

Oznaka poročila: ARRS-CRP-ZP-2014-01/16



## ZAKLJUČNO POROČILO CILJNEGA RAZISKOVALNEGA PROJEKTA

## A. PODATKI O RAZISKOVALNEM PROJEKTU

## 1. Osnovni podatki o raziskovalnem projektu

<b>Šifra projekta</b>	V1-1121
<b>Naslov projekta</b>	Razvoj in uporaba informacijskih orodij za ugotavljanje primernosti habitatov za potočno postrv (Salmo trutta ) in za določitev ukrepov za njihovo izboljšanje
<b>Vodja projekta</b>	9274 Franc Steinman
<b>Naziv težišča v okviru CRP</b>	2.05.02 Spodbujanje inovacij v ribištvu in diverzifikacija morskega ribištva
<b>Obseg raziskovalnih ur</b>	1118
<b>Cenovni razred</b>	C
<b>Trajanje projekta</b>	10.2011 - 09.2013
<b>Nosilna raziskovalna organizacija</b>	792 Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo
<b>Raziskovalne organizacije - soizvajalke</b>	414 Zavod za ribištvo Slovenije
<b>Raziskovalno področje po šifrantu ARRS</b>	1 NARAVOSLOVJE 1.03 Biologija 1.03.03 Ekosistemi
<b>Družbeno-ekonomski cilj</b>	02. Okolje
<b>Raziskovalno področje po šifrantu FOS</b>	4 Kmetijske vede 4.01 Kmetijstvo, gozdarstvo in ribištvo

## 2. Sofinancerji

	Sofinancerji	
1.	Naziv	
	Naslov	

## B. REZULTATI IN DOSEŽKI RAZISKOVALNEGA PROJEKTA

3. Povzetek raziskovalnega projekta<sup>1</sup>

SLO

Habitatno modeliranje, ki zagotavlja objektivno in ponovljivo analizo, je pristop, ki se uporablja za vrednotenje habitatne primernosti za izbrane in reprezentativne vrste pri različnih hidro morfoloških stanjih vodotokov. Rezultati so podlaga za podporo odločanju pri določanju ekološko sprejemljivega pretoka in načrtovanju omilitvenih ukrepov. Zaradi tega je bil cilj te naloge vpeljati tega pristopa tudi v Sloveniji in to na primeru analize habitatne primernosti za potočno postrv, kot ene od reprezentativnih ribjih vrst slovenskih vodotokov. Za izbrane pilotne odseke na reki Radovni je bilo v prvi fazi treba pridobiti ustrezne vhodne podatke, od natančnega in podrobnega geodetskega posnetka, prostorsko natančno ugotovljenega substrata in skrivališč rib do izvedbe hidravličnega modeliranja za pridobitev podatkov o poljih hitrosti in globin vode pri različnih pretokih in do večkratne izvedbe vzorčenja rib za zagotovitev podatkov za umerjanje preferenčnih krivulj in pravil mehke logike, kot dveh glavnih podlag za izvedbo vrednotenja habitatne primernosti. Zaradi obstoječe rabe vode, ki vpliva na habitatno primernost vodotokov, se je na enem pilotnem odseku preverila izvedba omilitvenih ukrepov, s katerim bi se izboljšala habitatna primernost. Zaradi obstoječe erozijske nevarnosti na drugem odseku pa se je ovrednotil vpliv načrtovanja izvedbe utrditve brežine brez upoštevanja sonaravnih izhodišč. Izvedena raziskava je primerna podlaga za izvedbo analize habitatne primernosti in načrtovanje omilitvenih ukrepov na drugih območjih, kjer je kot referenčna ribja vrsta določena potočna postrv. Prav tako je ustrezna podlaga za nadaljnje raziskave za določanje preferenčnih krivulj in pravil mehke logike za druge referenčne ribje vrste.

ANG

Habitat modelling as an approach which assures objective and repetitive analysis, supports the determination of habitat suitability for selected representative species at different hydro morphological states of watercourses. The results support the decision making at determination of ecologically acceptable flow and mitigation measures planning. Because of the mentioned the goal of this research was to introduce this approach to Slovenia region on the case of habitat suitability analysis for brown trout, as one of the representative fish species of Slovenian watercourses. At first for selected pilot cases river sections the input data had been acquired and verified, from exact and detailed geodetic survey of bathymetry, substrate and covers, to the hydraulic modelling, to provide data on water velocities and depth fields for series of discharges. To provide sufficient data for calibration of preference functions and fuzzy logic rules, as the basis for a validation of the habitat suitability, multiple ichthyologic surveys had been performed. Because of the existing water use, which influences habitat suitability, possible mitigation measures to improve habitat suitability were evaluated on one pilot case study section. Because of present erosion hazard on second pilot case section also planning of reinforcement of the bank without consideration of environment

friendly solutions, was evaluated. The performed research provide adequate basis for habitat suitability analysis and mitigation measures planning another river sections, where brown trout is recognized as representative fish species. It is also a basis for further researches to define preference functions and fuzzy logic rules for other reference fish species.

#### 4. Poročilo o realizaciji predloženega programa dela na raziskovalnem projektu<sup>2</sup>

Na podlagi Podrobnejšega programa izvajanja projekta so opravljene vse aktivnosti iz prijave. Bistvenih odstopanj od načrtovanega obsega projekta ni bilo, podcenjeno pa je bilo pridobivanje podatkov s terenskim vzorčenjem in meritvami, za katero je bilo potrebnega bistveno več časa in terenskega dela, kot je bilo predvideno. Namreč, vsi podatki, ki so potrebni za izvedbo habitatnega modeliranja, morajo biti prostorsko natančno pridobljeni za vse uporabljene sloje, saj je pri kasnejši analizi pomembno prekrivanje vrednosti posameznih vplivnih parametrov, kar pomeni, da ne sme prihajati do bistvenih prostorskih zamikov med posameznimi podatki. Tako se mora na primer tip substrata, ki je v posamezni merilni točki ugotovljen na podlagi terenske raziskave, prostorsko natančno določiti za celo serijo meritev. Na osnovi ugotovljene primernosti habitatov glede na izmerjene oz. modelirane hidravlične in hidro morfološke parametre smo za izbrane odseke vodotoka izdelali habitatne modele v programskem orodju Casimir ter izvedli analize za določitev ekološko sprejemljivega pretoka (Qes). Metodologija je izbrana, ker omogoča tudi način določanja Qes z upoštevanjem različnih omilitvenih ukrepov, zlasti z ureditvijo morfologije struge vodotoka, kar omogoča izdelavo podlag za sprejem ukrepov za ohranjanje in obnovo ribolovnih virov.

Izhodiščni cilj raziskovalnega projekta je bil ugotavljanje primernosti habitatov za potočno postrv (*Salmo trutta*), za kar se je želelo pridobiti objektivno in ponovljivo metodo. Kot osnovna hipoteza je bila postavljena trditev, da lahko aplikacija habitatnega modeliranja na podlagi preferenčnih krivulj za ocenjevanje posameznih parametrov in uporabe pravil mehke logike omogoči objektivno in ponovljivo vrednotenje habitatne primernosti za referenčno vrsto potočna postrv.

Določitev preferenčnih krivulj (imenovane tudi funkcije primernosti) je proces, s katerim se opiše odvisnost primernosti habitata od posameznih vrednosti izbranega parametra - v naši raziskavi smo analizirali preferenčne krivulje za globino vode, hitrost vode, substrat in ribja skrivališča. Praviloma se primernost številsko ovrednoti od 0 (najmanj primerno) do 1 (najbolj primerno). Habitatna primernost obravnavane prostorske točke (karakterističnega prostorčka) se v nadaljevanju določi na podlagi skupnega ovrednotenja vseh vključenih izbranih parametrov, ki lahko temelji na podlagi povprečne vrednosti, seštevanja, množenja ali drugih matematičnih operacij. Ker so je izkazalo, da se skupno ovrednotenje habitatne primernosti lahko dobro analizira s pomočjo pravil mehke logike (Fuzzy logic), ki omogoča mehko prehajanje med posameznimi ocenjevalnimi razredi, kar je značilno za naravne in habitatne sisteme, smo v tej raziskavi preverili uporabnost omenjenega pristopa.

V prvi fazi raziskovalnega projekta smo na podlagi strokovne ocene, obstoječih analiz in terenskih ogledov izbrali 4 odseke reke Radovne, na katerih je prisotna potočna postrv. Glavno merilo pri izboru reke Radovne kot testnega vodotoka in pri izboru ustreznih odsekov vodotoka je bil istočasni obstoj ohranjenih naravnih odsekov vodotokov in obstoj odsekov, kjer obstaja raba vode (odvzem vode) oziroma je izvedena sprememba hidromorfologije vodotoka (zgrajena vodna infrastruktura, z gradbenimi posegi urejene brežine oz. struga). Na ta način smo lahko opravili tudi primerjavo med referenčnim (naravnim) stanjem in antropogeno spremenjenim stanjem, kjer je stanje habitatov zaradi odvzema vode ali posegov v hidromorfologijo okrnjeno. V nadaljevanju projekta smo s terenskim delom zbrali potrebne podatke (geodetski posnetki, pretoki in globine vode, prostorski popis substrata in drstišč ter vzorčenje favne), ki so potrebni kot vhodni podatek za hidravlično modeliranje obravnavanih odsekov v prvi fazi za izračune porazdelitve hitrosti in globin vode pri različnih pretokih, v drugi fazi za umerjanja mehkih »fuzzy« pravil in v tretji fazi za habitatno modeliranje. Za umerjanje hidravličnega modela smo potrebovali več meritev pretokov in globin vode pri različni vodnatosti tj. pri različnih tokovnih razmerah. Pri preliminarni vzpostavitvi habitatnega

modela smo za potrebe testiranja najprej uporabili mehka pravila, ki so bila izdelana na podlagi običajno uporabljenih vrednosti mejnih intervalov mehkih pravil, kot jih je bilo mogoče pridobiti iz pregleda strokovne in znanstvene literature, nato pa še glede na prenos znanja oz. ugotovitev nemških strokovnjakov za obravnavano vrsto rib. Ker so bile ugotovitve nemških strokovnjakov izvedene za večje alpske reke in za nemško območje, je bilo treba za naše razmere, ko obravnavamo manjšo slovensko alpsko reko, mehka pravila ustrezno prilagoditi oziroma umeriti. Tu že gre za prvi primer takšne analize naravnih danosti v Sloveniji. Za to je bilo treba opraviti serijo terenskih vzorčenj rib na izbranih odsekih reke Radovne. Za preveritev (verifikacijo) umerjenih preferenčnih krivulj in pravil mehke logike pa smo uporabili podatke iz dodatnih terenskih vzorčenj, takšnih, ki niso bila uporabljena v nobeni od prejšnjih faz dela. V zaključku projekta smo s pripravljeno metodologijo, na podlagi vzpostavljenih habitatnih modelov, lahko opravili preverjanje različnih stanj. Tako smo v prvem delu analizirali sprejemljive vrednosti ohranjenega pretoka, v drugem delu pa preverili vpliv ukrepov na spremembo habitatne primernosti na obeh odsekih, kjer je raba že prisotna oz. se predvideva izvedbo betonirane stabilizacije brežine. V končnem poročilu projekta je opisan tudi celoten postopek za izvedbo habitatnega modeliranja na podlagi uporabe pravil mehke logike s podrobnejšimi navodili postopka izdelave modela in analize.

