopa v turbino je za manjše ribe in mladice priporočena oddaljenost med palicami na rešetki manj kot 10 milimetrov.
- Klinasta zaščita: zaščita je sestavljena iz zgoščenih palic, ki so oblikovane kot trikotnik. Zaščite so nagnjene proti toku.
- Posebne zaščite: krožni ščitniki v obliki preluknjanih plošč ali žičnih mrež, kjer velikost lukenj zavisi od prisotnih ribjih vrst (Measures for ensuring ..., 2013).

6.8 Gorvodne selitve rib in vrste ribjih prehodov

Obstaja veliko vrst ribjih prehodov. Na splošno jih razdelimo na sedem glavnih kategorij:

- bazenski tip,
- prehod Denil,
- zapiralno ribje dvigalo,
- dvigalo sistema ujemi in prenesi,
- drča,
- obtočni kanal in
- specifični ribji prehodi za jegulje in njihove mladice (Thorncraft in Harris, 2000).

Obstajajo tudi drugi načini, s katerimi omogočamo selitev rib in sicer s splavnicami in s fizičnim premeščanjem rib (Larinier, 2000). Najboljša trajnostna rešitev s katero omogočimo prosto selitev rib je odstranitev neprehodne prečne vodne zgradbe (Measures for ensuring ..., 2013).

Izbira vrste ribjega prehoda je odvisna tudi od ostalih ribjih vrst na območju prekinjene vzdolžne povezanosti vodotoka. Dimenzije ribjega prehoda so odvisne od velikosti in plavalnih sposobnosti rib. Pomembno je, da ribji prehod omogoča selitev najšibkejših ribjih vrst oz. rib v najšibkejši razvojni stopnji (Fish passes ..., 2002).

6.8.1 Bazenski tip ribjega prehoda

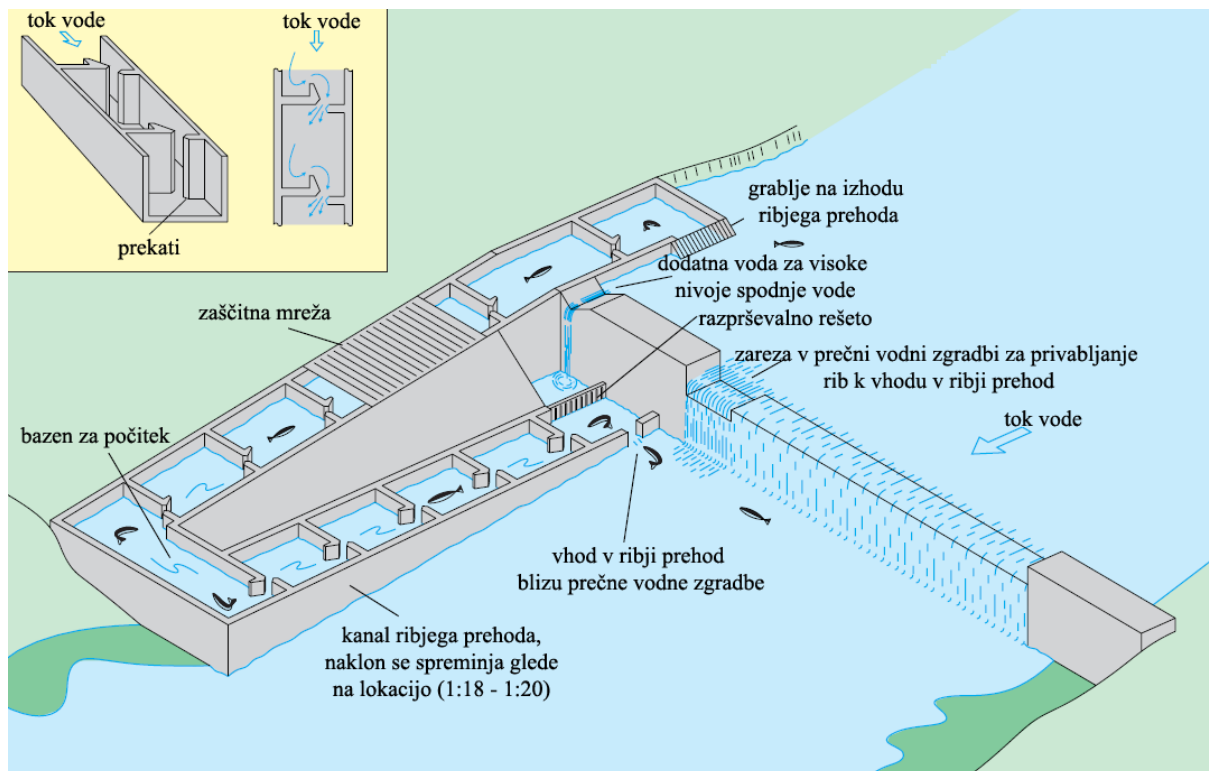
Med prvimi ribjimi prehodi so bili razviti prehodi bazenskega tipa. Sestavljeni so iz vrste povezanih bazenov, ki so nameščeni tako, da obidejo prečno vodno zgradbo v vodotoku. Na začetni stopnji razvoja je bilo delovanje ribih prehodov bazenskega tipa neučinkovito, saj so bili nekateri preveč potopljeni ter tako primerni samo za ribe, ki plavajo ob dnu. V primeru nepravilne izvedbe ribjega prehoda pride do prekomernih hitrosti vode in turbulenc. V takšnih primerih je ribji prehod neprimeren za večino ribjih vrst (Thorncraft in Harris, 2000).

Koncept uporabe bazenski tipov ribjih prehodov je zelo star, njegova uporaba pa razširjena po vsem svetu. Ribji prehod je razdeljen na serijo bazenov. Prehod vode iz enega v drug bazen je lahko omogočen:

- s površinskim prelivanjem,
- skozi eno ali več potopljenih odprtin, ki so nameščene na ločevalno steno med dvema bazenoma,
- skozi odprtine oz. reže in
- s kombinacijo naštetih (npr. preliv in odprtina).

Glavni parametri bazenskega tipa ribjih prehodov so dimenzije bazenov in geometrijske lastnosti ločevalnih sten (prekatov) med posameznimi bazeni. Geometrijske lastnosti, skupaj z gorvodnimi in dolvodnimi robnimi pogoji (nivo, hitrost vode), določajo hidravlične lastnosti ribjega prehoda. Bazeni imajo dvojni učinek, in sicer so namenjeni za počitek rib in za disipacijo energije vode iz enega v naslednji bazen (Thorncraft in Harris, 2000).

Kot učinkovit bazenski tip ribjih prehodov se je uveljavil ribji prehod z vertikalnimi prekati (Slika 39). Pri takšnih ribjih prehodih se ustvari maksimalna hitrost padanja vode v naslednji prekat, zato se dolvodni bazen obnaša kot disipator energije, obenem pa služi kot območje, kjer ribe počivajo. Pomembna značilnost ribjih prehodov s prekati je, da lahko delujejo ob različnih nivojih zgornje in spodnje vode, s čimer je ribam omogočeno, da preidejo ribji prehod ob katerikoli globini. Takšni ribji prehodi so primerni za prečne vodne zgradbe višine med 1 in 6 metri (Thorncraft in Harris, 2000).

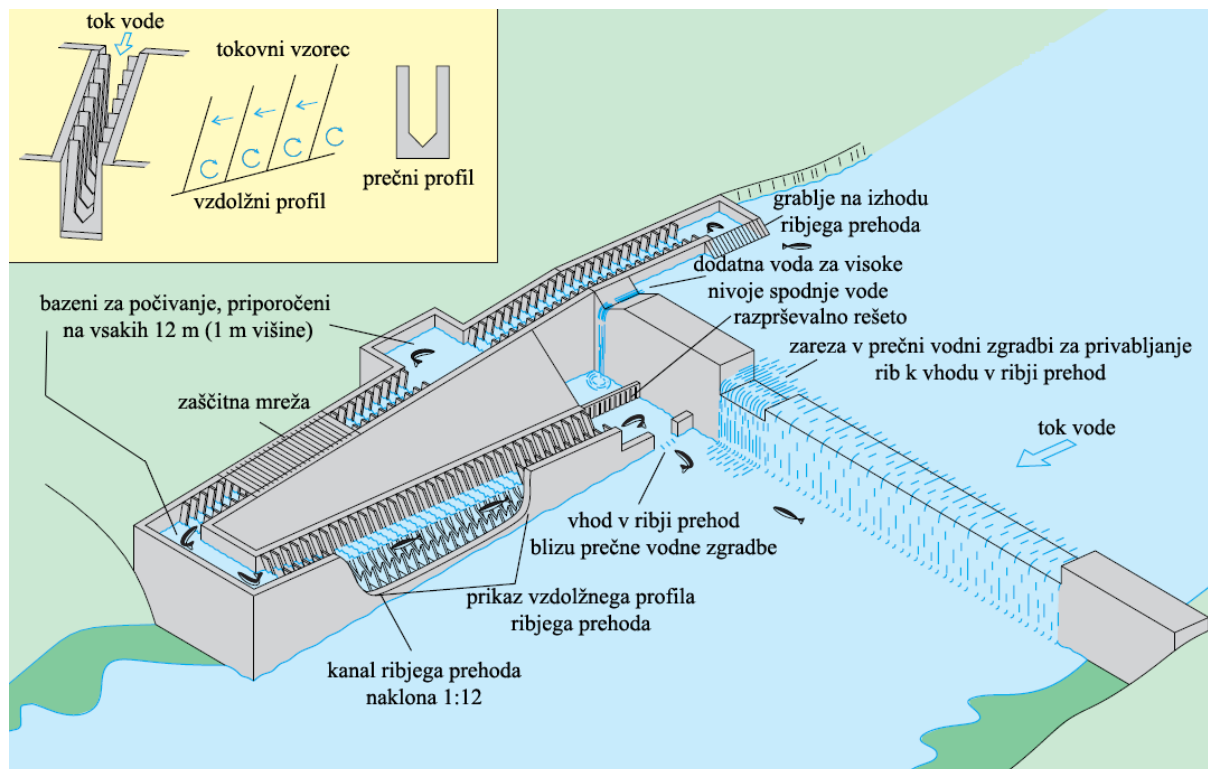


Slika 39: Ribji prehod z vertikalnimi prekati (Thorncraft in Harris, 2000: str. 9)

Figure 39: A vertical-slot fishway (Thorncraft and Harris, 2000: p. 9)

6.8.2 Ribji prehod Denil

Ribji prehod Denil je razvil belgijski inženir Denil za potrebe selitev atlantskega lososa (Slika 40) (Thorncraft in Harris, 2000). Notranja oblika prehoda povzroča učinkovito disipacijo energije. V začetnih fazah razvoja, prehod Denil ni imel vmesnih delov, kjer bi ribe lahko počivale. Nato so razvili prehode Denil z bazeni za počivanje rib, ki so postavljeni na intervalih od 10 do 12 m za odrasle losose in 6 do 8 m za manjše ribe, kot so potočne postrvi ali druge odrasle potamodromne vrste (npr. mreže). Ribji prehod Denil uporabljamo za ribe z dobrimi plavalnimi sposobnostmi (Larinier, 2000; Dams, fish and fisheries ..., 2001). Ribji prehod Denil ima niz poševnih, gorvodno usmerjenih ovir oz. odbojnikov v obliki "U" profila. Ribji prehod Denil uporabljamo v strmih strugah zaradi hidravlične učinkovitosti ribjega prehoda ter izvedbe in stroškov izgradnje ribjega prehoda. Zaradi omenjenih lastnosti prehod Denil nameščamo tudi kot sanacijski ukrep v neučinkovite bazenske tipe ribjih prehodov. Večji bazeni v ribjem prehodu Denil so namenjeni za počivanje rib in so priporočeni na vsak višinski meter. Denil ribji prehodi so v primerjavi z ribjimi prehodi z vertikalnimi prekati manj primerni za ribe, ker se učinkovitosti vertikalnih asimetričnih odbojnikov z naraščanjem globine manjša (Thorncraft in Harris, 2000).