#### **5. Ocena stopnje realizacije programa dela na raziskovalnem projektu in zastavljenih raziskovalnih ciljev<sup>3</sup>**

Odvzemi vode posledično zmanjšajo pretoke v dolvodnih odsekih vodotokov, razpoložljive za različne uporabe voda (hidroelektrarne, namakanje, itd.), običajno pa hkrati osiromašijo tudi habitatno primernost za naravno prisotne vrste rečnih rib. V Sloveniji so med najpogostejšimi negativnimi vplivi oz. zmanjševanji primernih habitatov, ki izhajajo iz odvzemov vode, tisti za populacijo potočne postrvi (*Salmo trutta*). Raziskovalni izziv je bil, preizkusiti primernost habitatnega modeliranja, nato pa na pozitivnih rezultatih analiz izdelati orodje za podporo odločanju, ki bi omogočilo tako kvalitativne ocene kot tudi izvedbo presoje o količinskem stanju v vodotoku, ki še zadošča za doseganje ekološko dobrega stanja, torej za analize ekološko sprejemljivega pretoka in za presojo morebitnih omilitvenih ukrepov.

Rezultati projekta so izdelana metodologija za habitatno modeliranje, ki jo je mogoče v pogojih alpskega sveta uporabiti, so prikazi, kakšni so potrebni vhodni podatki in je izdelana metodologija, kako je treba vhodne parametre in pravila mehke logike pridobiti in iz vrednotiti, da se doseže ustrezna zanesljivost rezultatov modeliranja.

Za razvoj in verifikacijo modela so izbrana štiri reprezentativna a hkrati heterogena mesta vzorčenja. Dva odseka se nahajata na odsekih vodotokov z zgrajenimi malimi hidroelektrarnami, ki štejeta za močno spremenjena odseka zaradi odvzemov vode. Na drugih dveh odsekih ni odvzemov vode. Batimetrija strug je pridobljena z natančnim kartiranjem globin, ki omogoča izdelavo hidravličnega modela, opravljene serije meritev vodostajev in dejanskih pretokov pa so omogočile umerjanje in verifikacijo hidravličnih modelov. Tako je izdelano osnovno orodje za simuliranje odtočnih razmer oz. izračune hitrosti vode in globine pri različnih odvzemih vode. Opravljene so bile tudi meritve o prevladujočih in sub-dominantnih vrstah in velikostih substrata v strugah, ter porazdelitev ribjega življa na opazovanih

rečnih odsekih. Za slednje je bilo treba poiskati ustrezne metode vzorčenja rib in jih delno tudi prilagoditi glede na ugotovljene rečne mikrohabitate. Lokacije posameznih odraslih potočnih postrvi v tolmunih so bile določene z metodo opazovanja z nabrežja, metoda elektro ribolova pa je bila uporabljena za ugotavljanje populacije manjših rib in rib v skrivališčih. Ekološke in habitatne zahteve ribje vrste se razlikujejo glede na vrste populacije in glede na ekološke in hidromorfološke tipe vodotokov, zato je bilo treba določiti prevladujoče zahteve lokalno prisotnih populacij potočne postrvi. Tako pripravljene vhodne informacije so omogočile izdelavo preferenčnih funkcije in pravil mehke logike, potrebnih za habitatno modeliranje. S praktičnimi primeri je prikazano, kako habitatno modeliranje uporabiti za analize, potrebne za podporo odločanju o okoljsko sprejemljivem pretoku kot tudi za analize razpoložljivih ukrepov za zmanjšanje vpliva na habitatsko primernost.

#### 6. Utemeljitev morebitnih sprememb programa raziskovalnega projekta oziroma sprememb, povečanja ali zmanjšanja sestave projektne skupine<sup>4</sup>

Ni bilo sprememb pri izvajanju projekta.

#### 7. Najpomembnejši znanstveni rezultati projektne skupine<sup>5</sup>

		Znanstveni dosežek	
1.	COBISS ID	6204513	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Habitatno modeliranje kot podpora določanju ukrepov pri načrtovanju rabe voda
		ANG	Habitat modelling to support determination of measures by water use planning
	Opis	SLO	Strokovnjaki s področja hidrotehnike in biologije smo v letu 2011 pričeli z interdisciplinarnim izvajanjem aktivnosti ciljnega raziskovalnega projekta, ki sta ga financirala Javna agencija za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije (ARRS) in Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano. Prispevek podaja pregled dosedanjega dela, ki ga izvajamo v sklopu projekta "Razvoj in uporaba informacijskih orodij za ugotavljanje primernosti habitatov za potočno postrv ( <i>Salmo trutta</i> ) in za določitev ukrepov za njihovo izboljšanje", v okviru Ciljnega raziskovalnega programa "Zagotovimo.si hrano za jutri". Razlog za izvedbo raziskovalnega projekta je pomanjkanje razpoložljivih orodij in metodologije, ki bi omogočila objektivno vrednotenje habitatne primernosti določenega analiziranega odseka vodotoka za ribe, in to predvsem v odvisnosti od količine odvzetega naravnega pretoka oziroma izvedenih izravnalnih ukrepov. Metodologija bi temeljila na izračunih hidravličnih parametrov vodotoka (pretoki, hitrosti in globine vode) in drugih hidromorfoloških lastnosti vodotoka (substrat, skrivališča za ribe, itd.) pri različnih količinah odvzete vode iz osnovne struge. Glavni cilj projekta je uvajanje sodobnih informacijskih orodij in metod, na podlagi katerih se lahko pravilneje določa ekološko sprejemljivi pretok z možnostjo preveritve drugih načrtovanih omilitvenih ukrepov pri posegih v morfologijo struge analiziranega vodotoka. Omenjeno bo tudi podlaga za celovito omogočanje/določitev podlag za sprejem ukrepov za ohranjanje in obnovo ribolovnih virov. V prispevku so predstavljena teoretična izhodišča s predstavitvijo uporabljenega prostorsko

		informacijskega orodja, ki temelji na uporabi mehke logike (ang. t.i. "fuzzy logic") in potrebe glede pridobivanja podatkov in analiz, ki jih je treba izvesti za podporo habitatnemu modeliranju. Zaradi boljše predstavitve vzpostavitve modelov in načina analize so prikazani tudi preliminarni rezultati vzorčenj, ki smo jih izvedli na reki Radovni, v zaključku pa so podane dosedanje bistvene ugotovitve in problematika, ki jih je treba upoštevati pri učinkoviti izvedbi habitatnega modeliranja.
	ANG	The first example of habitat modeling in Slovenia was presented to professional public. For real river stretch the habitat suitability evaluation methodology was explained in detail. Additionally, a new area of implementation was introduced by considering the developed methodology as an evaluation tool of potential mitigation measures, to assess and verify whether habitat suitability is maintained or improved.
Objavljeno v	Vodnogospodarski biro; Zbornik referatov; 2012; Str. 127-134; Avtorji / Authors: Prešeren Tanja, Šantl Sašo, Čarf Maša, Jenič Aljaž	
Tipologija	1.08 Objavljeni znanstveni prispevek na konferenci	

### 8. Najpomembnejši družbeno-ekonomski rezultati projektne skupine<sup>6</sup>

	Družbeno-ekonomski dosežek	
1.	COBISS ID	Vir: vpis v poročilo
	Naslov	SLO Prehod mlajšega raziskovalca v gospodarstvo
		ANG Junior researcher got a job in a company (Ltd.)
	Opis	SLO Raziskovalec, ki se je v okviru projekta usposabljal za habitatno modeliranje tudi v tujini (Univerza v Stuttgartu) in pripravlja doktorsko nalogo s področja tega projekta, se je zaposlil v d.o.o., ki je vključena v proces določanja ekološko sprejemljivega pretoka.
		ANG The researcher, who received training under the project of Habitat modeling abroad (University of Stuttgart) and who is writing his doctoral thesis in the area of this project, was employed by a company that is involved in the process of determining ecologically acceptable flow.
	Šifra	F.17 Prenos obstoječih tehnologij, znanj, metod in postopkov v prakso
	Objavljeno v	Ni objave.
	Tipologija	2.25 Druge monografije in druga zaključena dela
2.	COBISS ID	5860193 Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO Pristop za usklajevanje hidroenergetske rabe voda z dobrim stanjem alpskih vodotokov
		ANG A problem solving approach for sustainable management of hydropower and river ecosystems in the Alps
	Opis	SLO V priročnik so vključena tudi nova znanja o slovenskih rečnih ekosistemih, kjer je potočna postrv reprezentativna vrsta. Tako so bile preferenčne krivulje in pravila mehke logike, določene v tem raziskovalnem projektu, kot dve glavni podlagi za izvedbo vrednotenja habitatne primernosti, uporabljene v programski opremi Casimir, kar je omogočilo, da so rezultati habitatnega modeliranja z raziskovalnih odsekov s slovenskih vodotokov primerjani z rezultati analiz v drugih alpskih državah.
		ANG New knowledge about Slovenian river ecosystems, where the brown trout is the representative species, is included in the Manual as well. The preference functions and fuzzy logic rules set out in this research project are the main input for the evaluation of habitat suitability which is used by

		the Casimir software. It was possible to compare the results of the Slovenian river stretches habitat modeling with obtained results from other Alpine countries.
Šifra	F.09	Razvoj novega tehnološkega procesa oz. tehnologije
Objavljeno v	Share; 2012; 90 str.; Avtorji / Authors: Mammoliti Mochet Andrea, Rovere Silvia, Saccardo Italo, Maran Stefano, Fercej Darko, Steinman Franci, Schneider Josef, Füreder L., Lesky Urs, Belleudy Philippe, Ruillet Mathieu, Kopecki Ianina, Evrard Nicolas	
Tipologija	2.02	Strokovna monografija

## 9. Drugi pomembni rezultati projektne skupine<sup>7</sup>

O rezultatih raziskave je v postopku recenzije članek, poslan v objavo v reviji: Water Resources Management Journal (Springer Verlag)

## 10. Pomen raziskovalnih rezultatov projektne skupine<sup>8</sup>

### 10.1. Pomen za razvoj znanosti<sup>9</sup>

SLO

Habitatno modeliranje se v svetu vse bolj uveljavlja. V zadnjem obdobju so glavne aktivnosti usmerjene na področje umerjanja različnih zasnov modelov in verifikacije uporabnosti tega pristopa na realnih primerih. Slovenska raziskava daje ustrezno podlago tudi za primerjalne analize v širšem alpskem območju na odsekih, kjer je reprezentativna vrsta potočna postrv. Prikazuje pa tudi nove primere uporabe, ko se z novim pristopom vrednotijo načrtovani omilitveni ukrepi na rečnih odsekih, prizadetih zaradi odvzemov vode.

ANG

Habitat modelling approaches slowly gains its position around the world. In recent years, the main activities are focused on the field of calibration of various concept models and verification of this approach on real situations. Slovenian investigation provides an adequate basis for comparative analyzes in the wider Alpine area for river stretches where brown trout (*Salmo trutta*) are the representative fish population. In addition, it presents new possibilities for applications in the field of mitigation measures planning on watercourses with heavy water abstraction impact.

### 10.2. Pomen za razvoj Slovenije<sup>10</sup>

SLO

V sklopu tega projekta je bilo habitatno modeliranje kot raziskovalni in aplikativni pristop prvič predstavljeno v Sloveniji. Metoda in orodje nudita učinkovito, objektivno in ponovljivo podlago za ustrezno določanje ekološko sprejemljivega pretoka in za presojo načrtovanih posegov na vodna zemljišča. Rezultati projekta omogočajo nadaljnji razvoj in vpeljavo metode za ugotavljanje habitatne primernosti tudi na vodotokih, kjer so druge reprezentativne ribje vrste.

ANG

Within this project habitat modeling was for the first time introduced in Slovenia from research and applicative perspective as well. The method and the tool give an efficient, objective in repeatable basis for proper decision making on determination of ecologically acceptable flow and for evaluation of intended measures on watercourses. The results support further method development and introduction of the method to analyses habitat suitability of other representative fish species.

## 11. Vpetost raziskovalnih rezultatov projektne skupine.

### 11.1. Vpetost raziskave v domače okolje

Kje obstaja verjetnost, da bodo vaša znanstvena spoznanja deležna zaznavnega odziva?

- v domačih znanstvenih krogih
- pri domačih uporabnikih

**Kdo (poleg sofinancerjev) že izraža interes po vaših spoznanjih oziroma rezultatih?<sup>11</sup>**

Za rezultate se zanimajo subjekti, ki želijo pridobiti vodno pravico ali pa jo že imajo. Podrobne predstavitve so podane institucijam, vključenim v proces odločanja o posebni rabi vode in določanje omejitev pri posegih v vodno okolje (MKO, ARSO, Inštitut RS za vode). Uporabnost je predstavljena institucijam s področja obnovljivih virov energije (Direktorat za energijo, Ministrstvo za infrastrukturo in prostor).

**11.2. Vpetost raziskave v tuje okolje**

Kje obstaja verjetnost, da bodo vaša znanstvena spoznanja deležna zaznavnega odziva?

- v mednarodnih znanstvenih krogih
- pri mednarodnih uporabnikih

**Navedite število in obliko formalnega raziskovalnega sodelovanja s tujini raziskovalnimi inštitucijami:<sup>12</sup>**

Sodelovali smo z dvema univerzama:

- Universität Stuttgart, Postfach 10 60 37, 70049 Stuttgart
- Universität für Bodenkultur Wien, Gregor Mendel Straße 33, 1180 Wien, Österreich

**Kateri so rezultati tovrstnega sodelovanja:<sup>13</sup>**

Na univerzi v Stuttgartu sta bila 2 raziskovalca na nekajdnevnem usposabljanju za habitatno modeliranje. Profesorja z univerze na Dunaju je Senat FGG imenoval za somentorja doktorandu, ki je bil raziskovalec na tem projektu. Tudi v tej obliki je opravljen prenos tujega znanja v Slovenijo.

**12. Izjemni dosežek v letu 2013<sup>14</sup>**

**12.1. Izjemni znanstveni dosežek**

**12.2. Izjemni družbeno-ekonomski dosežek**

Rezultati habitatnega modeliranja za potočno postrv v alpskih vodotokih so bili predstavljeni na »EGU General Assembly 2013«, kjer številni znanstveniki s področja geo-znanosti predstavljajo najnovejše raziskave. Ta srečanja so še posebej pomembna za mlajše raziskovalce, saj spoznavajo vodilne strokovnjake z različnih področij in se srečajo z najnovejšimi trendi raziskav. Predstavitve projekta je omogočila razprava o preferenčnih funkcijah in pravilih mehke logike, ki so bile določene na podlagi obsežnih terenskih raziskav na slovenskih testnih odsekih, ter o uporabljenih tehnikah meritev in vzorčenja. Podan je opis metodologije, uporabljene merilne in analitske metode ter interpretacija rezultatov. Obsežno terensko raziskovalno delo prinaša nova znanja o vodnem okolju alpskega prostora in omogoča rabo novega pristopa v slovenskem prostoru.

**C. IZJAVE**

Podpisani izjavljam/o, da:

- so vsi podatki, ki jih navajamo v poročilu, resnični in točni
- se strinjamo z obdelavo podatkov v skladu z zakonodajo o varstvu osebnih podatkov za potrebe



ocenjevanja in obdelavo teh podatkov za evidence ARRS

- so vsi podatki v obrazcu v elektronski obliki identični podatkom v obrazcu v pisni obliki
- so z vsebino zaključnega poročila seznanjeni in se strinjajo vsi soizvajalci projekta
- bomo sofinancerjem istočasno z zaključnim poročilom predložili tudi elaborat na zgoščenki (CD), ki ga bomo posredovali po pošti, skladno z zahtevami sofinancerjev.

#### Podpisi:

*zastopnik oz. pooblaščen oseba  
raziskovalne organizacije:*

in

*vodja raziskovalnega projekta:*

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za  
gradbeništvo in geodezijo

Franc Steinman

---

#### ŽIG

Kraj in datum: 

Ljubljana	15.4.2014
-----------	-----------

#### Oznaka prijave: ARRS-CRP-ZP-2014-01/16

---

<sup>1</sup> Napišite povzetek raziskovalnega projekta (največ 3.000 znakov v slovenskem in angleškem jeziku). [Nazaj](#)

<sup>2</sup> Napišite kratko vsebinsko poročilo, kjer boste predstavili raziskovalno hipotezo in opis raziskovanja. Navedite ključne ugotovitve, znanstvena spoznanja, rezultate in učinke raziskovalnega projekta in njihovo uporabo ter sodelovanje s tujimi partnerji. Največ 12.000 znakov vključno s presledki (približno dve strani, velikost pisave 11). [Nazaj](#)

<sup>3</sup> Realizacija raziskovalne hipoteze. Največ 3.000 znakov vključno s presledki (približno pol strani, velikost pisave 11). [Nazaj](#)

<sup>4</sup> V primeru bistvenih odstopanj in sprememb od predvidenega programa raziskovalnega projekta, kot je bil zapisan v predlogu raziskovalnega projekta oziroma v primeru sprememb, povečanja ali zmanjšanja sestave projektne skupine v zadnjem letu izvajanja projekta, napišite obrazložitev. V primeru, da sprememb ni bilo, to navedite. Največ 6.000 znakov vključno s presledki (približno ena stran, velikosti pisave 11). [Nazaj](#)

<sup>5</sup> Navedite znanstvene dosežke, ki so nastali v okviru tega projekta. Raziskovalni dosežek iz obdobja izvajanja projekta (do oddaje zaključnega poročila) vpišete tako, da izpolnite COBISS kodo dosežka – sistem nato sam izpolni naslov objave, naziv, IF in srednjo vrednost revije, naziv FOS področja ter podatek, ali je dosežek uvrščen v A" ali A'. [Nazaj](#)

<sup>6</sup> Navedite družbeno-ekonomske dosežke, ki so nastali v okviru tega projekta. Družbeno-ekonomski rezultat iz obdobja izvajanja projekta (do oddaje zaključnega poročila) vpišete tako, da izpolnite COBISS kodo dosežka – sistem nato sam izpolni naslov objave, naziv, IF in srednjo vrednost revije, naziv FOS področja ter podatek, ali je dosežek uvrščen v A" ali A'.

Družbeno-ekonomski dosežek je po svoji strukturi drugačen kot znanstveni dosežek. Povzetek znanstvenega dosežka je praviloma povzetek bibliografske enote (članka, knjige), v kateri je dosežek objavljen.