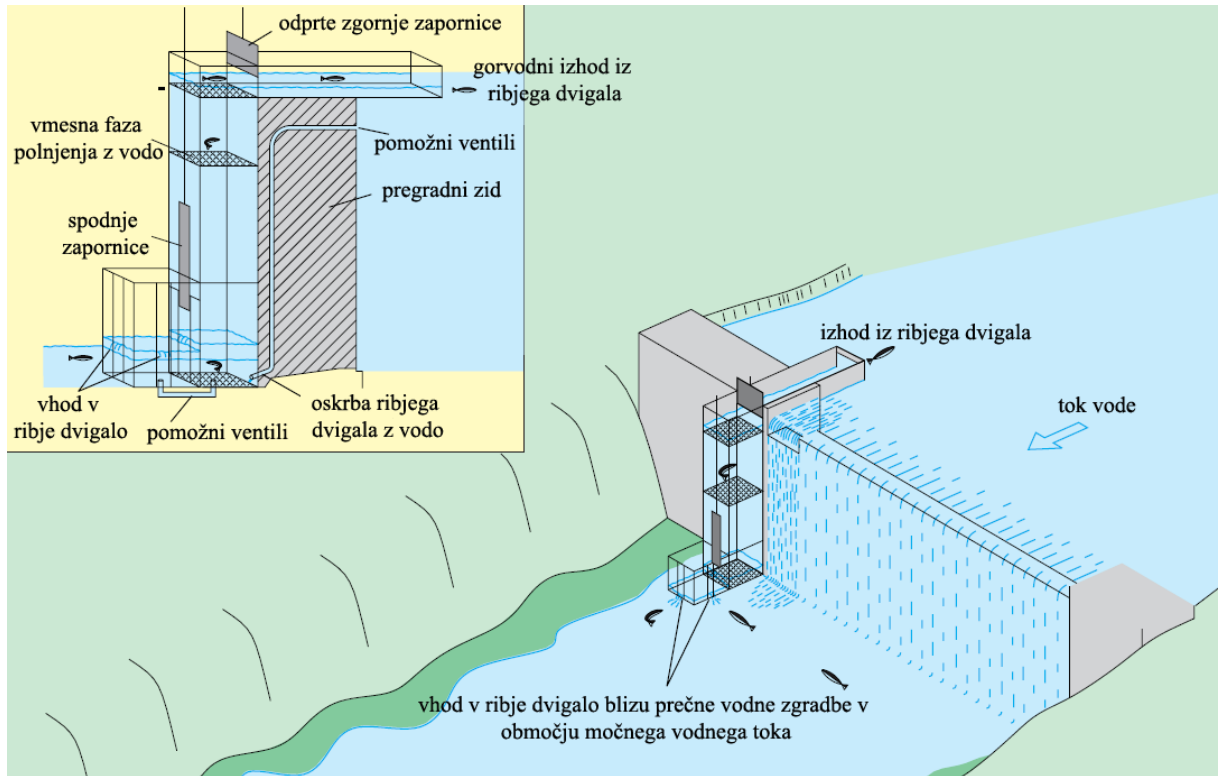


Slika 40: Ribji prehod Denil (Thorncraft in Harris, 2000: str. 11)

Figure 40: A Denil fishway (Thorncraft and Harris, 2000: p. 11)

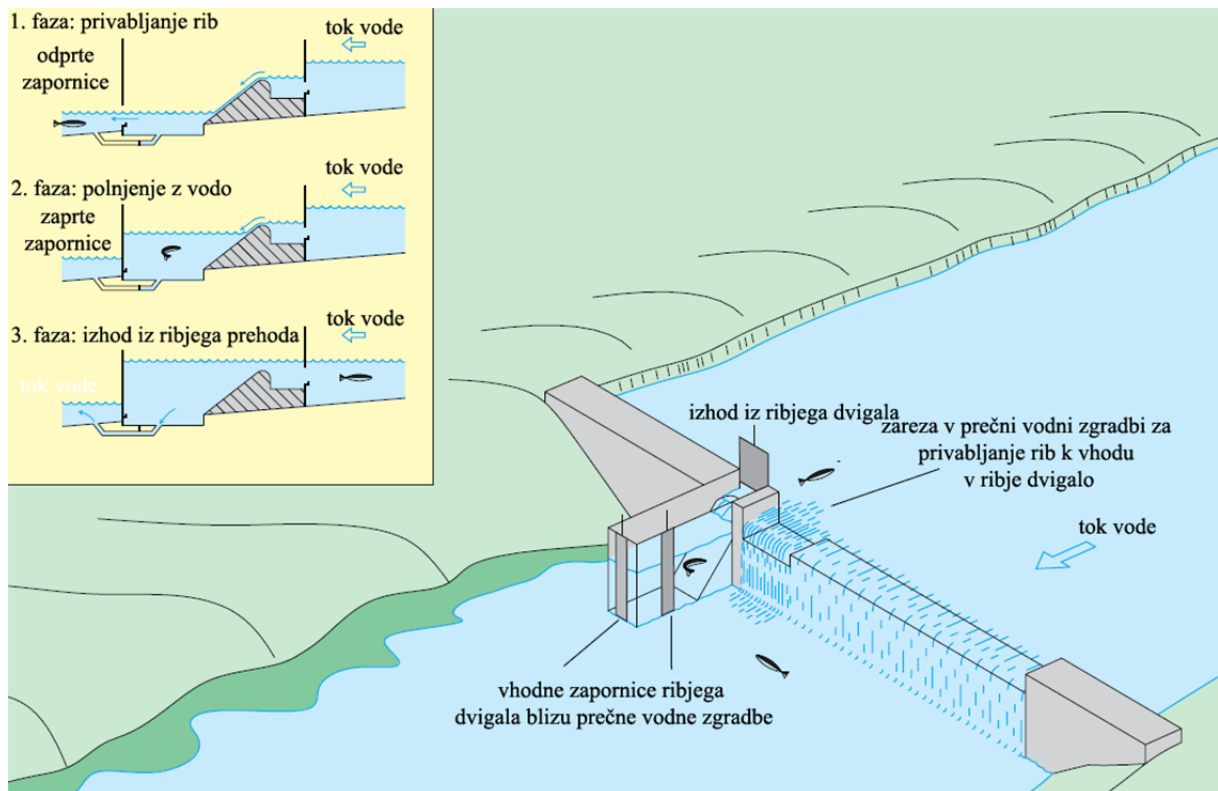
6.8.3 Zapiralno ribje dvigalo

Zapiralno ribje dvigalo deluje na način, da se ribe privablja skozi vhod v ribje dvigalo, kjer se zbirajo v za to namenjenem zadrževalnem območju (Slika 41 in Slika 42). Zadrževalno območje se zapre s pomočjo zapornice in napolni z vodo do nivoja gorvodne vode, kjer se zapornice ribjega dvigala odprejo, da lahko ribe splavajo ven. Da se ribe vzpodbudi k plavanju v vstopni del in da nato izstopijo, uporabljamo tokove, ki ribe privabljajo. Dokazano je bilo, da so številna zapiralna ribja dvigala neučinkovita. Njihova slabost je, da imajo omejeno kapaciteto zajema rib v primerjavi z drugimi ribjimi prehodi. Zapiralna ribja dvigala so relativno neučinkovita tudi zaradi načina delovanja, saj obstaja možnost, da ribe predčasno zapustijo komoro za transport pred zaprtjem z zapornico (Thorncraft in Harris, 2000).



Slika 41: Zapiralno ribje dvigalo (Thorncraft in Harris, 2000: str. 12)

Figure 41: A lock fishway (Thorncraft and Harris, 2000: p. 12)

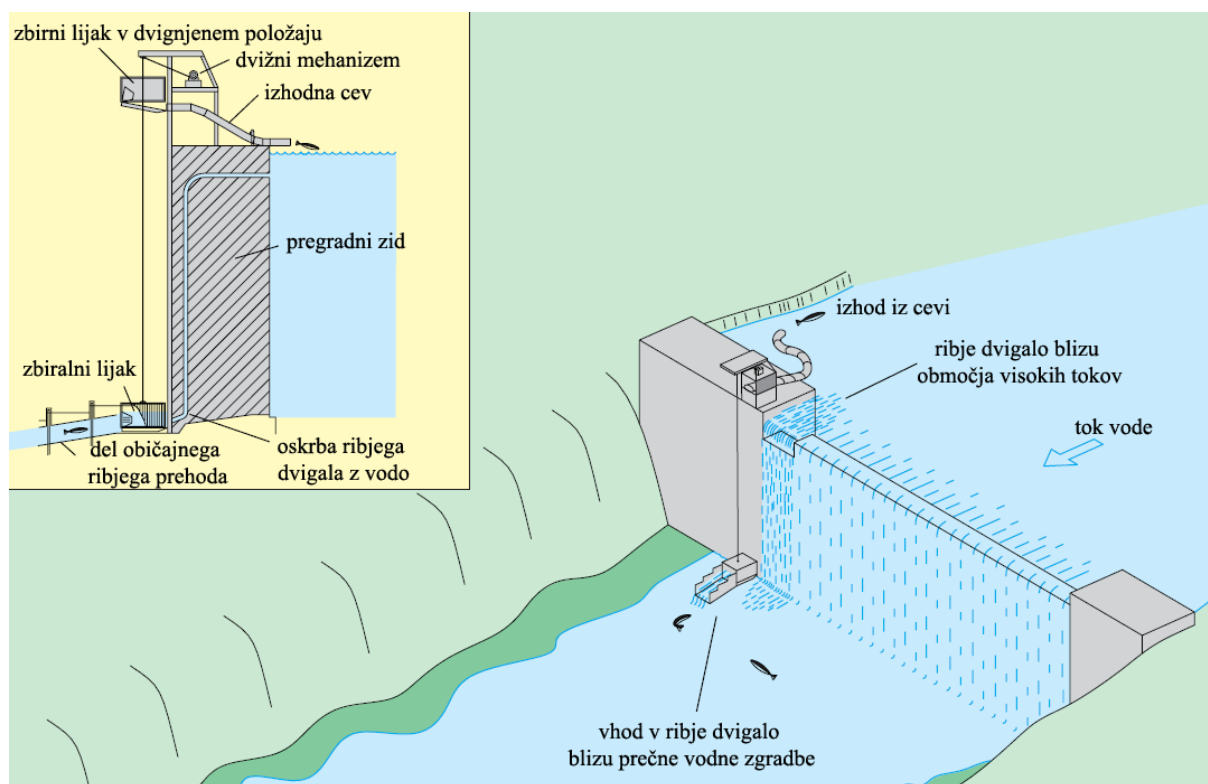


Slika 42: Zapiralno ribje dvigalo za nizke prečne vodne zgradbe (Thorncraft in Harris, 2000: str. 12)

Figure 42: A low level-lock fishway (Thorncraft and Harris, 2000: p. 12)

6.8.4 Ribje dvigalo sistema "ujemi in prenesi"

Ribje dvigalo sistema "ujemi in prenesi" je vrsta ribjega dvigala, pri katerem se na spodnji strani pregrade privablja in zbira ribe, ki se jih nato mehansko prenese čez pregrado (Slika 43). Najprej ribe privabimo s kratkim bazenskim tipom ribjega prehoda, nato se ribe ujamejo v zbiralni lijak in v dvigalu prenesejo na zgornji nivo vode (Thorncraft in Harris, 2000).

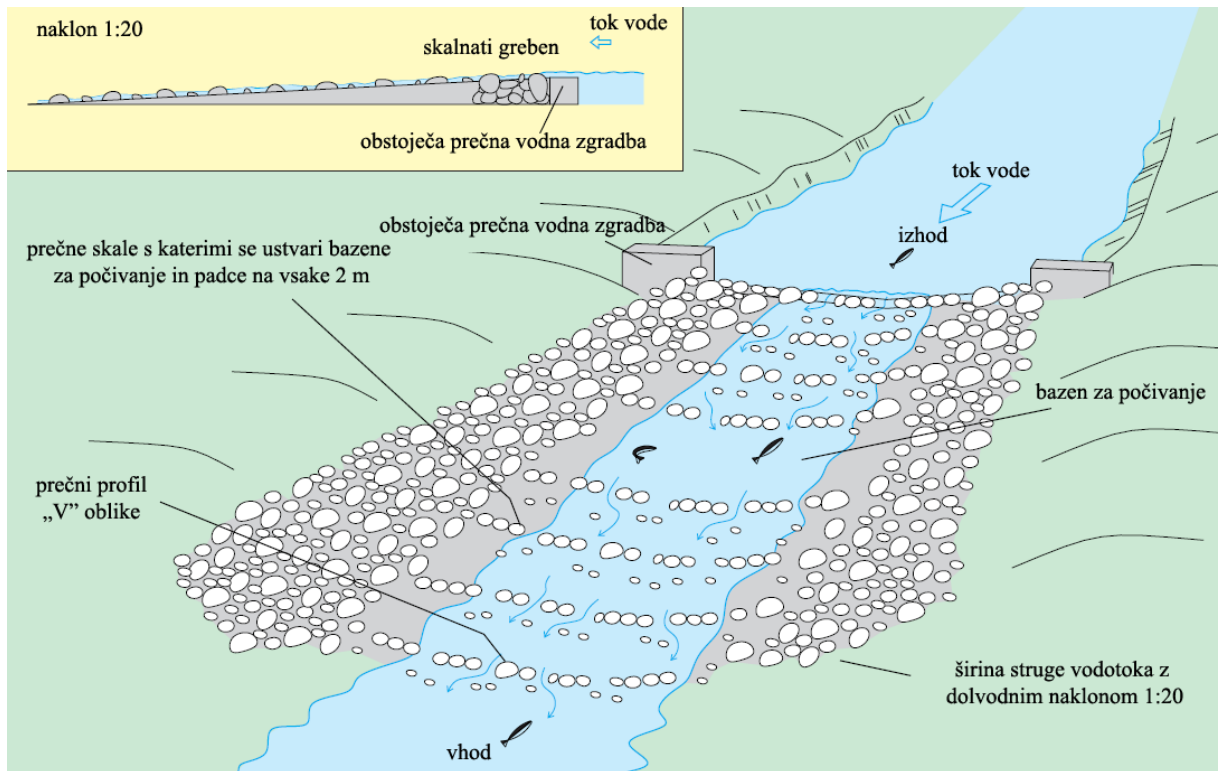


Slika 43: Ribje dvigalo sistema "ujemi in prenesi" (Thorncraft in Harris, 2000: str. 13)

Figure 43: A trap-and-transport fishway (Thorncraft and Harris, 2000: p. 13)

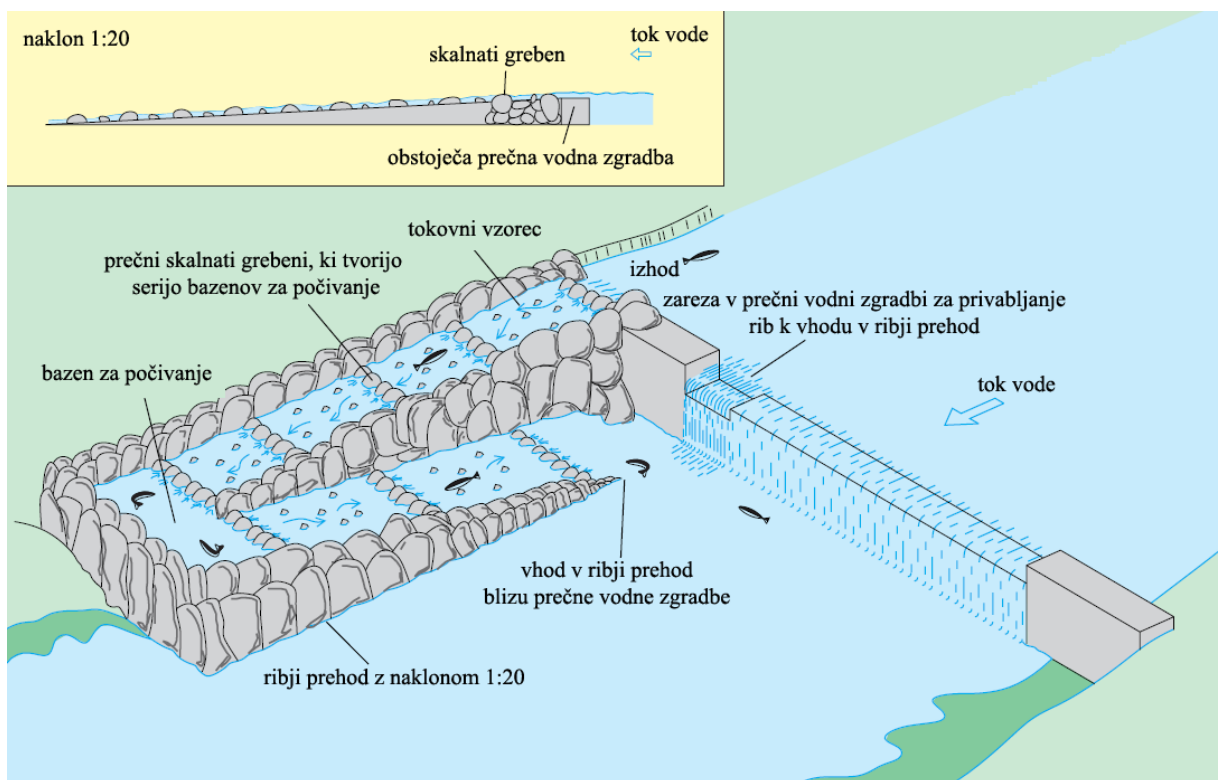
6.8.5 Hrapava drča

Hrapave drče so preprosti in cenovno ugodni ribji prehodi za premagovanje nizkih prečnih vodnih zgradb, ki služijo tudi kot ukrep za preprečevanje erozije. Zgradimo jih v naklonu 1:15 do 1:20, kjer velike skale namestimo tako, da tvorijo majhne prečne bazene, ki si sledijo na vsaka 2 metra. Hrapave drče lahko zgradimo na način, da se razprostirajo čez celoten prečni profil vodotoka (Slika 44) ali pa le na določenih delih vodotoka (Slika 45). V obdobjih majhnih pretokov se čez drčo selijo ribe in mladice, v obdobju višjih pretokov pa zagotavlja prehod tudi za velike ribe (Thorncraft in Harris, 2000).



Slika 44: Hrapava drča čez celoten prečni profil vodotoka (Thorncraft in Harris, 2000: str. 14)

Figure 44: A rock-ramp fishway across the whole transverse river-bed profile (Thorncraft and Harris, 2000: p. 14)

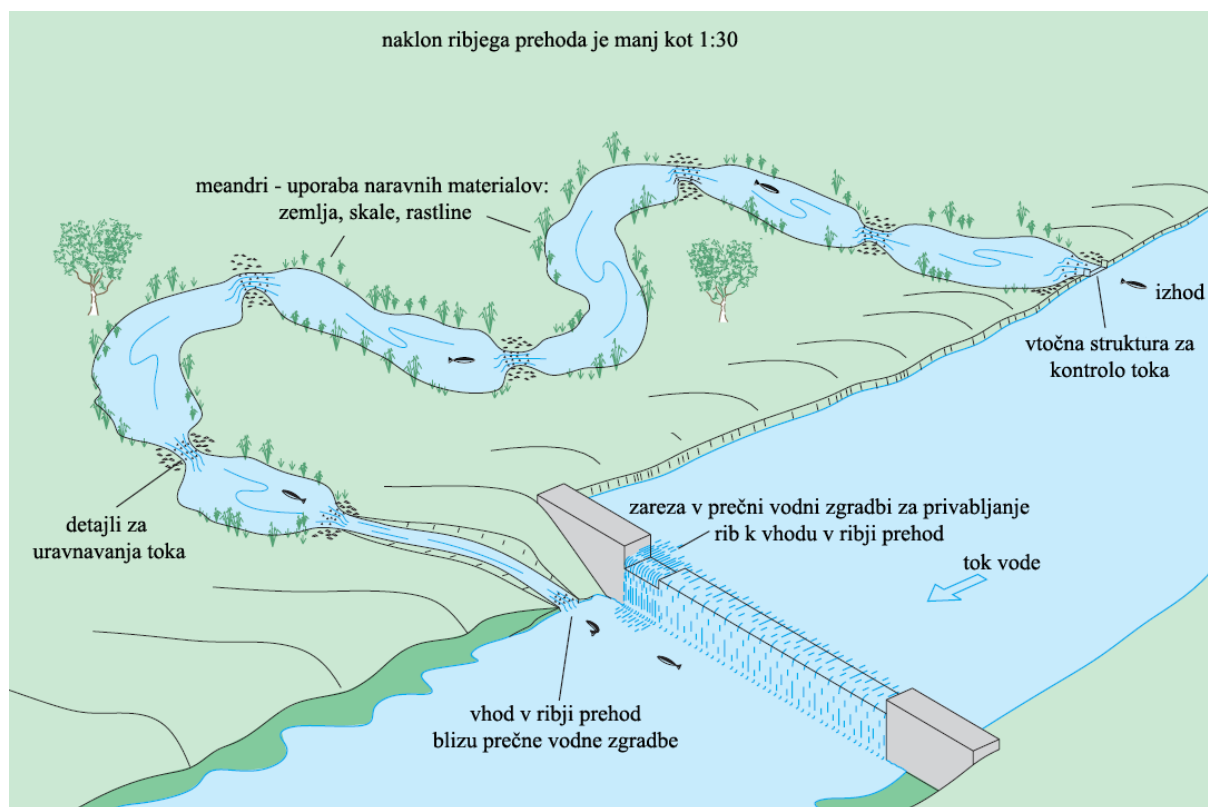


Slika 45: Hrapava drča v obrežnem prostoru (Thorncraft in Harris, 2000: str. 14)

Figure 45: A rock-ramp fishway in the riparian area (Thorncraft and Harris, 2000: p. 14)

6.8.6 Obtočni kanal

Obtočni kanal (Slika 46) je ribji prehod, ki ga speljemo mimo prečne vodne zgradbe in je zato primeren za selitve velikega števila ribjih vrst. Sestavljen je iz naravnih materialov kot sta zemlja in kamenje, da je čim bolj podoben naravnemu vodotoku (Thorncraft in Harris, 2000). Obtočni kanal je omilitveni ukrep, s katerim nadomestimo del izgubljenega habitata. Glavna značilnost obtočnega kanala je majhen padec, ki znaša od 1 do 5 % oz. pri nižinskih rekah še manj. Energija toka vode se dissipira skozi brzice in kaskade, ki so porazdeljene na način kot v naravnih vodotokih. Pomanjkljivost obtočnega kanala je, da rabimo prostor in tehnične objekte, kot so npr. zapornice za kontrolo nivoja zgornje vode. Tako kot pri vseh ostalih ribjih prehodih, mora biti vhod v obtočni kanal umeščen čim bližje prečne vodne zgradbe. Zaradi majhnih padcev je včasih težko namestiti vhod za ribe v obtočni kanal pod prečno vodno zgradbo, kar pomeni, da je vhod postavljen nižje ob vodotoku. Daljša kot je oddaljenost vhoda v obtočni kanal od prečne vodne zgradbe, slabša je njegova učinkovitost (Larinier, 2000; Dams, fish an fisheries ..., 2001).



Slika 46: Obtočni kanal (Thorncraft in Harris, 2000: str. 15)

Figure 46: A bypass fishway (Thorncraft and Harris, 2000: p. 15)

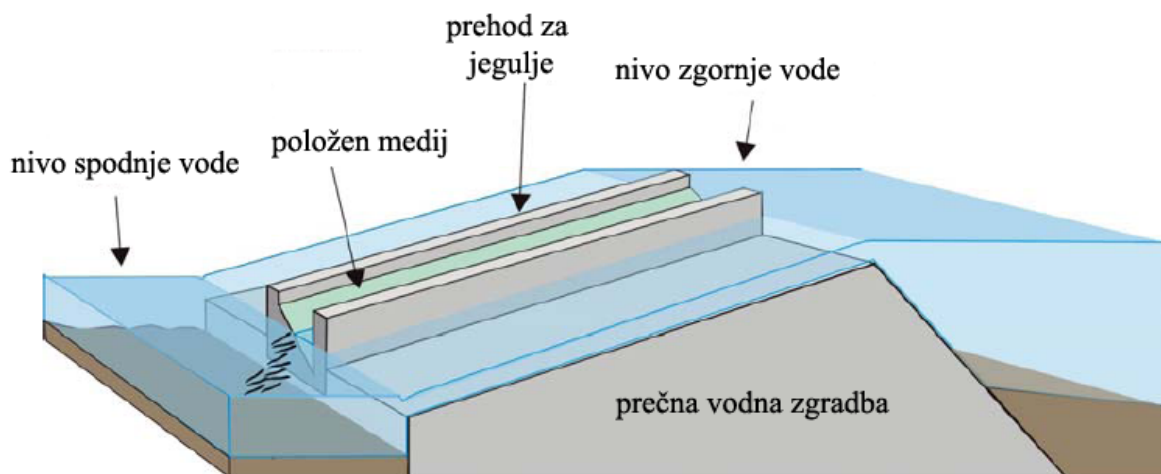
6.8.7 Ribji prehodi za jegulje in njihove mladice

Ugotovili so, da za nekatere ribje vrste do sedaj naštetih ribji prehodi niso učinkoviti npr. za jegulje. Plavalne sposobnosti jegulj so omejene in povezane s hrapavim substratom. Pri gradnji prehoda za jegulje moramo zagotoviti majhne pretoke in hitrosti vode čez ribji prehod ter primeren substrat na dnu ribjega prehoda. Za substrat lahko uporabljamo šope ščetin iz različnih materialov (Slika 47). Poleg prehoda za jegulje (Slika 48) se uporablja še dvigalo za jegulje (Slika 49) (Solomon in Beach, 2004).



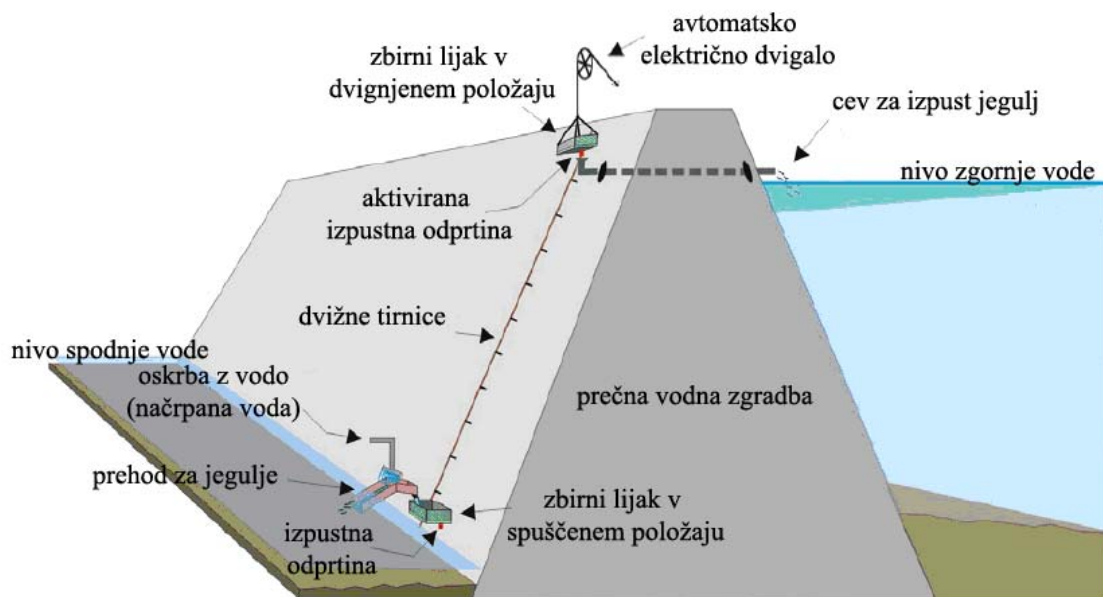
Slika 47: Ščetinast substrat (Solomon in Beach, 2004: str. 16)

Figure 47: Bristle substrate (Solomon and Beach, 2004: p. 16)



Slika 48: Prehod za jegulje (Solomon in Beach, 2004: str. 8)

Figure 48: Eel pass (Solomon and Beach, 2004: p. 8)



Slika 49: Dvigalo za jegulje (Solomon in Beach, 2004: str. 10)

Figure 49: Eel lift (Solomon and Beach, 2004: p. 10)

6.8.8 Splavnice

Poseben primer ribjih prehodov so splavnice, ki lahko služijo tudi za transport rib. Splavnice nimajo vgrajenih sredstev za privabljanje rib, ker so postavljene v mirnih območjih primernih za manevriranje ladij. Testi, ki so jih opravili na reki Kolumbiji, so pokazali, da le 1,5 % selitvenih rib uporablja splavnico. V kolikor želimo splavnico uporabljati kot pomagalo za selitve rib, moramo zagotoviti dolvodni tok, ki ribe privablja. To lahko omogočimo z odprtjem dolvodnih zapornic. Ko je enkrat splavnica polna, je treba vzdrževati zadostno hitrost toka vode, da se ribe vzpodbudi h gorvodnim selitvam po vodotoku. Uporaba splavnice za omogočanje selitev rib po vodotoku je omejena zaradi upoštevanja priporočil o plovbi (Larinier, 2000; Dams, fish and fisheries ..., 2001).