Povzetek družbeno-ekonomskega dosežka praviloma ni povzetek bibliografske enote, ki ta dosežek dokumentira, ker je dosežek sklop več rezultatov raziskovanja, ki je lahko dokumentiran v različnih bibliografskih enotah. COBISS ID zato ni enoznačen izjemoma pa ga lahko tudi ni (npr. prehod mlajših sodelavcev v gospodarstvo na pomembnih raziskovalnih nalogah, ali ustanovitev podjetja kot rezultat projekta ... - v obeh primerih ni COBISS ID). [Nazaj](#)

<sup>7</sup> Navedite rezultate raziskovalnega projekta iz obdobja izvajanja projekta (do oddaje zaključnega poročila) v primeru, da katerega od rezultatov ni mogoče navesti v točkah 7 in 8 (npr. ni voden v sistemu COBISS). Največ 2.000 znakov, vključno s presledki. [Nazaj](#)

<sup>8</sup> Pomen raziskovalnih rezultatov za razvoj znanosti in za razvoj Slovenije bo objavljen na spletni strani: <http://sicris.izum.si/> za posamezen projekt, ki je predmet poročanja. [Nazaj](#)

<sup>9</sup> Največ 4.000 znakov, vključno s presledki. [Nazaj](#)

<sup>10</sup> Največ 4.000 znakov, vključno s presledki. [Nazaj](#)

<sup>11</sup> Največ 500 znakov, vključno s presledki. [Nazaj](#)

<sup>12</sup> Največ 500 znakov, vključno s presledki. [Nazaj](#)

<sup>13</sup> Največ 1.000 znakov, vključno s presledki. [Nazaj](#)

<sup>14</sup> Navedite en izjemni znanstveni dosežek in/ali en izjemni družbeno-ekonomski dosežek raziskovalnega projekta v letu 2013 (največ 1000 znakov, vključno s presledki). Za dosežek pripravite diapozitiv, ki vsebuje sliko ali drugo slikovno gradivo v zvezi z izjemnim dosežkom (velikost pisave najmanj 16, približno pol strani) in opis izjemnega dosežka (velikost pisave 12, približno pol strani). Diapozitiv/-a priložite kot priponko/-i k temu poročilu.

Vzorec diapozitiva je objavljen na spletni strani ARRS <http://www.arrs.gov.si/sl/gradivo/>, predstavitev dosežkov za pretekla leta pa so objavljena na spletni strani <http://www.arrs.gov.si/sl/analize/dosez/> [Nazaj](#)

Obrazec: ARRS-CRP-ZP/2014-01 v1.00

2C-9F-66-11-B7-21-5B-10-BD-33-41-4B-1D-65-A8-75-37-45-E7-90



Zavod za  
ribištvo  
Slovenije Fisheries Research  
Institute of Slovenia

Sp. Gameljne 61a • SI-1211 Ljubljana - Šmartno  
T 01 24 43 400 • F 01 24 43 405 • E info@zzrs.si  
www.zzrs.si

Univerza  
v Ljubljani  
Fakulteta  
za gradbeništvo  
in geodezijo



## Razvoj in uporaba informacijskih orodij za ugotavljanje primernosti habitatov za potočno postrv (*Salmo trutta*) in določitev ukrepov za njihovo izboljšanje

### KONČNO POROČILO



Direktor Zavoda za ribištvo Slovenije:

Dejan Pehar, spec.

Vodja ciljnega raziskovalnega projekta:

dr. Franci Steinman, univ.dipl.inž.grad.

Ljubljana, september 2013

Financerja: **Javna agencija za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije in**

**Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano**

Pogodba št. **1000-11-282021** o financiranju in izvajanju raziskovalnega projekta št. **V1-1121** v okviru Ciljnega raziskovalnega projekta »**Zagotovimo.si hrano za jutri**«

Izvajalec: **Univerza v Ljubljani**  
Kongresni trg 12  
SI-1000 Ljubljana

Vodja raziskovalnega projekta: **Dr. Franci Steinman**, univ. dipl. inž. grad.

Projektna skupina:

Univerza  
v Ljubljani  
Fakulteta  
za gradbeništvo  
in geodezijo



**Univerza v Ljubljani, FGG,**  
Katedra za mehaniko tekočin z laboratorijem  
Hajdrihova 28

dr. Franci Steinman univ. dipl. inž. grad.  
mag. Sašo Šantl, univ. dipl. inž. grad.  
Tanja Prešeren, univ. dipl. inž. grad.  
Gašper Rak, univ. dipl. inž. grad.  
Karin Kompare, univ. dipl. inž. agr.

**Zavod za ribištvo Slovenije**  
Spodnje Gameljne 61 a  
SI-1211 Ljubljana Šmartno



Zavod za  
ribištvo  
Slovenije Fisheries Research  
Institute of Slovenia

Sp. Gameljne 61a • SI-1211 Ljubljana - Šmartno  
T 01 24 43 400 • F 01 24 43 405 • E info@zzrs.si  
www.zzrs.si

Maša Čarf, univ. dipl. biol.  
Aljaž Jenič, univ. dipl. biol.  
Nastja Pajk, univ. dipl. biol.  
Tomaž Modic, univ. dipl. biol.  
dr. Samo Podgornik, univ. dipl. biol.

## **Povzetek**

Habitatno modeliranje, ki zagotavlja objektivno in ponovljivo analizo, je pristop, ki se uporablja za vrednotenje habitatne primernosti za izbrane in reprezentativne vrste pri različnih hidro morfoloških stanjih vodotokov. Rezultati so podlaga za podporo odločanju pri določanju ekološko sprejemljivega pretoka in načrtovanju omilitvenih ukrepov. Zaradi tega je bil cilj te naloge vpeljati tega pristopa tudi v Sloveniji in to na primeru analize habitatne primernosti za potočno postrv, kot ene od reprezentativnih ribjih vrst slovenskih vodotokov. Za izbrane pilotne odseke na reki Radovni je bilo v prvi fazi treba pridobiti ustrezne vhodne podatke, od natančnega in podrobnega geodetskega posnetka, prostorsko natančno ugotovljenega substrata in skrivališč do izvedbe hidravličnega modeliranja za pridobitev podatkov o poljih hitrosti in globin vode pri različnih pretokih in do večkratne izvedbe vzorčenja rib za zagotovitev podatkov za umerjanje preferenčnih krivulj in pravil mehke logike, kot dveh glavnih podlag za izvedbo vrednotenja habitatne primernosti. Zaradi obstoječe rabe vode, ki vpliva na habitatno primernost vodotokov, se je na enem pilotnem odseku preverila izvedba omilitvenih ukrepov, s katerimi bi se izboljšala habitatna primernost. Zaradi obstoječe erozijske nevarnosti na drugem odseku pa se je ovrednotil vpliv načrtovanja izvedbe utrditve brežine brez upoštevanja sonaravnih izhodišč. Izvedena raziskava je primerna podlaga za izvedbo analize habitatne primernosti in načrtovanje omilitvenih ukrepov na drugih območjih, kjer je kot referenčna ribja vrsta določena potočna postrv. Prav tako je podlaga za nadaljnje raziskave za določanje preferenčnih krivulj in pravil mehke logike za druge referenčne ribje vrste.

## Summary

Habitat modelling as an approach which assures objective and repetitive analysis, supports the determination of habitat suitability for selected representative species at different hydro morphological states of watercourses. The results support the decision making at determination of ecologically acceptable flow and mitigation measures planning. Because of the mentioned the goal of this research was to introduce this approach to Slovenia region on the case of habitat suitability analysis for brown trout, as one of the representative fish species of Slovenian watercourses. At first for selected pilot cases river sections the input data had been acquired and verified, from exact and detailed geodetic survey of bathymetry, substrate and covers, to the hydraulic modelling, to provide data on water velocities and depth fields for series of discharges. To provide sufficient data for calibration of preference functions and fuzzy logic rules, as the basis for a validation of the habitat suitability, multiple ichthyologic surveys had been performed. Because of the existing water use, which influences habitat suitability, possible mitigation measures to improve habitat suitability were evaluated on one pilot case study section. Because of present erosion hazard on second pilot case section also planning of reinforcement of the bank without consideration of environment friendly solutions, was evaluated. The performed research provide adequate basis for habitat suitability analysis and mitigation measures planning another river sections, where brown trout is recognized as representative fish species. It is also a basis for further researches to define preference functions and fuzzy logic rules for other reference fish species.

**Kazalo vsebine**

<b>1. Uvod</b>	<b>1</b>
<b>2. Pridobivanje podatkov</b>	<b>3</b>
<b>2.1. Terensko delo na izbranih odsekih</b>	<b>5</b>
2.1.1. Izbor ribje vrste: potočna postrv in njen habitat	5
2.1.2. Izbor odsekov – reka Radovna	7
2.1.3. Pridobivanje geodetskih podatkov	11
2.1.4. Meritve pretokov in gladin vode	11
2.1.5. Določitev substrata in skrivališč za ribe	16
2.1.6. Vzorčenje habitatov potočne postrvi na izbranih odsekih reke Radovne	19
<b>2.2. Popis drstič potočne postrvi</b>	<b>26</b>
<b>2.3. Določitev Qes v skladu s predpisi o vodah</b>	<b>32</b>
<b>3. Hidravlično modeliranje</b>	<b>36</b>
<b>3.1. Vzpostavitev hidravličnega modela</b>	<b>36</b>
<b>3.2. Umerjanje hidravličnega modela</b>	<b>38</b>
3.2.1. Odsek Radovna 1a	38
3.2.2. Odsek Radovna 1b	39
3.2.3. Odsek Radovna 2a	40
3.2.4. Odsek Radovna 2b	40
<b>3.3. Nabor rezultatov hidravličnega modeliranja</b>	<b>41</b>
<b>4. Habitatno modeliranje</b>	<b>42</b>
<b>4.1. Predstavitev programskega orodja CASiMiR</b>	<b>42</b>
<b>4.2. Vzpostavitev modela</b>	<b>44</b>
<b>4.3. Umerjanje habitatnega modela</b>	<b>44</b>
<b>5. Rezultati in ugotovitve</b>	<b>48</b>
<b>5.1. Sedanje stanje</b>	<b>48</b>
<b>5.2. Analiza ukrepov in ureditev</b>	<b>49</b>
5.2.1. Odsek Radovna 1b	49
5.2.2. Odsek Radovna 2b	51
<b>5.3. Okvirni postopek izvedbe habitatnega modeliranja</b>	<b>54</b>

<b>5.4. Diseminacija ugotovitev in rezultatov projekta .....</b>	<b>55</b>
<b>6. Zaključek .....</b>	<b>56</b>
<b>7. Literatura .....</b>	<b>58</b>
<b>Priloge.....</b>	<b>60</b>