6.8.9 Fizično premeščanje rib

V primeru verige hidroelektrarn lahko uporabljamo tudi fizično premeščanje rib. Ukrep je lahko začasen, oz. ga izvajamo v času pred gradnjo ribjih prehodov, ali pa ga uporabljamo, ko zaradi tehničnih razlogov niso omogočene učinkovite selitve rib. Ribe ujamemo dolvodno od prečne vodne zgradbe in jih fizično premestimo na območja, primerna za drstenje in hranjenje (Larinier, 2000).

6.9 Pregled slovenske zakonodaje in nadaljnje usmeritve za izboljšanje vzdolžne povezanosti vodotokov

6.9.1 Splošno

Obremenitve slovenskih vodotokov s prečnimi vodnimi zgradbami še niso bile vrednotene kot smo to prikazali v magistrskem delu. Prav tako v Sloveniji nimamo razvite metode za prednostno razvrščanje prečnih vodnih zgradb za izboljšanje vzdolžne povezanosti, ki bi jo lahko uporabljali pri načrtovanju upravljanja z vodami. Z indeksom DCI lahko ovrednotimo obremenitve vodotokov s prečnimi vodnimi zgradbami in prednostno razvrstimo prečne vodne zgradbe z namenom, da na njih vzpostavimo vzdolžno povezanost vodotokov. S teoretičnim indeksom DCI določimo tiste prečne vodne zgradbe, ki najbolj vplivajo na gorvodne selitve rib. Izračun indeksa DCI in teoretičnih indeksov DCI lahko izboljšamo na način, da natančno določimo gorvodno in dolvodno prehodnost prečnih vodnih zgradb za vse prisotne vrste rib na obravnavanem porečju. Prehodnost posameznih prečnih vodnih zgradb lahko določimo na dva načina: prvi način je z opazovanjem ali snemanjem rib, ki plavajo čez prečno vodno zgradbo, hidroakustičnim sonarjem, popisom rib (npr. elektroribolov) (Kemp in O'Hanley, 2010). Drug način je določitev plavalnih in skakalnih sposobnosti ribjih vrst. Za nekatere ekonomsko pomembne ribe (npr. losos, potočna postrv) so plavalne in skakalne sposobnosti že določene (Meixler in sod., 2009), za ostale vrste, tudi tiste, ki so prisotne v slovenskih vodah, pa teh podatkov nismo našli.

6.9.2 Zakonodajni okvir vzpostavljanja vzdolžne povezanosti vodotokov v Sloveniji

Zakonodajni okvir v povezavi s prečnimi vodnimi zgradbami, ribami in vzdolžno povezanostjo vodotokov je v Sloveniji opredeljen z:

- Zakonom o sladkovodnem ribištvu (2006),
- Zakonom o vodah (2002): z Zakonom o vodah (2002) smo v pravni red Republike Slovenije prenesli tudi vodno direktivo (Direktiva 2000/60/ES),
- Načrtom upravljanja voda za vodni območji Donave in Jadranskega morja 2009-2015 (2011) in
- Programom ukrepov upravljanja voda 2011-2015 (2011).

V Zakonu o sladkovodnem ribištvu (2006) je določeno, da morajo biti posegi v ribiški okoliš načrtovani na način, da ne vplivajo negativno na ribe. Predvsem je treba pri posegih v vodotoke zagotoviti ohranjanje ribjih vrst, njihove pestrosti, starostne strukture in številčnosti. Zaradi prehajanja rib čez prečne vodne zgradbe mora investitor zagotoviti ustrezen ribji prehod. Funkcionalnost ribjega prehoda na prečni vodni zgradbi mora zagotoviti lastnik ali najemnik prečne vodne zgradbe. Gradnje objektov, ki se izvajajo na vodnih zemljiščih po predpisih o graditvi objektov, se lahko izvajajo po

predhodni pridobitvi soglasja Zavoda za ribištvo Slovenije. Prav tako Zavod za ribištvo Slovenije v sodelovanju z izvajalcem ribiškega upravljanja izda mnenje o vplivu posega na stanje rib v postopku izdaje vodne pravice.

Vodno direktivo (Direktiva 2000/60/ES) smo prenesli v slovensko nacionalno zakonodajo z objavo Zakona o vodah (2002). Slovenija se je zavezala, da bo na vseh vodotokih dosegla dobro ekološko stanje (DES) oz. dober ekološki potencial (DEP) na umetnih vodnih telesih (UVT) in močno preoblikovanih vodnih telesih (MPVT). Prečne vodne zgradbe vplivajo na elemente kakovosti ekološkega stanja v vodotokih (rekah):

- Biološki elementi: sestava in številčnost vodnega rastlinstva, sestava in številčnost bentoških nevretenčarjev, sestava, številčnost in starostna struktura rib.
- Hidromorfološki elementi, ki podpirajo biološke elemente: hidrološki režim (količina in dinamika vodnega toka, povezava s telesi podzemne vode), kontinuiteta toka, morfološke razmere (spreminjanje globine in širine reke, struktura in substrat rečne struge, struktura obrežnega pasu).
- Kemijski in fizikalno-kemijski elementi, ki podpirajo biološke elemente: toplotne razmere, kisikove razmere, slanost, zakisanost, stanje hranil.

Načrt upravljanja voda za vodni območji Donave in Jadranskega morja (NUV) 2009-2015 (2011) je po svoji vsebini nacionalni strateško načrtovalski dokument na področju upravljanja voda, ki opredeljuje mehanizme za vodenje politik, in s katerim bomo dosegli, da bodo vode leta 2015 v Republiki Sloveniji v dobrem stanju. V NUV so obravnavane tudi obremenitve in presoja vplivov človekovega delovanja na stanje podzemnih in površinskih voda, kamor spadajo tudi hidromorfološke obremenitve oz. prečne vodne zgradbe na vodotokih. Vlada Republike Slovenije je za izvedbo ciljev, ki so opredeljeni v NUV, sprejela program temeljnih in dopolnilnih ukrepov za upravljanje voda za obdobje 2011-2015. Temeljni ukrepi so vsi ukrepi, ki izhajajo iz že obstoječih predpisov, s katerimi so bila v slovenski pravni red prenesena določila Direktive 2000/60/ES ter ukrepi, ki izhajajo iz slovenske zakonodaje za področja varstva površinskih in podzemnih voda, urejanja voda, rabe površinskih in podzemnih voda in ekonomskih inštrumentov. Poleg temeljnih ukrepov so v NUV opredeljeni tudi dopolnilni ukrepi, ki bodo pripomogli k doseganju okoljskih ciljev voda do leta 2015. Dopolnilni ukrepi so razdeljeni na:

- dopolnilne ukrepe za preprečitev poslabšanja ali slabšanja stanja (DUPPS),
- dopolnilne ukrepe za doseganje dobrega stanja oz. dobrega potenciala (DUDDS),
- druge dopolnilne ukrepe (DDU),
- dopolnilne ukrepe – ekonomski inštrumenti (ED) in
- dopolnilne ukrepe za podnebne spremembe (PS).

Dopolnilna ukrepa, ki se nanašata na prečne vodne zgradbe in ponovno vzpostavitev vzdolžne povezanosti vodotokov za ribe, sta:

- DUDDS9: gradnja prehoda za vodne organizme ali premeščanje rib (na hidroenergetskih pregradah na Dravi, Savi in Soči ter na zadrževalnikih Gajševsko in Ledavsko jezero),
- DUDDS12: Rekonstrukcija nefunkcionalnega prehoda za vodne organizme (na Dravi, Savi in Ljubljnici) (Načrt upravljanja voda za vodni območji Donave in Jadranskega morja 2009-2015, 2011; Program ukrepov upravljanja voda 2011-2015, 2011).

6.9.3 Nadaljnje usmeritve pri vzpostavljanju vzdolžne povezanosti vodotokov v Sloveniji

Dopolnilni ukrepi za izboljšanje stanja vzdolžne povezanosti vodotokov so v NUV obravnavani samo na vodnih telesih površinskih voda (VTPV). Manjka obravnava prečnih vodnih zgradb na tistih vodotokih, ki niso določena kot VTPV, saj zaradi velikega števila prečnih vodnih zgradb značilno vplivajo na ribe. Z uporabo indeksa DCI je treba ovrednotiti obremenitve prečnih vodnih zgradb na vodotoke in ribe na vseh vodotokih v Sloveniji. Z ovrednotenimi prečnimi vodnimi zgradbami z indeksom DCI bomo lahko določili prednostne ukrepe za ponovno vzpostavitev vzdolžne povezanosti vodotokov za ribe.

Prednostno vzpostavljanje vzdolžne povezanosti vodotokov je treba vključiti v zakonske predpise ali pa v NUV. Izbira metode (npr. indeks DCI, metode točkovanja in razvrščanja) temelji na primernosti metode in podatkih, ki so trenutno na voljo.

Najprej bi bilo treba na podlagi rezultatov razvrstitve vodnih teles v razrede ekološkega stanja določiti prednostna porečja na katerih je treba izboljšati vzdolžno povezanost vodotokov. V nadaljevanju bi bilo treba obstoječe podatkovne zbirke prečnih vodnih zgradb dopolniti s pregledom prečnih vodnih zgradb na terenu. Prav tako bi bilo treba z različnimi metodami določiti prehodnost prečnih vodnih zgradb za ribe (Preglednica 3). Na primeru porečja Sore smo prehodnost prečnih vodnih zgradb za ribe določili na osnovi strokovnega znanja in podatkov iz literature in določili najvišjo zgornjo mejo velikosti prečne vodne zgradbe (20 cm), ki jo ribe še lahko preplavajo.

Po pripravi prednostnega seznama prečnih vodnih zgradb, ki imajo največji vpliv na vzdolžno povezanost vodotokov, je treba po prednostnem seznamu izvajati omilitvene ukrepe. Vrste omilitvenih ukrepov za izboljšanje vzdolžne povezanosti vodotoka za ribe so: ribji prehodi (npr. bazenski tip ribjega prehoda, prehod Denil), premeščanje rib in odstranitev neprehodne prečne vodne zgradbe (najbolj učinkovit ukrep). V primeru pragov in nizkih jezov je izgradnja hrapave drče učinkovit in razmeroma poceni omilitveni ukrep v primerjavi z drugimi omilitvenimi ukrepi (npr. bazenskim tipom ribjega prehoda). Izgradnja hrapave drče je najbolj primeren ukrep na pragovih in jezovih na vodotokih porečja Sore.

7 ZAKLJUČEK

V raziskavi smo obravnavali porečje Sore, ki ga sestavljajo Sora, Selška Sora, Zadnja Sora in Poljanska Sora. Ugotovili smo, da je porečje Sore zelo obremenjeno s prečnimi vodnimi zgradbami, ki omejujejo selitve rib. Gostota prečnih vodnih zgradb na km vodotoka na porečju Sore je 1,63 prečna vodna zgradba/km. Obremenjenost porečja Sore s prečnimi vodnimi zgradbami in vpliv prečnih vodnih zgradb na vzdolžno povezanost vodotokov smo ovrednotili z indeksom vzdolžne povezanosti vodotokov – indeks DCI.