**Kazalo slik**

Slika 1:	Potočna postrv v naravnem habitatu na odseku Radovna 2b.....	6
Slika 2:	Prikaz porečja reke Radovne s hidrografsko mrežo in z delujočimi vodomernimi postajami.....	7
Slika 3:	Prikaz odseka Radovne z odseki raziskave in analize.....	8
Slika 4:	Shematski prikaz in poimenovanje vzorčnih odsekov na reki Radovni.....	8
Slika 5:	Fotografija dela odseka Radovna 1a .....	9
Slika 6:	Fotografija dela odseka Radovna 1b .....	9
Slika 7:	Fotografija dela odseka Radovna 2a .....	10
Slika 8:	Fotografija dela odseka Radovna 2b .....	10
Slika 9:	Geodetska izmera dela odseka Radovna 1b.....	11
Slika 10:	Meritev pretoka po metodi sledenja oziroma razredčenja raztopljenega sledila. ..	12
Slika 11:	Prikaz meritev pretoka s prenosnim merilcem Flo-Tracer. ....	12
Slika 12:	Prikaz meritev globin vode z vodomerno lato (08.06. 2012). ....	13
Slika 13:	Meritve z Leico – meritev geodetskih točk in globin vode. ....	13
Slika 14:	Časovni prikaz dni izvajanja meritev ter temperature in padavine v obdobju pred in med izvedenimi meritvami. ....	14
Slika 15:	Primerjava izmerjenih pretokov na različnih odsekih reke Radovne; vrstni red prikazanih odsekov ustreza rečni stacionaži, tako da si odseki sledijo v protitočni smeri (dolvodno – gorvodno).....	15
Sliki 16 in 17:	Prikaz popisa substrata na odseku Radovna. ....	17
Slika 18:	Grafični prikaz substrata in skrivališča na odseku Radovna 1a.....	17
Sliki 19 in 20:	Orientacijske oznake ob strugi na vzorčnem odseku Radovna 1b. ....	18
Slika 21:	Prikaz priprave odseka struge Radovna 1b na vzorčenje rib s prilagojenim natančnim elektroribolovom. ....	21
Slika 22:	Prikaz vzorčenja rib na odseku Radovne s prilagojenim natančnim elektroribolovom. ....	21
Slika 23:	Različne faze vzorčenja rib z prilagojenim natančnim elektroribolovom (zapisovanje na podrobne karte, postavitve pregradnih mrež, merjenje rib takoj po ulovu, električna bariera na koncu pregradne mreže). ....	22
Slika 24:	Prikaz vzorčenja rib na odseku Radovne z metodo vizualnega popisa rib.....	23
Slika 25:	Potočne postrvi iz Radovne, ujete s prilagojenim natančnim elektroribolovom rib. ....	23

Slika 26:	Dolžinsko frekvenčni histogram potočnih postrvi, ujetih s prilagojenim natančnim elektroribolovom na vseh štirih izbranih odsekih Radovne dne 24. in 25. julija 2013.....	24
Slika 27:	Prikaz položaja rib in njihove velikosti v prvem vzorčenju na odseku Radovna 2a. ....	25
Slika 28:	Drstna jama s parom potočnih postrvi (puščica) v drsti na odseku Radovna 1a. ..	26
Slika 29:	Drstna jama na odseku Radovna 1a. ....	26
Slika 30:	Prikaz evidentiranih drstišč na odseku Radovna 1a. ....	27
Sliki 31 in 32:	Izolacija ovarijev potočne postrvi. ....	27
Slika 33:	Izolacija testisov potočne postrvi. ....	28
Sliki 34 in 35:	Izoliran ovarij potočne postrvi z ikrami (levo) in izolirani testisi potočne postrvi (desno).....	28
Sliki 36 in 37:	Izolacija nerazvitih (levo) in razvitih (desno) ovarijev potočne postrvi. ....	28
Slika 38:	Prikaz zgradbe cikloidne luske (vir: Sket in Povž, 1990).....	29
Slika 39:	Odvzem lusk potočne postrvi.....	30
Slika 40:	Luska 3+ leta stare potočne postrvi z označenimi letnimi prirasti.....	30
Slika 41:	Luska 1+ leta stare potočne postrvi z označenimi letnimi prirasti.....	31
Slika 42:	Grafični prikaz primerjave med dolžino in starostjo potočne postrvi. ....	31
Slika 43:	Grafični prikaz spolne zrelosti vzorčenih rib pri različnih dolžinah osebkov (skupno samice in samci).....	32
Slika 44:	Karta Slovenije z označenimi skupinami ekoloških tipov in velikostmi prispevnih površin .....	34
Slika 45:	Določitev Qes vzdolž reke Radovne od izliva v reko Savo Dolinko do izvira za različne tipe povratnih odvzemov. ....	35
Slika 46:	Model batimetrije za odsek Radovna 2b .....	36
Slika 47:	Preliminarni rezultati hidravličnega modela Radovna 2b: globine [m] .....	37
Slika 48:	Preliminarni rezultati hidravličnega modela Radovna 2b: hitrostno polje [m/s]. ..	38
Slika 49:	Izmerjeni vodostaji v izbranem prečnem prerezu na odseku Radovna 1a (08.06. 2012).....	39
Slika 50:	Rezultati hidravličnega modela Radovna 1a – razmere 08.06. 2012: globine [m]. ....	39
Slika 51:	Rezultati hidravličnega modela Radovna 1a – razmere 08. 06. 2012: hitrostno polje [m/s].....	39

Slike 52:	Robni pogoji nabora rezultatov hidravličnih modelov za posamezne odseke Radovne. ....	41
Slika 53:	Shema glavnih modulov programskega orodja CASiMiR (prirejeno po Schneider in sod., 2010).....	42
Slika 54:	Shema mehkega inferenčnega stroja (povzeto po Schneider in sod., 2010). ....	43
Slika 55:	Grafični prikaz preliminarnih rezultatov habitatnega modela Radovna 1b za juvenilne stadije rib. ....	44
Slika 56:	Grafični prikaz uporabljenih mehkih nizov (»fuzzy sets«), ki smo jih uporabili za habitatno modeliranje. ....	46
Slika 57:	<i>Tabelarni prikaz uporabljenih mehkih nizov (»fuzzy sets«), ki smo jih uporabili za habitatno modeliranje. ....</i>	<i>47</i>
Slika 58:	Uporabna korigirana površina kot funkcija pretoka – odsek Radovna 1b. Grafični prikaz WUA za ribe pod 10 cm in nad 10 cm za sedanje stanje.....	48
Slika 59:	Uporabna korigirana površina kot funkcija pretoka – odsek Radovna 2b. Grafični prikaz WUA za ribe pod 10 cm in nad 10 cm za sedanje stanje.....	49
Slika 60:	Uporabna korigirana površina kot funkcija pretoka – odsek Radovna 1b. Grafični prikaz WUA za ribe pod 10 cm in nad 10 cm pred izvedbo in po izvedbi utrjevanja brežine. ....	50
Slika 61:	<i>Grafična primerjava hitrosti vodnega toka (m/s) na odseku Radovna 1b pri obstoječem stanju (levo) in v primeru regulacije leve brežine na spodnji tretjini odseka (desno).....</i>	<i>51</i>
Slika 62:	Uporabna korigirana površina kot funkcija pretoka – odsek Radovna 2b. Grafični prikaz WUA za ribe pod 10 cm in nad 10 cm pred izvedbo in po izvedbi dveh talnih pragov v strugi.....	52
Slika 63:	<i>Grafična primerjava globin vode (m) na odseku Radovna 2b pri obstoječem stanju (zgoraj) in v primeru regulacije leve brežine na spodnji tretjini odseka (spodaj). ....</i>	<i>53</i>
Slika 64:	Prikaz osnovnega procesa za izvedbo habitatnega modeliranja s pristopom mehke (»fuzzy«) logike .....	54
Slika 65:	Substrat in skrivališča na odseku Radovna 1a. ....	60
Slika 66:	Substrat in skrivališča na odseku Radovna 1b. ....	60
Slika 67:	Substrat in skrivališča na odseku Radovna 2a. ....	61
Slika 68:	Substrat in skrivališča na odseku Radovna 2b. ....	61
Slika 69:	Model batimetrije za odsek Radovna 1a.....	62

Slika 70:	Model batimetrije za odsek Radovna 1b .....	62
Slika 71:	Model batimetrije za odsek Radovna 2a.....	63
Slika 72:	Model batimetrije za odsek Radovna 2b .....	63
Slika 73:	Preliminarni rezultati hidravličnega modela Radovna 1a: globine [m] .....	64
Slika 74:	Preliminarni rezultati hidravličnega modela Radovna 1a: hitrostno polje [m/s] ...	64
Slika 75:	Preliminarni rezultati hidravličnega modela Radovna 1b: globine [m] .....	65
Slika 76:	Preliminarni rezultati hidravličnega modela Radovna 1b: hitrostno polje [m/s] ...	65
Slika 77:	Preliminarni rezultati hidravličnega modela Radovna 2a: globine [m] .....	66
Slika 78:	Preliminarni rezultati hidravličnega modela Radovna 2a: hitrostno polje [m/s] ...	66
Slika 79:	Preliminarni rezultati hidravličnega modela Radovna 2b: globine [m] .....	67
Slika 80:	Preliminarni rezultati hidravličnega modela Radovna 2b: hitrostno polje [m/s] ...	67
Slika 81:	Izmerjeni vodostaji v izbranem prečnem prerezu na odseku Radovna 1a (08. 06. 2012).....	68
Slika 82:	Izmerjeni vodostaji v izbranem prečnem prerezu na odseku Radovna 1b (08. 06. 2012).....	68
Slika 83:	Izmerjeni vodostaji v izbranem prečnem prerezu na odseku Radovna 2a (08. 06. 2012).....	68
Slika 84:	Izmerjeni vodostaji v izbranem prečnem prerezu na odseku Radovna 2b (08. 06. 2012).....	68
Slika 85:	Rezultati hidravličnega modela Radovna 1a – razmere 08. 06. 2012: globine [m] .....	69
Slika 86:	Rezultati hidravličnega modela Radovna 1a – razmere 08. 06. 2012: hitrostno polje [m/s] .....	69
Slika 87:	Rezultati hidravličnega modela Radovna 1a – razmere 05. 09. 2012: globine [m] .....	69
Slika 88:	Rezultati hidravličnega modela Radovna 1a – razmere 05. 09. 2012: hitrostno polje [m/s] .....	69
Slika 89:	Rezultati hidravličnega modela Radovna 1b – razmere 08. 06. 2012: globine [m] .....	70
Slika 90:	Rezultati hidravličnega modela Radovna 1b – razmere 08. 06. 2012: hitrostno polje [m/s] .....	70
Slika 91:	Rezultati hidravličnega modela Radovna 1b – razmere 05. 09. 2012: globine [m] .....	71