Za vrednotenje prečnih vodnih zgradb smo pregledali metode za prednostno razvrščanje prečnih vodnih zgradb za izboljšanje vzdolžne povezanosti vodotokov. Na osnovi podatkov o prečnih vodnih zgradbah (koordinate, višina) in ribah na porečju Sore, smo uporabili kanadsko metode za prednostno razvrščanje prečnih vodnih zgradb za izboljšanje vzdolžne povezanosti vodotokov. Druge metode, ki smo jih v naši raziskavi preverili in opisali, niso bile uporabne, ker nismo imeli vseh vhodnih podatkov za njihovo uporabo. Kanadska metoda za prednostno razvrščanje vzdolžne povezanosti nam omogoča vrednotenje prečnih vodnih zgradb na osnovi podatkov o dolžini rečnih odsekov med prečnimi vodnimi zgradbami, celotni dolžini vodotoka, medsebojni povezanosti rečnih odsekov in prehodnosti prečnih vodnih zgradb za ribe. Prehodnost prečnih vodnih zgradb za ribe smo določili na podlagi podatkov o prisotnih ribjih vrstah na porečju Sore in njihovih skakalnih in plavalnih sposobnostih. Ugotovili smo, da obstajajo podatki o skakalnih in plavalnih sposobnostih samo za nekatere ribe (npr. potočno postrv). Zaradi pomanjkanja podatkov o skakalnih in plavalnih sposobnostih za večino rib, smo za določanje prehodnosti prečnih vodnih zgradb za ribe izbrali pragmatičen pristop in definirali prečne vodne zgradbe do višine 0,20 cm za prehodne za ribe, vse ostale prečne vodne zgradbe z višino večjo od 0,20 cm pa za neprehodne za ribe. Na porečju Sore smo evidentirali tudi 7 ribjih prehodov. Prehodnost ribjih prehodov smo ocenili na podlagi ekspertne presoje in informacij, ki sta nam jih posredovala Koračin in Povž (2013). Na osnovi opisanih podatkov smo uporabili kanadsko metodo za prednostno razvrščanje prečnih vodnih zgradb za izboljšanje vzdolžne povezanosti vodotokov in izračunali indeks DCI_p in teoretični indeks DCI_p . Indeks DCI_p je razvit za potamodromne ribje vrste, torej vrste, ki se selijo znotraj celinskih voda. V naši raziskavi smo uporabili indeks DCI_p , ker v obravnavanem porečju Sore živijo potamodromne ribe (selijo se znotraj celinskih voda). Na podlagi izračuna teoretičnih indeksov DCI_p smo določili tiste prečne vodne zgradbe v porečju Sore, ki imajo največji vpliv na selitve potamodromnih ribjih vrst. Prve tri prečne vodne zgradbe, ki najbolj vplivajo na potamodromne ribe na poljanski Sori z ID številko so: PSJ3 ($DCI_p = 6,14$), PSJ1 ($DCI_p = 5,96$) in PSJ4 ($DCI_p = 5,75$). Z obnovo vzdolžne povezanosti prečnih vodnih zgradb po vrstnem redu iz prednostnega seznama, bomo vzpostavili kakovostnejše habitate in s tem v največji meri pozitivno vplivali na ribe.

V naši raziskavi smo opisali tudi rešitve za ponovno vzpostavljanje vzdolžne povezanosti za ribe. Najboljša rešitev pri vzpostavljanju vzdolžne povezanosti vodotokov za ribe je porušitev prečne vodne zgradbe, vendar ta rešitev pogosto ni ustrezna zaradi zagotavljanja nekaterih ciljev upravljanja voda. Kot zelo učinkovito rešitev za vzpostavljanje vzdolžne povezanosti za ribe smatramo gradnjo drč na nizkih prečnih vodnih zgradbah. Izbira vrste ribjega prehoda na visokih prečnih vodnih zgradbah temelji na podlagi inženirskih analiz in je odvisna od razmer na posameznih odsekih vodotoka.

8 POVZETEK

V magistrskem delu smo vrednotili vpliv prečnih vodnih zgradb na vzdolžno povezanost vodotokov in ribe na porečju Sore (Selški Sori, Zadnji Sori, Poljanski Sori in Sori). Najprej smo opisali vrste prečnih vodnih zgradb z možnim potencialnim vplivom na selitve rib v vodotokih (prag, jez, drča, zapornica, pregrada, hudourniška pregrada). V obdobju velikih pretokov ustvarjajo prečne vodne zgradbe posledično velike hitrosti in močno turbulenco vode, kar neugodno vpliva na selitve rib po vodotoku navzgor (Thorncraft in Harris, 2000). Najpomembnejša lastnost rib pri premagovanju prečnih vodnih zgradb, ki predstavljajo navpične ovire za ribe, so plavalne in skakalne sposobnosti (Dussling in sod., 2004). Znano je, da imajo salmonidne vrste rib (npr. potočna postrv) dobre plavalne in skakalne sposobnosti, kar jim daje prednost pri premagovanju navpičnih ovir v primerjavi z ostalimi vrstami rib (Kemp in sod., 2008; Meixler in sod., 2009; Taylor in Love, 2003).

Gradnja prečnih vodnih zgradb spreminja hidromorfološke značilnosti vodotokov s čimer vpliva na ekološko stanje vodnih teles. Leta 2000 sprejeta vodna direktiva (Direktiva 2000/60/ES) predstavlja okvir za zaščito in celostno upravljanje z vodnimi telesi po Evropi s ciljem, da dosežemo vsaj dobro ekološko stanje na vodnih telesih površinskih voda ali pa dober ekološki potencial na močno preoblikovanih vodnih telesih do leta 2015.

Na obravnavanem porečju Sore smo evidentirali 150 prečnih vodnih zgradb, od tega 19 jezov, 126 pragov in 5 drč. Višine vseh 19 evidentiranih jezov na obravnavanem območju so med 1 m in 8 m, višine vseh 126 pragov pa so med 0 m in 2 m. Največ prečnih vodnih zgradb je na Selški Sori, na kateri smo evidentirali 77 prečnih vodnih zgradb od tega 10 jezov, 66 pragov in 1 drčo. Obremenjenost vodotokov s prečnimi vodnimi zgradbami smo ovrednotili z gostoto prečnih vodnih zgradb na dolžino vodotoka. Največja gostota jezov na km vodotoka je na Selški Sori (0,30 jez/km), največja gostota pragov na km vodotoka je na Zadnji Sori (2,86 prag/km) in največja gostota drč na km vodotoka je na Sori (0,11 drča/km).

Vpliv prečnih vodnih zgradb na ribe lahko vrednotimo z metodami za prednostno razvrščanje prečnih vodnih zgradb za izboljšanje vzdolžne povezanosti vodotokov. V magistrskem delu smo opisali različne metode in na podlagi razpoložljivih podatkov in primernosti uporabili kanadsko metodo za prednostno razvrščanje prečnih vodnih zgradb za izboljšanje vzdolžne povezanosti vodotokov. Uporabljeno metodo smo povzeli po Cote in sod. (2009). Izračunali smo indeks vzdolžne povezanosti vodotokov – indeks DCI s katerim določamo prečne vodne zgradbe, ki imajo največji vpliv na selitve potamodromnih rib (indeks DCI_p).

Vhodni podatki za izračun indeksa DCI v R (R Development Core Team, 2013) so podatki o dolžini posameznih rečnih odsekov, celotni dolžini rečnega omrežja, povezanosti rečnih odsekov med seboj in prehodnosti posameznih prečnih vodnih zgradb za ribe. Podatke o dolžini 151 rečnih odsekov smo pridobili s pomočjo programske opreme ArcMap v. 10.1 (ARCMAP, 2013). Za prehodnost prečnih vodnih zgradb za ribe smo predpostavili, da prečne vodne zgradbe, ki so visoke vključno do 20 cm ne ovirajo selitev rib. Vse ostale prečne vodne zgradbe, ki so večje kot 20 cm, smo smatrali, da ovirajo selitve rib. Na podlagi kriterija velikosti prečnih vodnih zgradb smo določili 3 vrednosti prehodnosti prečnih vodnih zgradb za ribe ($p = 0 - 0\%$ prehodna prečna vodna zgradba za ribe, $p = 0,5 - 50\%$ prehodna prečna vodna zgradba za ribe, $p = 1 - 100\%$ prehodna prečna vodna zgradba za ribe).

Za obravnavane vodotoke na porečju Sore smo izračunali indeks $DCI_p = 5,42$. Vrednosti indeksa DCI_p so odvisne tudi od razvejanosti rečnega sistema, saj se pri izračunu indeksa upošteva medsebojna odvisnost med posameznimi rečnimi odseki. Na podlagi rezultata indeksa DCI_p lahko potrdimo, da je obravnavano porečje Sore zelo obremenjeno s prečnimi vodnimi zgradbami, ki so neprehodne za ribe. Izračunali smo tudi teoretične vrednosti indeksa DCI_p za porečje Sore za vseh 150 prečnih vodnih zgradb in naredili prednostni seznam prečnih vodnih zgradb za obnovo vzdolžne povezanosti vodotokov. Prve tri najvišje vrednosti teoretičnega indeksa DCI_p smo izračunali za jezove na Poljanski Sori (PSJ3 – $DCI_p = 6,14$, PSJ1 – $DCI_p = 5,96$ in PSJ4 – $DCI_p = 5,75$).

Na podlagi rezultatov teoretičnega indeksa DCI_p se odločimo, na katerih prečnih vodnih zgradbah bomo prednostno vzpostavili vzdolžno povezanost vodotokov za ribe. V magistrskem delu smo opisali rešitve za vzpostavitev vzdolžne povezanosti vodotokov za ribe. Vzdolžno povezanost vodotokov lahko omogočimo z ribjimi prehodi (npr. bazenski tip ribjega prehoda, prehod Denil, zapiralno ribje dvigalo), s fizičnim premeščanjem rib čez prečno vodno zgradbo in odstranitvijo prečne vodne zgradbe.

V zadnjem sklopu magistrskega dela smo opisali slovensko zakonodajo v povezavi s prečnimi vodnimi zgradbami in vzdolžno povezanostjo vodotokov ter ribami in podali nadaljnje usmeritve za izboljšanje vzdolžne povezanosti vodotokov. Indeks DCI lahko uporabimo pri pripravi načrtov upravljanja voda, saj nam omogoča vrednotiti obremenitve prečnih vodnih zgradb. Vrednosti indeksa DCI so lahko osnova pri določanju prednostnih ukrepov za ponovno vzpostavitev vzdolžne povezanosti vodotokov za ribe.

9 SUMMARY

In the master degree thesis, we evaluated the effect of transverse river structures on longitudinal connectivity of rivers and fish in the Sora River basin (Selška Sora River, Zadnja Sora River, Poljanska Sora River, and Sora River). First, the types of transverse river structures with potential impact on fish migration in rivers were defined (weir, dam, rock-ramp, sluice gate, torrential barrier). In a high water flows period, transverse river structures generate high water speed and water turbulence, having adverse impacts on the upstream fish migration (Thorncraft and Harris, 2000). The most important fish characteristics for overcoming transverse river structures, which represent vertical barriers, are swimming and jumping abilities (Dussling et al., 2004). It is well known that salmonid fish species (e.g. brown trout) have good swimming and jumping abilities, which give them advantage over other fish species in overcoming vertical barriers (Kemp et al., 2008; Meixler et al., 2009; Taylor and Love, 2003).

Construction of transverse river structures changes hydromorphological characteristics of rivers and consequently effects ecological status of water bodies. In 2000, the Water Framework Directive (Directive 2000/60/EC) established the framework for the protection and integrative water bodies management across the Europe with the main objective to achieve at least good ecological status on surface water bodies or good ecological potential on heavily modified water bodies by the year 2015.

At the investigated Sora River basin we collected data on 150 transverse river structures including 19 dams, 126 weirs and 5 rock-ramps. Heights of 19 registered dams in the studied area are between 1 m and 8 m, and heights of all 126 weirs between 0 m and 2 m. The most transverse river structures are located on Selška Sora River, where 77 transverse river structures were recorded, including 10 dams, 66 weirs and 1 rock-ramp. The pressure of transverse river structures was evaluated with the calculation of a density of transverse river structures per river length. The highest density of dams per km of river was found on Selška Sora River (0,30 dam/km), the highest density of weirs per km of river was found on Zadnja Sora River (2,86 weir/km), and the highest density of rock-ramps per km of river was found on Sora River (0,11 rock-ramp/km).

The impact of transverse river structures on fish can be evaluated with methods for priority ranking of transverse river structures for improving longitudinal connectivity of rivers. In the master degree thesis, we reviewed several different methods and based on the available data and the suitability of the considered methods we then selected Canadian method for priority ranking of transverse river structures for improving longitudinal connectivity of rivers. The applied method was adopted from Cote et al. (2009). We calculated dendritic connectivity index – DCI index for determination of

transverse river structures, having the greatest impact on migration of potamodromous fish (DCI_p index).

The input data for the calculation of the DCI index in R (R Development Core Team, 2013) are the length of river segments, the entire river network length, connectivity of interacting river segments, and passability of transverse river structures for fish. Data on length of 151 river structures were obtained with software ArcMap v. 10.1 (ARCMAP, 2013). For the passability of transverse river structures for fish we assumed, that transverse river structures with heights less than or equal to 20 cm don't impede fish migration. All other transverse river structures, higher than 20 cm, were defined to impede fish migration. Based on the defined size criteria of transverse river structures we defined 3 values for passability of transverse river structures for fish ($p = 0$ – 0 % passable transverse river structure for fish, $p = 0,5$ – 50 % passable transverse river structure for fish, $p = 1$ – 100 % passable transverse river structure for fish).

For the investigated rivers in the Sora River basin we calculated DCI_p index = 5,42. DCI_p index values are also dependent on branching of river system, as the index calculation takes into account the interaction between individual river segments. The result of the DCI_p index confirmed the high pressure in the studied Sora River basin due to transverse river structures, impassable for fish. We also calculated theoretical values of the DCI_p index for Sora River basin for all 150 transverse river structures and made a priority list of transverse river structure for restoring longitudinal connectivity of rivers. The first three highest theoretical values of DCI_p index were calculated for dams on Poljanska Sora River (PSJ3 – DCI_p = 6,14, PSJ1 – DCI_p = 5,96 in PSJ4 – DCI_p = 5,75).

Based on the results of theoretical DCI_p index the priority transverse river structures are defined for the establishment of longitudinal connectivity for fish. In the master degree thesis, we reviewed the solutions for establishment of a longitudinal connectivity of rivers for fish. Longitudinal connectivity of rivers can be enabled with fish passes (e.g. pool-type fishway, Denil fishway, lock fishway), physical transfer of fish over the transverse river structure, and removal of transverse river structure.

In the final part of master degree thesis we covered Slovenian legislation regarding transverse river structures and longitudinal connectivity of rivers and fish, and gave further guidance to improve longitudinal connectivity of rivers. DCI index can be used in the preparation of water management plans, because it allows the pressure evaluation due to transverse river structures. Values of DCI index can be the basis for determining priority measures for re-establishing longitudinal river continuity for fish.

VIRI

Allan, J. D., Castillo M. M. 2007. Stream Ecology. Structure and Function of Running Waters. Second Edition. Springer: 436 str.

ARCMAP. 2013. ArcMap 10.1. ESRI, Redlands, California.

<http://www.esri.com/> (28.1.2013).

Bat, M., Dolinar, M., Frantar, P. (ur.), Hrvatin, M., Kobold, M., Kurnik, B., Nadbath, M., Ožura, V., Uhan, J., Ulaga, F. 2008. Vodna bilanca Slovenije 1971–2000 = Water balance of Slovenia 1971-2000. Ljubljana, Agencija Republike Slovenije za okolje: 119 str.

Batič, F., Košmrlj-Levačič, B., Martinčič, A., Cimerman, A., Turk, B., Gogala, N., Seliškar, A., Šercej, A., Kosi, G. 2011. Botanični terminološki slovar. Ljubljana, Založba ZRC, ZRC SAZU <http://isjfr.zrc-sazu.si/sl/terminologisce/slovarji/botanicni/iskalnik#v> (19.11.2013).

Bates, K. 2000. Fishway Guidelines for Washington State. Washington Department of Fish and Wildlife: 54 str.

<http://wdfw.wa.gov/publications/00048/wdfw00048.pdf> (11.9.2009).

Beach, H. M. 1984. Fish pass design – criteria for the design and approval of fish passes and other structures to facilitate the passage of migratory fish in rivers. Fisheries research technical report No. 78. Ministry of agriculture, fisheries and food, Directorate of fisheries research: 46 str. www.cefas.defra.gov.uk/publications/techrep/tech78.pdf (16.11.2012).

Bell, C. M. 1990. Fisheries Handbook of Engineering Requirements and Biological Criteria. U. S. Army Corps of Engineers, Portland, Oregon: 353 str.

<http://oai.dtic.mil/oai/oai?verb=getRecord&metadataPrefix=html&identifier=ADA275026>
(16.11.2012).

Bourne, M. C., Kehler, G. D., Wiersma, F. Y., Cote, D. 2011. Barriers to fish passage and barriers to fish passage assessments: the impact of assessment methods and assumptions on barrier identification and quantification of watershed connectivity. Aquatic Ecology 45: 389-403.

Bridge Preservation Guide. 2011. Maintaining a State of Good Repair Using Cost Effective Investment Strategies. Federal Highway Administration (FHWA), U.S. Department of Transportation: 28 str.

<http://www.fhwa.dot.gov/bridge/preservation/guide/index.cfm> (19.9.2012).

Cahoon, E. J., McMahon, T., Solcz, A., Blank, M., Stein, O. 2007. Fish Passage in Montana Culverts: Phase II – Passage Goals (Final Report). Montana, Department of Transportation: 64 str.

Cote, D. 2012. Primer izračuna DCI indeksa in opis delovanja funkcije v R. Osebna komunikacija (3.4.2012).

Cote, D., Kehler, G. D., Bourne, C., Wiersma, F. Y. 2009. A new measure of longitudinal connectivity for stream networks. *Landscape Ecology* 24: 101-113.

Dahm, V., Hering, D., Nemitz, D., Graf, W., Schmidt-Kloiber, A., Leitner, P. Melcher, A., Feld, K. C. 2013. Effects of physico-chemistry, land use and hydromorphology on three riverine organism groups: a comparative analysis with monitoring data from Germany and Austria. *Hydrobiologia* 704: 389-415.

Dams, fish and fisheries. Opportunities, challenges and conflict resolution. 2001. Inland Water Resources and Aquaculture Service. Fishery Resource Division. FAO Fisheries Department. FAO Fisheries Technical Paper 419: 166 str.

<ftp://ftp.fao.org/docrep/Fao/004/y2785e/y2785e.pdf> (26.9.2013).

Doyle, W. M., Stanley, H. E., Luebke, A. M., Harbor, M.J. 2000. Dam removal: Physical, biological, and societal considerations. American Society of Civil Engineers Joint Conference on Water Resources Engineering and Water Resources Planning and Management, Minneapolis, MN: 10 str.

Dussling, U., Berg, R., Klinger, H., Wolter, C. 2004. Assessing the Ecological Status of River Systems Using Fish Assemblages. *Handbuch Angewandte Limnologie* 20. Ergänzungslieferung 12 (4): 1-84.

Fish Passage and Surface Water Diversion Screening Assessment and Prioritization Manual. 2009. Washington Department of Fish and Wildlife. Olympia, Washington: 118 str.
<http://wdfw.wa.gov/publications/pub.php?id=00061> (26.9.2012).

Fish passes: Design, dimensions and monitoring. 2002. Food and Agriculture Organization of the United Nations in arrangement with Deutscher Verbant für Wasserwirtschaft und Kulturbau. V. (DVWK): 118 str.

http://ecrr.org/publication/rrfish_doc4.pdf (26.9.2013).

Fishxing. 2006. Fishxing version 3 user manual and reference. USDA Forest Service, Six Rivers National Forest. Eureka, CA.

<http://www.stream.fs.fed.us/fishxing/> (29.4.2013).

Globevnik, L. 2010. Realnost nadzora in ukrepanja na večnamenskih pregradah v Sloveniji. 12. posvetovanje SLOCOLD Varnost pregrad v Sloveniji. V: Varnost pregrad v Sloveniji: zbornik prispevkov. Krško, SLOCOLD – Slovenski nacionalni komite za velike pregrade: 61-70.

Habersack, H., Piégay, H. 2007. River restoration in the Alps and their surrounding: past experience and future challenges. V: Habersack, H. (ur.), Piégay, H. (ur.), Rinaldi, M. (ur.). Gravel-bed rivers VI: From process understanding to river restoration. Elsevier, Amsterdam: 703-737.

Haro, A., Castro-Santos, T., Noreika, J., Odeh, M. 2004. Swimming performance of upstream migrant fishes in open-channel flow: a new approach to predicting passage through velocity barriers. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 61: 1591-1601.

Hering, D., Johnson, K. R., Kramm, S., Schmutz, S., Szoszkiewicz, K., Verdonschot, F. M. P. 2006. Assessment of European streams with diatoms, macrophytes, macroinvertebrates and fish: a comparative metric-based analysis of organism response to stress. *Freshwater Biology* 51: 1757-1785.

Jesenovec, S. (ur.). 1995: Pogubna razigranost: 110 let organiziranega hudourničarstva na Slovenskem: 1884–1994. Ljubljana, Podjetje za urejanje hudournikov: 276 str.

Kail, J., Hering, D. 2009. The influence of adjacent stream reaches on the local ecological status of central european mountain streams. *River Research and Applications* 25: 537-550, doi:10.1002/rra.1238.

Kamula, R. 2001. Flow over weirs with application to fish passage facilities. Academic Dissertation ISBN 951-42-5976-9. Faculty of Technology, Department of Process and Environmental Engineering, University of Oulu: 90 str.

<http://herkules oulu.fi/isbn9514259777/html/index.html> (11.9.2009).

Karle, K. F. 2005. Analysis of an Efficient Fish Barrier Assessment Protocol for Highway Culverts. Juneau, AK. Alaska Department of Transportation Report FHWA-AK-RD-05-02: 79 str. http://www.dot.state.ak.us/stwddes/research/assets/pdf/fhwa_ak_rd_05_02.pdf (9.9.2012).

Kemp, S. P., O'Hanley, J. R. 2010. Procedures for evaluating and prioritising the removal of fish passage barriers: a synthesis. *Fisheries Management and Ecology* 17: 297-322.

Kemp, S. P., Russon, J. I., Waterson, B., O'Hanley, J., Pess, R. G. 2008. Recommendations for a "coarse –resolution rapid-assessment" methodology to assess barriers to fish migration, and associated prioritization tools. Final Report. University of Southampton, School of Civil Engineering and the Environment, International Centre for Ecohydraulic Research: 357 str. <http://www.sniffer.org.uk/knowledge-hubs/resilient-catchments/water-framework-directive-and-uktag-co-ordination/fish-obstacles-porosity/> (22.11.2012).

Kocovsky, M. P., Ross, M. R., Dropkin, S. D. 2009. Prioritizing removal of dams for passage of diadromous fishes on major river system. *River Research and Applications* 25: 107-117.

Kolman, G. 2012. Prečne vodne zgradbe na porečju zgornje Save. Osebna slikovna zbirka.

Kolman, G., Mikoš, M. 2006. Tipi ribjih prehodov in pregled razmer v Sloveniji (Types of fishways and overview of situation in Slovenia). *Acta Hydrotehnica* 24/41: 26 str. (Članek je bil sprejet 24.11.2010 in elektronsko objavljen 2012). <http://ksh.fgg.uni-lj.si/ksh/acta/index.htm> (23.8.2012).

Komac, B., Natek, K., Zorn, M., 2008. Geografski vidiki poplav v Sloveniji. Ljubljana, Založba ZRC:180 str.

Koračin, M., Povž, M. 2013. Ribji prehodi na Sori, Selški Sori in Poljanski Sori. Osebna komunikacija (27.5.2013).

Larinier, M. 2000. Dams and Fish Migration. World Commission on Dams. Environmental Issues, Dams and Fish Migration, Final Draft. Toulouse, Institut de Mecanique des Fluides: 26 str. http://www.friendsofmerrymeetingbay.org/cybrary/pages/20000630_Dams.org_DamsandFishMigration.pdf (13.8.2012).

Mader, H., Maier, C. 2008. A method for prioritizing the reestablishment of river continuity in Austrian rivers. *Hydrobiologia* 609: 277-288.

- Markič, T. 2008. Stabilizacijski objekti v vodotokih. Magistrsko delo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba T. Markič): 243 f.
http://drugg.fgg.uni-lj.si/765/1/GRM_0198_Markic.pdf (7.12.2013).
- McCartney, P. M., Sullivan, C., Acreman, C. M. 2000. Ecosystem Impacts of Large Dams. Report to IUCN, UNEP and WCD. Wallingford, Centre for Ecology and Hydrology: 81 str.
- Measures for ensuring fish migration at transversal structures. 2013. Vienna, International Commission for the Protection of the Danube River: 50 str.
www.icpdr.org/main/sites/default/files/nodes/documents/icpdr_fish_migration_final.pdf (3.9.2013).
- Meixler, S. M., Bain, B. B., Walter, M. T. 2009. Predicting barrier passage and habitat suitability for migratory fish species. *Ecological Modelling* 220: 2782-2791.
www.hydrology.bee.cornell.edu/Papers/MeixlerECOMOD09.pdf (22.11.2012).
- Mikoš, M. 2000. Urejanje vodotokov. Skripta, verzija 01.2000. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 182 str.
- Mikoš, M. 2008. Osnove hudourništva. Skripta. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 48 str.
- Mirati, H. A., Jr. 1999. Assessment of road culverts for fish passage problems on state and county-owned road. Statewide summary report. Oregon Department of Fish and Wildlife: 7 str.
http://www.fws.gov/midwest/fisheries/streamcrossings/images/PDF/culvert_survey.pdf (11.9.2012).
- Načrt upravljanja voda za vodni območji Donave in Jadranskega morja 2009-2015. 2011. Ljubljana, Ministrstvo za okolje in prostor: 524 str.
- NRCS. 2007. Fish Passage and Screening Design. Technical Supplement 14N, Part 654, National Engineering Handbook. U.S. Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service: 56 str.
<http://www.nae.usace.army.mil/reg/nrrbs/TECHNICAL-SUPPLEMENTS/TS14N.pdf> (16.11.2012).
- O'Hanley, J. R., Tomberlin, D. 2005. Optimizing the removal of small fish passage barriers. *Environmental Modelling and Assessment* 10: 85-98.

Pantar, A. 2007. Cestne naprave in oprema. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba A. Pantar): 149 f.
http://drugg.fgg.uni-lj.si/488/1/GRV_0284_Pantar.pdf (7.12.2013)

Papež, J. 2010. Strokovna podpora pri pripravi dokumentov "Načrt upravljanja voda na VO Donave (strokovne podlage)" in "Načrt upravljanja voda na VO Jadranskega morja (strokovne podlage)" z vidika hudourniške stroke in hudourničarskih kompetenc. Ljubljana, Podjetje za urejanje hudournikov. Osebna komunikacija (15.3.2010.).

Pemič, A., Mikoš, M. 2005. Inženirska hidrotehnika. Univerzitetni učbenik, verzija 3. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 275 str.

Peter, A. 1998. Interruption of the River Continuum by Barriers and the Consequences for Migratory Fish. V: Jungwirth, M. (ur.), Schmutz, S. (ur.), Weiss, S. (ur.). Fish Migration and Fish Bypasses. Austria, Vienna, University of Agricultural Sciences, Department of Hydrobiology, Fisheries and Aquaculture. Oxford [etc.], Fishing News Books: 99-112.