Slika 92:	Rezultati hidravličnega modela Radovna 1b – razmere 05. 09. 2012: hitrostno polje [m/s].....	71
Slika 93:	Rezultati hidravličnega modela Radovna 2a – razmere 08. 06. 2012: globine [m] .....	72
Slika 94:	Rezultati hidravličnega modela Radovna 2a – razmere 08. 06. 2012: hitrostno polje [m/s].....	72
Slika 95:	Rezultati hidravličnega modela Radovna 2a – razmere 05. 09. 2012: globine [m] .....	73
Slika 96:	Rezultati hidravličnega modela Radovna 2a – razmere 05. 09. 2012: hitrostno polje [m/s].....	73
Slika 97:	Rezultati hidravličnega modela Radovna 2a – razmere 08. 06. 2012: globine [m] .....	74
Slika 98:	Rezultati hidravličnega modela Radovna 2a – razmere 08. 06. 2012: hitrostno polje [m/s].....	74
Slika 99:	Rezultati hidravličnega modela Radovna 2a – razmere 05. 09. 2012: globine [m] .....	75
Slika 100:	Rezultati hidravličnega modela Radovna 2a – razmere 05. 09. 2012: hitrostno polje [m/s].....	75
Slika 101:	Prikaz položaja rib in njihove velikosti v prvem vzorčenju na odseku Radovna 1a (08. 06. 2012).....	76
Slika 102:	Prikaz položaja rib in njihove velikosti v prvem vzorčenju na odseku Radovna 1b (08. 06. 2012).....	77
Slika 103:	Prikaz položaja rib in njihove velikosti v prvem vzorčenju na odseku Radovna 2a (08. 06. 2012).....	78
Slika 104:	Prikaz položaja rib in njihove velikosti v prvem vzorčenju na odseku Radovna 2b (08. 06. 2012).....	79
Slika 105:	Prikaz rezultatov habitatnega modeliranja pri različnih pretokih na odseku Radovna 1a. ....	84

**Kazalo preglednic**

Preglednica 1: Koordinate in obseg izbranih odsekov raziskave in analize. ....	7
Preglednica 2: Vrednosti izmerjenih pretokov s terenskih meritev.....	14
Preglednica 3: Izbrane fizikalne in kemijske lastnosti vode na posameznem vzorčenem odseku reke Radovne.....	15
Preglednica 4: Časovni pregled izvedenih elektroribolovov in opazovanja z obrežja (VC = opazovanje z obrežja, ER = elektroribolov). ....	24
Preglednica 5: Vrednosti faktorja $f$ za izračun $Q_{es}$ pri povratnem odvzemu, določene z Uredbo o $Q_{es}$ . ....	33
Preglednica 6: Sušna (S) in vodnata (V) obdobja določena po mesecih v letu in glede na skupino ekoloških tipov.....	33
Preglednica 7: Vrednosti faktorja $f$ za izračun $Q_{es}$ pri povratnem dolgem odvzemu za sušno in vodnato obdobje za reko Radovno. ....	34
Preglednica 8: Določitev vrednosti $Q_{es}$ za vzorčene odseke reke Radovne in določitev merodajnega celoletnega $Q_{es}$ v odstotkih glede na ${}_sQ_s$ .....	35
Preglednica 9: Vrednosti pretokov, ki so bili določeni kot gorvodni robni pogoj v preliminarnih hidravličnih modelih.....	64
Preglednica 10: Gorvodni in dolvodni robni pogoji nabora rezultatov hidravličnih modelov .....	80

## 1. Uvod

Donavska potočna postrv (*Salmo trutta*) je v Sloveniji avtohtona (domorodna) ribja vrsta in predstavlja eno izmed pomembnejših avtohtonih sladkovodnih vrst rib v prehrani ljudi. Spada v družino postrvi (Salmonidae), ki zajema 11 rodov in skupno 66 vrst. Za postrvi je značilna tolščenska ali tolsta plavut, ki leži med hrbtno in repno plavutjo. V naših vodah se pojavljajo štiri rodovi. Rodova *Salmo* in *Hucho* sta avtohtona, medtem ko so rodova *Onchorhynchus* in *Salvelinus* k nam zanesli ribiči v 19. stoletju.

Potočna postrv je naravno razširjena v večjem delu Evrope. Na severu sega do Islandije, na jugu pa se pojavlja celo v severni Afriki. V Aziji se naravno pojavlja še v zgornjem toku reku Amu-Darja v Turkmenistanu. Potočno postrv je tako iz ribolovnega kot prehranskega stališča zanimiva vrsta, zato so jo v preteklosti pogosto naseljevali po vsem svetu in je njen današnji areal povsem drugačen. S pomočjo človeka stalno naseljuje Severno in Južno Ameriko, južno in vzhodno Afriko, Avstralijo, Tasmanijo, Novo Zelandijo, Kitajsko, Japonsko in še v mnoge drugih manjših držav.

Kljub repopulaciji vodotokov, poribljavanju z mladnicami potočne postrvi, vsako leto prihaja do zmanjševanja populacij potočne postrvi in posledično do zmanjševanja ribolovnih virov.

Spremembe, ki povzročajo zmanjševanje populacij potočne postrvi ter s tem ribolovnih virov, so predvsem posledica različnih posegov v vode, kot so ureditve bregov in struge, ki dolgoročno spremenijo hidromorfologijo struge vodotoka, ter odvzemi vode za različne namene rabe.

Izhodišče za izvedbo raziskovalnega projekta je ugotavljanje primernosti habitatov za potočno postrv (*Salmo trutta*), za kar se je želelo aplicirati objektivno in ponovljivo metodo. Kot osnovna hipoteza je bila postavljena trditev, da aplikacija habitatnega modeliranja na podlagi preferenčnih krivulj in uporabe pravil mehke logike omogoča objektivno in ponovljivo vrednotenje habitatne primernosti za referenčno vrsto potočna postrv. Osnova za habitatno modeliranje je določitev preferenčnih krivulj (tudi funkcij primernosti), s katerimi se opiše odvisnost primernosti od določene vrednosti izbranega parametra (v naši raziskavi smo upoštevali globino vode, hitrost vode, substrat in skrivališča). Praviloma se primernost številsko ovrednoti od 0 (najmanj primerno) do 1 (najbolj primerno). Habitatna primernost določene prostorske točke se nadalje določi na podlagi skupnega ovrednotenja vseh vključenih izbranih parametrov, ki lahko temelji na podlagi povprečne vrednosti, seštevanja, množenja itd. Ker so je izkazalo, da skupno ovrednotenje habitatne primernosti lahko temelji na pravilih mehke logike (Fuzzy logic), ki omogoča mehko prehajanje med posameznimi razredi, kar je značilno za naravne in habitatne sisteme (Schneider in ostali 2010), smo se odločili, da bomo v tej raziskavi preverili omenjeni pristop.

Na osnovi ugotovljene primernosti habitatov glede na hidravlične in hidromorfološke parametre smo v okviru raziskovalnega projekta izvedli vzpostavitev habitatnega modela v programskem orodju ter izvedli analizo za določitev ekološko sprejemljivega pretoka (Qes) z možnostjo vključitve drugih omilitvenih ukrepov, zlasti z ureditvijo morfologije struge vodotoka, kar bo omogočilo določitev podlag za sprejem ukrepov za ohranjanje in obnovo ribolovnih virov.

Varstvo obstoječih populacij potočne postrvi je mogoče vzpostaviti in izboljšati z ohranjanjem ali zagotavljanjem primernih habitatov, ki omogočajo obstoj populacij potočne postrvi v vodotokih.

Na začetku izvajanja raziskovalnega projekta smo izvedli usklajevalne sestanke raziskovalne skupine Katedre za mehaniko tekočin z laboratorijem (Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Univerza v Ljubljani) in raziskovalne skupine Zavoda za ribištvo Slovenije. Namen sestankov je bilo načrtovanje časovnega poteka raziskovalnega projekta ter natančnejše načrtovanje posameznih aktivnosti v obsegu projekta s posebnim poudarkom na izvedbi vseh potrebnih terenskih meritev.

V prvi fazi raziskovalnega projekta smo na podlagi strokovne ocene, obstoječih analiz in terenskih ogledov izbrali 4 odseke reke Radovne, na katerih je prisotna potočna postrv. Glavno merilo pri izboru reke Radovne kot testnega vodotoka in pri izboru ustreznih odsekov vodotoka je bil istočasni obstoj ohranjenih odsekov in obstoj odsekov, kjer obstaja raba vode (odvzem vode) oziroma je izvedena sprememba hidromorfologije vodotoka (vodna infrastruktura, ureditev brežin in struge). Na ta način smo zagotovili primerjavo med referenčnim stanjem in stanjem, kjer je stanje habitatov zaradi odvzema vode ali posegov v hidromorfologijo okrnjeno. Dolžina posameznega odseka, ki je predmet nadaljnje analize, je okoli 100 metrov.

V nadaljevanju projekta smo pridobili potrebne podatke (geodetski posnetki, pretoki in globine vode, prostorski popis substrata in drstišč ter vzorčenje), ki so potrebni v prvi fazi za izvedbo hidravličnega modeliranja kot podlage za pridobitev podatkov o hitrostih in globinah vode pri različnih pretokih, v drugi fazi umerjanja mehkih »fuzzy« pravil in v tretji fazi habitatnega modeliranja. Tudi samo hidravlično modeliranje zahteva izvedbo več meritev pretokov in globin vode za potrebe umerjanja hidravličnega modela.