Petts, E. G., Amoros, C. 1996. Fluvial Hydrosystems. London, Chapman and Hall: 322 str.

Podgornik, S., Urbanič, G. 2012. Metodologija vrednotenja ekološkega stanja z ribami za male in srednje velike reke jadranskega povodja ekoregije Alpe. Ljubljana, Zavod za ribištvo Slovenije: 56 str.

Poljanska Sora – kataster vodnogospodarskih objektov in naprav v splošni in posebni rabi. 1995. Ljubljana, Vodnogospodarski inštitut.

Powers, D. P., Orsborn, F. J. 1985. An Investigation of the Physical and Biological Conditions Affecting Fish Passage Success at Culverts and Waterfalls. Final Project Report, part 4 of 4. U. S. Bonneville Power Administration: 119 str.
http://stream.fs.fed.us/fishxing/fplibrary/Powers_1985_Analysis_of_barriers_to_upstream_fish_migration.pdf (16.11.2012).

Prečne vodne zgradbe na porečju Selške Sore, Poljanske Sore in Sore. 2012. Kranj, Vodnogospodarsko podjetje Kranj.

Problematika vodnega okolja na porečjih in povodjih v Sloveniji – zgornja Sava. 2007. Delovno gradivo za 1. Delavnico z déležniki. Inštitut za vode Republike Slovenije in Geološki zavod Slovenije, Ljubljana: 55 str.

Program ukrepov upravljanja voda 2011-2015. 2011. Ljubljana, Ministrstvo za okolje in prostor: 74 str.

R Development Core Team. 2013. R: A language and environment for statistical computing. R foundation for statistical computing. Vienna, Austria. 3300 str.
<http://www.r-project.org> (12.11.2013).

Rak, G., Steinman, F., Gosar, L. 2008. Pomen nizkih pragov ob visokih vodah - The significance of low thresholds in high waters. *Ujma* 22: 31-36.

Roni, F., Beechie, J. T., Bilby, E. R., Leonetti E. F., Pollock, M. M., Pess, R. G. 2002. A Review of Stream Restoration Techniques and a Hierarchical Strategy for Prioritizing Restoration in Pacific Northwest Watersheds. *North American Journal of Fisheries Management* 22: 1-20.

Rosa, P. L., dos Santos, A. M. 2000. Certainty and Uncertainty in the Science of Greenhouse Gas Emissions from Hydroelectric Reservoirs (Part II). Cape Town, World Commission on Dams: 98 str.

Rybak, J., Sadlek, W. 2010. Ecological Impact of a Dam on Benthic Macroinvertebrates in Montane Rivers of Lower Silesia. *Environment Protection Engineering* 36, 2: 143-151.

Silliman, C., Overton, S., Baker, M. 2007. The Effect of Man-Made and Beaver Dams on Benthic Invertebrate Populations. University of Michigan, Biological Station (UMBS): 9 str.

Solomon, J. D., Beach H. M. 2004. Manual for provision of upstream migration facilities for eel and elver. Environmental Agency, United Kingdom: 63 str.

<http://www.friendsofmerrymeetingbay.org/cybrary/AmericanEel%5Ceel%20passage%20manual.pdf>
(26.9.2013).

Steinman, F., Banovec, P. 2008. Hidrotehnika. Vodne zgradbe I. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 145 str.

Strahler, N.A. 1952. Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topology. *Geological Society of America Bulletin* 63 (11): 1117-1142.

Taylor, N. R., Love, M. 2003. California Salmonid Stream Habitat Restoration Manual – Part IX Fish Passage Evaluation at Stream Crossings. California Department of Fish and Game. Sacramento, California: 64 str.

<http://www.dfg.ca.gov/fish/REsources/HabitatManual.asp> (28.9.2012).

The Fish Passage Extension (FIPEX). 2011. Halifax, Nova Scotia: Fisheries and Oceans Canada, Habitat Management, Maritimes Region: 68 str.

Thorncraft, G., Harris, H. J. 2000. Fish Passage and Fishways in New South Wales: A Status Report. Technical Report 1/2000. Canberra, Cooperative Research Centre for Freshwater Ecology: 32 str.
<http://freshwater.canberra.edu.au/Publications.nsf/8116917c22b76d58ca256f120027bb83/7b50f33602c685f2ca256f0f0014b3e6?OpenDocument> (13.8.2012).

Urbanič, G. 2011. Ecological status assessment of the rivers in Slovenia - an overview. *Natura Sloveniae* 13(2): 5-16.

Urbanič, G. 2012. Hydromorphological degradation impact on benthic invertebrates in large rivers in Slovenia. *Hydrobiologia*, doi: 10.1007/s10750-012-1430-4.

Urbanič, G., Podgornik, S. 2012. Slovenian fish-based assessment index for rivers (SIFAIR). Poročilo o delu za leto 2011. Ljubljana, Inštitut za vode Republike Slovenije: 21 str.

Urbanič, G., Toman, J. M. 2003. Varstvo celinskih voda. Skripta. Ljubljana, Študentska založba.

Urbanič, G., Toman, J. M. 2007. Influence of environmental variables on stream caddis larvae in three Slovenian ecoregions: Alps, Dinaric western Balkans and Pannonian lowland. *Internat. Rev. Hydrobiol.* [Print ed.], 92/4-5: 582-60, doi: 10.1002/iroh.200510995.

Urbanič, G., Toman, J. M., Krušnik, C. 2005. Microhabitat type selection of caddisfly larvae (Insecta: Trichoptera) in a shallow lowland stream. *Hydrobiologia* 541: 1-12, doi: 10.1007/s10750-004-4314-4.

Veenvilet, P., Veenvilet, K. J. 2006. Ribe slovenskih celinskih voda - priročnik za določanje. Grahovo, Zavod Symbiosis: 168 str.

Waidbacher, G. H., Haidvogel, G. 1998. Fish Migration and Fish Passage Facilities in the Danube: Past and Present. V: Jungwirth, M. (ur.), Schmutz, S. (ur.), Weiss, S. (ur.). *Fish Migration and Fish*

Bypasses. Austria, Vienna, University of Agricultural Sciences, Department of Hydrobiology, Fisheries and Aquaculture. Oxford [etc.], Fishing News Books: 85-98.

Wardle, S. C. 1978. Non release of lactic acid from anaerobic swimming muscle of plaice *Pleuronectes platessa* L.: a stress reaction. *J. exp. Biol.*, 77: 141-155.

<http://jeb.biologists.org/content/77/1/141.full.pdf> (21.11.2012).

Wohl, E. 2006. Human impacts to mountain streams. *Geomorphology* 79: 217-248.

Wyżga, B., Amirowicz, A., Radecki-Pawlik, A., Zawiejska, J. 2009. Hydromorphological conditions, potential fish habitats and the fish community in a mountain river subjecte to variable human impacts, the Czarny Dunajec, Polish Carrpathians. *River Research and Applications*, doi: 10.1002/rra.1237.

Zadnik, B. 2012. Smernice za zagotavljanje varnosti pregradnih objektov. Ljubljana, Inženirska zbornica Slovenije: 45 str.

Zheng, Q. P., Hobbs, F. B., Koonce, F. J. 2009. Optimizing multiple dam removals under multiple objectives: linking tributary habitat and the Lake Erie ecosystem. *Water Resources Research* 45(12): 14 str.

Žmavc, J., Breščak, V., Kavčič, L. 1989. Popis del in posebni tehnični pogoji za odvodnjavanje. Ljubljana, Skupnost za ceste Slovenije: 77 str.

PREDPISI

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

Pravilnik o določitvi vodne infrastrukture. Uradni list RS, št. 46/2005.

Uredba o okoljskem poročilu in podrobnejšem postopku celovite presoje vplivov izvedbe planov na okolje. Uradni list RS, št. 73/2005.

Uredba o uvedbi in uporabi enotne klasifikacije vrst objektov in o določitvi objektov državnega pomena. Uradni list RS, št. 33/2003, (78/2005 popr.), 25/2010, 109/2011.

Uredba o vrstah posegov v okolje, za katere je treba izvesti presojo vplivov na okolje. Uradni list RS, št. 78/2006, 72/2007, 32/2009, 95/2011, 20/2013.

Zakon o sladkovodnem ribištvu (ZSRib). Uradni list RS, št. 61/2006.

Zakon o vodah (ZV-1). Uradni list RS, št. 67/02, 110/02-ZGO-1, 2/04-ZZdrI-A, 41/04-ZVO-1, 57/08.

DRUGI VIRI

Bjornn, C. T., D.W. Reiser, W. D. 1991. Habitat requirements of salmonids in streams. V: Influences of Forest and Rangeland Management on Salmonid Fishes and Their Habitats. M.R. Meehan, R. W: (ur.). American Fisheries Society Special Publications: 83-138.

http://205.225.207.106/water_issues/programs/tmdl/docs/303d_policydocs/165.pdf (16.11.2012).

Dermisis, C. D., Papanicolaou, N. A. 2009. Fish passage over hydraulic structures in Midwestern Rivers of the USA. *International Journal of River Basin Management* 7/4: 313-328.

Globevnik, L., Marinček, M. 2002. Izhodišča in problemi pri vzpostavljanju enotne državne podatkovne baze vodnogospodarskih ureditev. 13. Mišičevi vodarski dnevi. V: Zbornik referatov. Maribor, Vodnogospodarski biro: 27-34.

Gregory, K. J. 2006. The Human Role in Changing River Channels. *Geomorphology* 79: 172-191.

James, L. A., Marcus, W. A. 2006. The Human Role in Changing Fluvial Systems: Retrospect, Inventory and Prospect. *Geomorphology* 79: 152-171.

Marušič, I., Seidl, P. N., Drašler, A. (2005). Pravila za vzdržno urejanje posegov v vode. Raziskovalno-razvojni projekt Ciljnega raziskovalnega programa "Konkurenčnost Slovenije 2001-2006": končno poročilo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za krajinsko arhitekturo: 66 str.

Mikoš, M., Kranjc, A., Matičič, B., Müller, J., Rakovec, J., Roš, M., Brilly, M. 2002. Hidrološko izrazje – Terminology in Hidrology. *Acta hydrotechnica* 20/32: 324 str.

MOPE. 2002. Poročilo o stanju okolja 2001/02 (elektronski vir). Ljubljana, Ministrstvo za okolje, prostor in energijo.

<http://www.arso.gov.si/> (2.1.2014).

Pess, R. G., McHugh, E. M., Fagen, D., Stevenson, P., Drotts, J. 1998. Stillaguamish Salmonid Barrier Evaluation and Elimination Project: Phase III – Final Report. Olympia, Washington: Northwest Indian Fisheries Commission: 31 str.

R Core Team. 2013a. R Language Definition, Version 3.0.1, Draft. R Foundation for Statistical Computing. Austria, Vienna.

<http://www.r-project.org/index.html> (11.6.2013).

R Core Team. 2013b. Writing R Extensions. R Foundation for Statistical Computing. Austria, Vienna.

<http://www.r-project.org/index.html> (11.6.2013).

Spence, A. J., Hynes, N. B. H. 1971. Differences in Benthos Upstream and Downstream of an Impoundment. J. Fish. Res. Bd. Canada 28: 35-43.

Venables, N. W., Smith, M. D., R Core Team. 2013. An Introduction to R. R Foundation for Statistical Computing. Austria, Vienna.

<http://www.r-project.org/index.html> (11.6.2013).

PRILOGE

PRILOGA A: Podatki o prečnih vodnih zgradbah v porečju Sore

PRILOGA A: Podatki o prečnih vodnih zgradbah v porečju Sore

	Zap. št.	ID prečne vodne zgradbe	Y	X	Vrsta prečne vodne zgradbe	Višina prečne vodne zgradbe (m)	Prehod za ribe	Prehodnost prečne vodne zgradbe za ribe*	Indeks DCI _p
Sora	1	SP1	455175,0	110725,0	prag	1,8	da – omogoča selitve rib	1	5,42
	2	SP2	453797,0	111148,5	prag	0	ne	1	5,42
	3	SJ1	453490,0	111192,0	jez	4,4	da – selitve rib so možne samo v optimalnih hidroloških razmerah za posamezno vrsto (Koračin in Povž, 2013)	0,5	5,50
	4	SP3	453133,2	111593,2	prag	0	ne	1	5,42
	5	SP4	450858,4	112320,8	prag	1,6	ne	0	5,45
	6	SP5	450679,4	112529,6	prag	1,6	ne	0	5,43
	7	SP6	450261,8	112789,9	prag	0,7	ne	0	5,48
	8	SP7	448374,4	113342,5	prag	0,2	ne	1	5,42
	9	SD1	447997,5	113432,8	držča	0	ne	1	5,42
	10	SP8	447194,1	113603,8	prag	0,2	ne	1	5,42
Seška Sora	11	SSJ1	447134,1	113711,8	jez	1,5	da – omogoča selitve rib	1	5,42
	12	SSP1	447126,7	113742,5	prag	0,5	ne	0	5,43
	13	SSP2	447101,5	113788,6	prag	0,5	ne	0	5,42
	14	SSP3	447052,5	113818,9	prag	0,3	ne	0	5,42
	15	SSJ2	446875,0	113835,0	jez	2,7	da – ne omogoča selitve rib	0	5,42
	16	SSJ3	446644,4	113829,5	jez	2	ne	0	5,42
	17	SSJ4	446435,0	114090,0	jez	2	ne	0	5,43
	18	SSJ5	445715,0	114120,0	jez	7,2	ne	0	5,44
	19	SSP4	445190,8	114456,0	prag	0,7	ne	0	5,58
	20	SSP5	441991,8	117904,7	prag	0,6	ne	0	5,51

Zap. št.	ID prečne vodne zgradbe	Y	X	Vrsta prečne vodne zgradbe	Višina prečne vodne zgradbe (m)	Prehod za ribe	Prehodnost prečne vodne zgradbe za ribe*	Indeks DCI _p
21	SSP6	441603,6	118200,0	prag	0,4	ne	0	5,42
22	SSP7	441456,5	118232,2	prag	0,4	ne	0	5,42
23	SSP8	441362,0	118267,9	prag	0,4	ne	0	5,42
24	SSP9	441242,5	118376,8	prag	0,4	ne	0	5,42
25	SSP10	441135,8	118419,9	prag	0,4	ne	0	5,42
26	SSP11	440999,8	118391,2	prag	0,4	ne	0	5,42
27	SSP12	440793,6	118529,5	prag	0,4	ne	0	5,42
29	SSP13	440722,1	118667,1	prag	0,4	ne	0	5,42
28	SSP14	440682,0	118723,8	prag	0,4	ne	0	5,42
30	SSP15	440271,3	119038,0	prag	0,4	ne	0	5,43
31	SSJ6	440104,5	119332,9	jez	3	ne	0	5,42
32	SSP16	439905,9	119371,4	prag	0,4	ne	0	5,42
33	SSP17	439776,6	119443,3	prag	0,4	ne	0	5,42
34	SSP18	439516,5	119435,0	prag	0,4	ne	0	5,43
35	SSP19	438461,4	119961,0	prag	0,3	ne	0	5,43
36	SSJ7	438374,5	119981,9	jez	3	ne	0	5,42
37	SSP20	438305,3	120054,5	prag	0,45	ne	0	5,42
38	SSP21	438084,9	120161,9	prag	0,45	ne	0	5,42
39	SSP22	438038,8	120190,5	prag	0,35	ne	0	5,42
40	SSP23	438037,3	120199,3	prag	0,5	ne	0	5,42
41	SSP24	437402,2	120161,8	prag	1,08	ne	0	5,43
42	SSP25	437053,6	120183,5	prag	0,6	ne	0	5,43
43	SSJ8	436573,6	120162,5	jez	4,5	ne	0	5,44
44	SSD1	436445,6	120214,2	drča	0	ne	1	5,42

Zap. št.	ID prečne vodne zgradbe	Y	X	Vrsta prečne vodne zgradbe	Višina prečne vodne zgradbe (m)	Prehod za ribe	Prehodnost prečne vodne zgradbe za ribe*	Indeks DCI _p
45	SSP26	435816,2	120062,3	prag	0,2	ne	1	5,42
46	SSP27	435804,7	120058,0	prag	0,2	ne	1	5,42
47	SSP28	435663,1	120119,1	prag	0,4	ne	0	5,43
48	SSP29	435559,8	120170,4	prag	0,4	ne	0	5,42
49	SSP30	435509,1	120172,9	prag	0,4	ne	0	5,42
50	SSP31	435439,4	120182,6	prag	0,4	ne	0	5,42
51	SSP32	435379,7	120164,9	prag	0,4	ne	0	5,42
52	SSP33	435358,6	120143,9	prag	0,4	ne	0	5,42
53	SSP34	435322,4	120082,1	prag	0,4	ne	0	5,42
54	SSP35	435304,7	120033,9	prag	0,4	ne	0	5,42
55	SSP36	435274,5	119960,0	prag	0,4	ne	0	5,42
56	SSP37	435244,4	119876,2	prag	0,7	ne	0	5,42
57	SSP38	435202,6	119838,9	prag	0,4	ne	0	5,42
58	SSP39	435169,2	119805,3	prag	0,4	ne	0	5,42
59	SSP40	435119,7	119758,8	prag	0,4	ne	0	5,42
60	SSP41	435088,7	119702,0	prag	0,4	ne	0	5,42
61	SSJ9	435104,6	119587,8	jez	2,5	da – ne omogoča selitve rib	0	5,43
62	SSJ10	434202,4	119238,9	jez	2,5	ne	0	5,43
63	SSP42	434133,3	119171,2	prag	0,3	ne	0	5,43
64	SSP43	432946,4	118759,7	prag	0,3	ne	0	5,43
65	SSP44	432956,0	118690,7	prag	0,3	ne	0	5,42
66	SSP45	432883,1	118585,3	prag	0,3	ne	0	5,42
67	SSP46	432534,4	118591,1	prag	0,54	ne	0	5,42
68	SSP47	432595,3	118443,4	prag	0,4	ne	0	5,42

	Zap. št.	ID prečne vodne zgradbe	Y	X	Vrsta prečne vodne zgradbe	Višina prečne vodne zgradbe (m)	Prehod za ribe	Prehodnost prečne vodne zgradbe za ribe*	Indeks DCI _p
	69	SSP48	432544,3	118409,9	prag	0,3	ne	0	5,42
	70	SSP49	432489,0	118359,3	prag	0,7	ne	0	5,43
	71	SSP50	431092,9	118363,5	prag	0,4	ne	0	5,43
	72	SSP51	431028,5	118360,5	prag	0,4	ne	0	5,42
	73	SSP52	431012,0	118356,0	prag	0,2	ne	1	5,42
	74	SSP53	430875,4	118417,8	prag	0,4	ne	0	5,42
	75	SSP54	430848,0	118424,1	prag	0,4	ne	0	5,42
	76	SSP55	430676,0	118417,1	prag	0,3	ne	0	5,42
	77	SSP56	430652,4	118436,6	prag	0,3	ne	0	5,42
	78	SSP57	430628,1	118460,2	prag	0,3	ne	0	5,42
	79	SSP58	430097,6	118429,7	prag	0,3	ne	0	5,42
	80	SSP59	430074,1	118450,1	prag	0,3	ne	0	5,42
	81	SSP60	430052,2	118469,9	prag	0,3	ne	0	5,42
	82	SSP61	429011,2	118783,5	prag	0,7	ne	0	5,42
	83	SSP62	428982,1	118829	prag	0,3	ne	0	5,43
	84	SSP63	427933,6	118995,9	prag	0,2	ne	1	5,42
	85	SSP64	426878,4	118438	prag	0	ne	1	5,42
	86	SSP65	426874,3	118426,9	prag	0	ne	1	5,42
	87	SSP66	426870,5	118419	prag	0	ne	1	5,42
Zadnja Sora	88	ZSP1	425998,9	117363,9	prag	0	ne	1	5,42
	89	ZSP2	425995,3	117345,6	prag	0,1	ne	1	5,42
	90	ZSP3	425990,3	117328,4	prag	0,2	ne	1	5,42
	91	ZSJ1	425820,2	117130,8	jez	4	ne	0	5,43
	92	ZSP4	425804,5	117118,3	prag	0,3	ne	0	5,42

	Zap. št.	ID prečne vodne zgradbe	Y	X	Vrsta prečne vodne zgradbe	Višina prečne vodne zgradbe (m)	Prehod za ribe	Prehodnost prečne vodne zgradbe za ribe*	Indeks DCI _p
Poljanska Sora	93	ZSP5	425475,9	117072,8	prag	0,35	ne	0	5,42
	94	ZSP6	425429,4	117056,3	prag	0	ne	1	5,42
	95	ZSP7	425406,8	117037,7	prag	0,4	ne	0	5,42
	96	ZSP8	425290,2	116943,1	prag	0,3	ne	0	5,42
	97	ZSP9	425247,6	116925,9	prag	0,3	ne	0	5,42
	98	ZSP10	425118,3	116890,8	prag	0,3	ne	0	5,42
	99	ZSP11	425097,9	116886,2	prag	0,3	ne	0	5,42
	100	ZSP12	425066,4	116876,9	prag	0,3	ne	0	5,42
	101	ZSP13	425048,2	116876,1	prag	0,3	ne	0	5,42
	102	ZSP14	425027,4	116874,4	prag	0,3	ne	0	5,42
	103	ZSP16	424853,2	116798,8	prag	0,3	ne	0	5,42
	104	ZSP15	424874,2	116808,4	prag	0,3	ne	0	5,42
	105	ZSP17	424838,1	116786,2	prag	0,3	ne	0	5,42
	106	ZSP18	424816,6	116773,3	prag	0,3	ne	0	5,42
	107	ZSP19	424805,8	116767,2	prag	0,3	ne	0	5,42
	108	PSJ1	446980,5	113203,6	jez	3,5	da – ne omogoča selitve rib	0	5,96
	109	PSP1	443247,3	110933,7	prag	0,75	ne	0	5,46
	110	PSP2	443040,5	111139,3	prag	0,26	ne	0	5,42
	111	PSP3	442837,5	111126,6	prag	0,6	ne	0	5,44
112	PSJ2	441640,5	110248,5	jez	1,2	da – omogoča selitve rib	1	5,42	
113	PSD1	440114,4	109655,6	drča	0	ne	1	5,42	
114	PSP4	439787,4	109585,1	prag	0	ne	1	5,42	
115	PSJ3	439503,7	109570,3	jez	1	ne	0	6,14	
116	PSP5	437878,4	108820,0	prag	0	ne	1	5,42	

Zap. št.	ID prečne vodne zgradbe	Y	X	Vrsta prečne vodne zgradbe	Višina prečne vodne zgradbe (m)	Prehod za ribe	Prehodnost prečne vodne zgradbe za ribe*	Indeks DCI _p
117	PSP6	435856,3	107974,6	prag	0	ne	1	5,42
118	PSP7	435703,1	107972,2	prag	0	ne	1	5,42
119	PSP8	435414,0	107702,0	prag	0	ne	1	5,42
120	PSP9	434186,8	107098,1	prag	0	ne	1	5,42
121	PSJ4	433900,0	107102,8	jez	1,8	da – ne omogoča selitve rib	0	5,75
122	PSP10	432974,9	107306,9	prag	0	ne	1	5,42
125	PSP11	432117,2	107289,6	prag	0	ne	1	5,42
124	PSP12	432044,2	107259,4	prag	1,32	ne	0	5,42
123	PSJ5	432009,2	107248,8	jez	2,2	ne	0	5,43
126	PSD2	430538,1	105420,4	drča	0	ne	1	5,42
127	PSD3	430363,1	104995,2	drča	0	ne	1	5,42
128	PSP13	430461,5	104690,0	prag	2	ne	0	5,45
129	PSJ6	430515,6	104413,4	jez	7	ne	0	5,44
130	PSP14	430469,0	103105,0	prag	0,3	ne	0	5,44
131	PSJ7	430425,6	102885,5	jez	2	ne	0	5,44
132	PSP15	430696,3	101644,8	prag	0,3	ne	0	5,43
133	PSP16	430704,1	101520,7	prag	0,3	ne	0	5,42
134	PSP17	430730,9	101392,6	prag	0,9	ne	0	5,42
135	PSP18	430744,0	101361,0	prag	0,1	ne	1	5,43
136	PSP19	430946,5	100910,7	prag	0,3	ne	0	5,43
137	PSP20	430984,9	100745,6	prag	0,3	ne	0	5,42
138	PSP21	431150,3	100529,3	prag	0,3	ne	0	5,42
139	PSP22	431246,9	100349,6	prag	0,3	ne	0	5,42
140	PSP23	431323,0	100185,0	prag	0,3	ne	0	5,42

Zap. št.	ID prečne vodne zgradbe	Y	X	Vrsta prečne vodne zgradbe	Višina prečne vodne zgradbe (m)	Prehod za ribe	Prehodnost prečne vodne zgradbe za ribe*	Indeks DCI _p
141	PSP24	431418,4	99899,9	prag	0,5	ne	0	5,42
142	PSP25	431471,5	99623,0	prag	0,5	ne	0	5,42
143	PSP26	431454,6	99586,4	prag	0,3	ne	0	5,42
144	PSP27	431447,0	99579,0	prag	0,3	ne	0	5,42
145	PSP28	431429,4	99555,7	prag	0,3	ne	0	5,42
146	PSP29	431409,5	99519,6	prag	0,3	ne	0	5,42
147	PSP30	431393,2	99384,5	prag	0,3	ne	0	5,42
148	PSP31	431387,5	99339,7	prag	0,3	ne	0	5,44
149	PSP32	431740,0	98992,0	prag	0,2	ne	1	5,42
150	PSP33	432178,3	97911,2	prag	0,2	ne	1	5,42

*vrednost prehodnosti prečne vodne zgradbe za ribe znaša med 0 (0 % – za ribe popolnoma neprehodna prečna vodna zgradba) in 1 (100 % – za ribe popolnoma prehodna prečna vodna zgradba)

Legenda oznak:

- SJ = Sora jez,
- SP = Sora prag,
- SD = Sora drča,
- SSJ = Selška Sora jez,
- SSP = Selška Sora prag,
- SSD = Selška Sora drča,
- PSJ = Poljanska Sora jez,
- PSP = Poljanska Sora prag,
- PSD = Poljanska Sora drča,
- ZSJ = Zadnja Sora jez,
- ZSP = Zadnja Sora prag,
- ZSD = Zadnja Sora drča,
- številka = označuje zaporedno številko vrste prečne vodne zgradbe na vsakem posameznem vodotoku gorvodno.