Pri preliminarni vzpostavitvi habitatnega modela smo za potrebe testiranja najprej uporabili mehka pravila, ki so bila izdelana na podlagi uporabljene privzete vrednosti mejnih intervalov mehkih pravil in se opirajo na strokovno in znanstveno literaturo, ter ugotovitve nemških strokovnjakov za obravnavano vrsto rib. Ker so bile ugotovitve nemških strokovnjakov izvedene za večje alpske reke in za nemško območje, je bilo treba za naš primer, pri katerem obravnavamo manjšo slovensko alpsko reko, mehka pravila ustrezno prilagoditi. Za to smo izvedli več terenskih vzorčenj rib na izbranih odsekih reke Radovne.

V zaključku projekta smo na podlagi vzpostavljenih habitatnih modelov ugotovili sprejemljive vrednosti ohranjenega pretoka za izbrane odseke Radovne ter tudi preverili možnost izvedbe ukrepov za izboljšanje stanja na obeh odsekih, kjer je raba (odvzem vode za proizvodnjo elektrike) že prisotna. Na enem odseku Radovne smo preverili vpliv izvedbe betonirane stabilizacije brežine na spremembo habitatne primernosti za mladice, na drugem pa vpliv izvedbe omilitvenega ukrepa (izvedba dveh nizkih pragov) na spremembo habitatne primernosti odraslih rib.

V nadaljevanju poročila podrobneje podajamo celoten postopek izvedbe projekta. Sama metodologija in priporočila za izvedbo habitatnega modeliranja so podana po posameznih poglavjih, kjer so poudarjene bistvene ugotovitve in tudi v samih zaključkih.



## 2. Pridobivanje podatkov

V skladu s časovnim načrtom izvedbe projekta smo od začetka izvajanja v mesecu oktobru 2011 do začetka meseca marca 2013 uspešno izvedli naslednje načrtovane aktivnosti:

- Oktober 2011:
  - usklajevalni sestanki raziskovalne skupine Katedre za mehaniko tekočin (Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Univerza v Ljubljani) in raziskovalne skupine Zavoda za ribištvo Slovenije
- November 2011:
  - terenski ogled in izbor vzorčnih odsekov reke Radovne (17.11. 2011)
- December 2011:
  - usklajevalni sestanki raziskovalne skupine Katedre za mehaniko tekočin z laboratorijem (Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Univerza v Ljubljani) in raziskovalne skupine Zavoda za ribištvo Slovenije,
- Januar 2012:
  - izvedba podrobne geodetske izmere vzorčnih odsekov reke Radovne (batimetrija),
  - pridobitev potrebnih podatkov (izvajanje ribiškega upravljanja – vlaganje rib, ugotovitev obstoječe rabe vode in količin odvzete vode),
- Februar 2012:
  - udeležba na delavnici na temo hidroenergetske rabe vodotokov (02.02. 2012),
  - popis substrata in skrivališč rib na izbranih odsekih Radovne (22.02. 2012),
  - izvedba metode vizualnih popisov rib na izbranih odsekih Radovne (22.02. 2012),
  - izvedba terenskih meritev pretokov, hitrosti in globin vode za izvedbo umerjanja hidravličnih modelov na izbranih odsekih Radovne (22.02. 2012),
- Marec 2012:
  - Udeležba na izobraževanju na Univerzi v Stuttgartu, habitatno modeliranje v programskem orodju CASiMiR (delavnica, 01.03. – 03.03. 2012),
  - sodelovanje na delavnici projekta SEE Hydropower v Ljubljani - ARSO (28.03. 2012),
  - izvedba dodatnih geodetskih meritev (14.03. 2012),
  - popis substrata in skrivališč rib na izbranih odsekih Radovne (14.03. 2012),
- April 2012:
  - razvoj metode za vzorčenje rib (elektroribolov, vizualni popis rib),
  - postavitev preliminarnih hidravličnih modelov pretokov in hitrosti vode na izbranih odsekih Radovne,
  - priprava GIS podlag za vzorčenje rib,
- Maj 2012:
  - poskusno vzorčenje rib na izbranih odsekih Radovne (22.05. 2012),
  - izvedba metode vizualnih popisov rib na izbranih odsekih Radovne (22.05. 2012),
  - izvedba meritev fizikalno kemijskih lastnosti vode na vzorčnih odsekih (temperatura vode, pH, koncentracija raztopljenega kisika, nasičenost vode s kisikom, električna prevodnost),
  - izvedba terenskih meritev pretokov, hitrosti in globin vode za izvedbo umerjanja hidravličnih modelov na izbranih odsekih Radovne (22.05. 2012),

- Junij 2012:
  - vzorčenje rib ter izvedba meritev pretokov in hitrosti vode na izbranih odsekih Radovne (08.06. 2012),
  - izvedba metode vizualnih popisov rib na izbranih odsekih Radovne (08.06. 2012),
  - izvedba meritev fizikalno kemijskih lastnosti vode na vzorčnih odsekih (temperatura vode, pH, koncentracija raztopljenega kisika, nasičenost vode s kisikom, električna prevodnost; 08. 06. 2012),
  - izvedba terenskih meritev pretokov, hitrosti in globin vode za izvedbo umerjanja hidravličnih modelov na izbranih odsekih Radovne (08.06. 2012),
- Julij 2012:
  - obdelava podatkov o vzorčenju rib, izvedenem dne 08.06. 2012,
  - obdelava hidroloških podatkov, pridobljenih z meritvami dne 08.06. 2012,
- Avgust 2012:
  - izdelava hidravličnega modela za vse obravnavane odseke za hidrološko situacijo na dan terenskih meritev 08.06. 2012; umerjanje modela,
  - orientacijsko označevanje odsekov struge Radovne (10.08. 2012),
- September 2012:
  - izvedba terenskih meritev pretokov, hitrosti in globin vode za izvedbo umerjanja hidravličnih modelov na izbranih odsekih Radovne (05.09. 2012),
  - izdelava hidravličnega modela za vse obravnavane odseke za hidrološko situacijo na dan terenskih meritev 05.09. 2012,
  - preveritev ustreznosti orientacijskih označb struge Radovne za izvedbo metode vzorčenja rib (05 09. 2012),
- Oktober 2012:
  - jesensko vzorčenje rib na izbranih odsekih Radovne s prilagojenim natančnim elektroribolovom (24. in 25.10. 2012),
  - izvedba metode vizualnih popisov rib na izbranih odsekih Radovne (24. in 25.10. 2012)
  - izvedba meritev fizikalno kemijskih lastnosti vode na vzorčnih odsekih (temperatura vode, pH, koncentracija raztopljenega kisika, nasičenost vode s kisikom, električna prevodnost; 24. in 25. 10. 2012),
  - izvedba meritev pretokov na izbranih odsekih Radovne (24. in 25.10. 2012),
- November 2012:
  - izdelava nizov hidravličnih modelov za vse obravnavane odseke (najmanj 28 hidravličnih modelov za vsak odsek),
  - izdelava preliminarnega habitatnega modela za odsek Radovna 1b za juvenilne stadije rib glede na rezultate hidravličnega modela in izvedeno vzorčenje rib,
- December 2012:
  - izdelava pisnega prispevka za 23. Mišičev vodarski dan v skupnem sodelovanju Fakultete za gradbeništvo in geodezijo, Univerza v Ljubljani, in Zavoda za ribištvo Slovenije,
  - javna predstavitev na strokovnem posvetovanju: ustna predstavitev metodologije, rezultatov hidravličnega modela in preliminarnih rezultatov habitatnega modela za juvenilne stadije potočne postrvi na *23. Mišičevem vodarskem dnevu* (05.12. 2012),
- Januar 2013:
  - popis drstišč in ocenjevanje velikosti drstnic (11.01. 2013),

- preveritev ustreznosti in obnovitev orientacijskih označb struge Radovne za izvedbo metode vzorčenja rib (11.01. 2013),
- izdelava preliminarnih habitatnih modelov za odseke Radovne 1a, 2a in 2b za juvenilne stadije rib glede na rezultate hidravličnega modela in izvedeno vzorčenje rib,
- Februar 2013
  - popraviljanje GIS podlag (substrata in skrivališč) zaradi sprememb v strugi med pojavom visokih voda in popraviljanje popisnih listov,
- Marec 2013:
  - vzorčenje rib ter izvedba meritev pretokov na izbranih odsekih Radovne (01. in 05.03. 2013),
  - izvedba metode vizualnih popisov rib na izbranih odsekih Radovne (01. in 05.03. 2013),
  - izvedba meritev fizikalno kemijskih lastnosti vode na vzorčnih odsekih (temperatura vode, pH, koncentracija raztopljenega kisika, nasičenost vode s kisikom, električna prevodnost; 01. in 05.03. 2013),
- April 2013:
  - predstavitev projekta na simpoziju EGU 2013 z izdelanim plakatom na Dunaju, 08.04. 2013,
- Maj 2013:
  - umerjanje pravil in nizov mehke logike,
- Junij 2013:
  - umerjanje pravil in nizov mehke logike,
- Julij 2013:
  - vzorčenje rib ter izvedba meritev pretokov na izbranih odsekih Radovne (24. in 25.07. 2013),
  - izvedba metode vizualnih popisov rib na izbranih odsekih Radovne (24. in 25. 07. 2013)
  - umerjanje pravil in nizov mehke logike,
- Avgust, september 2013:
  - priprava hidravličnih modelov s predvidenimi ukrepi in izračuni in primerjalna analiza habitatne primernosti
  - izdelava končnega poročila.

## 2.1. Terensko delo na izbranih odsekih

### 2.1.1. *Izbor ribje vrste: potočna postrv in njen habitat*

Habitat neke vrste (taksona) je kombinacija različnih kemijskih in fizikalnih parametrov. Optimalni habitat je tisti, na katerega je vrsta najbolj prilagojena, v takih pogojih ima vrsta najvišjo rast, razmnoževanje in gostoto. V sub-optimalnem habitatu sta rast in razmnoževanje manjša, take prostore pa zasedajo osebki nižje na hirarhični lestvici. Osebki, ki se nahajajo izven suboptimalnega habitata, dolgoročno gledano ne uspejo (zaostajajo v rasti, se ne razmnožujejo) ali pa migrirajo v habitat, kjer so zanje ugodnejše razmere.



Slika 1: Potočna postrv v naravnem habitatu na odseku Radovna 2b.

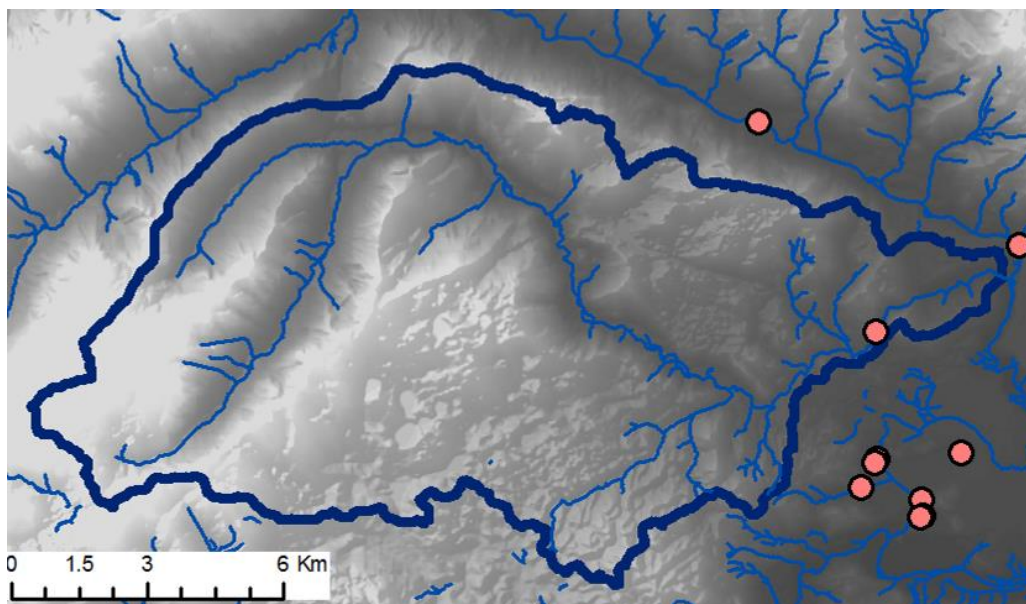
Potočna postrv tipično naseljuje rečni habitat z čisto, hladno ali mrzlo vodo, relativno nemuljastim dnom v katerem se izmenjujejo brzice in tolmunji. V tolmunjih se voda upočasni in nudi dovolj veliko globino, zaradi brzic pa je voda dobro prezračena. Pri nas naseljuje vse slovenske vodotoke donavskega porečja od velikih rek do manjših potokov, pa tudi v hladnejših jezerih. Pojavlja se v nižinah pa tudi v višjih nadmorskih višinah. V slovenskem delu Karavank sega do 1280 m nadmorske višine (Podgornik, Ramšak – Karafish).

Izbira habitata je potočne postrvi je odvisna od velikosti ribe, stanja in potreb po hrani in je relativno fleksibilna vendar v ozkih mejah. Vsak razvojni stadij potočne postrvi ima specifične okoljske zahteve. Od izvalitve do dopolnjenega leta starosti potočne postrvi imenujemo zarod (eng: *fry*), do spolne zrelosti (običajno v drugem letu starosti) ribe imenujemo mladice (eng: *juvenile*), nato pa so ribe odrasle (eng: *adult*).

Potočna postrv spolno dozori v 2., običajno pa v 3. letu starosti. Drsti se od oktobra do februarja na prodatih predelih potokov. Samica odloži 1000–3000 precej velikih iker ( $\varnothing$  4–5 mm). Zraste do 50 cm, redki primerki so veliki tudi do 70 cm. Hitrost rasti in velikost osebkov je odvisna predvsem od razpoložljive količine hrane in od temperature vode. Odrasle ribe se hranijo pretežno z vodnimi in kopenskimi nevretenčarji in delno z ribami (Povž in Sket, 1990).

### 2.1.2. Izbor odsekov – reka Radovna

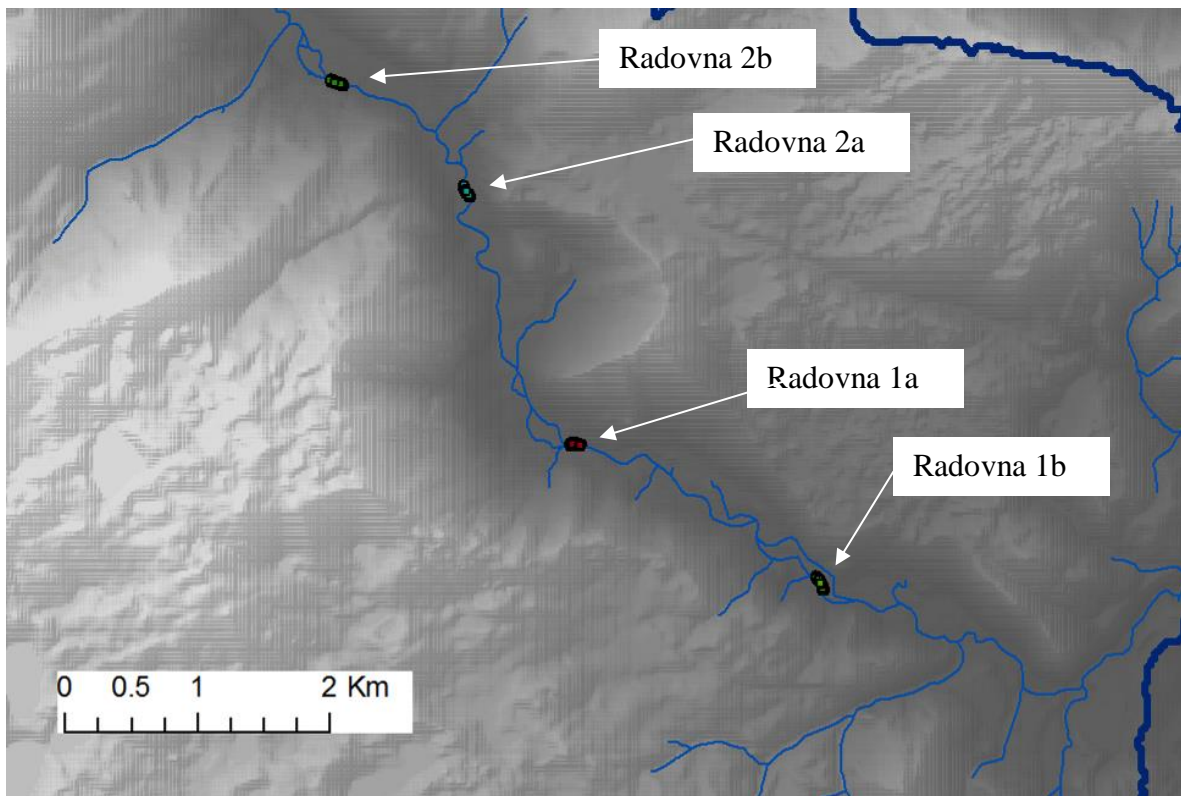
Na območju struge reke Radovne smo izbrali štiri (4) odseke, katerih hidravlične in hidromorfološke lastnosti omogočajo obstoj habitatov potočne postrvi. Za potrebe hidravličnega in habitatnega modeliranja smo izbrali dva odseka reke Radovne, ki sta pod vplivom odvzema vode za proizvodnjo električne energije v malih hidroelektrarnah, ter dva odseka, kjer teh vplivov ni. Pri izboru odsekov Radovne je so bili odločilni tudi naslednji dejavniki: pestrost habitata za potočno postrv, možnost izvedbe vizualnega popisa rib ter elektroizlova rib, ter pojavljanje različnih globin, hitrosti in pretokov vode, kar omogoča vzpostavitev hidravličnega modela. V preglednici (*Preglednica 1*) so navedene Gauss – Krügerjeve koordinate gorvodne in dolvodne meje vsakega izbranega odseka, na *Slikah 3 – 8* pa so prikazane lokacije izbranih odsekov reke Radovne ter njihove morfološke lastnosti ter raznolikost habitatov. Izbrana odseka, označena kot Radovna 1b in 2b, sta dnevno izpostavljena vplivom odvzema vode zaradi obratovanja malih hidroelektrarn. Odseka Radovna 1a in 2a sta naravna in nista pod vplivom odvzemov vode.



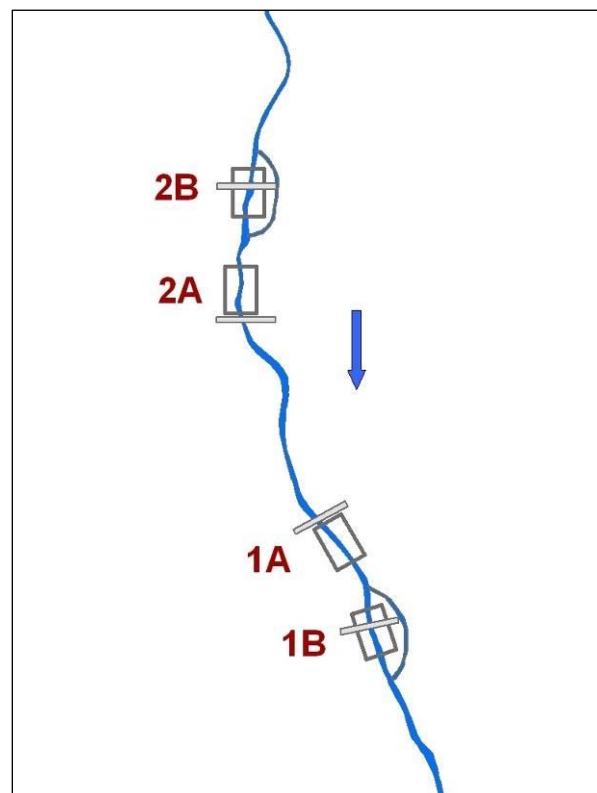
Slika 2: Prikaz porečja reke Radovne s hidrografsko mrežo in z delujočimi vodomernimi postajami.

Preglednica 1: Koordinate in obseg izbranih odsekov raziskave in analize.

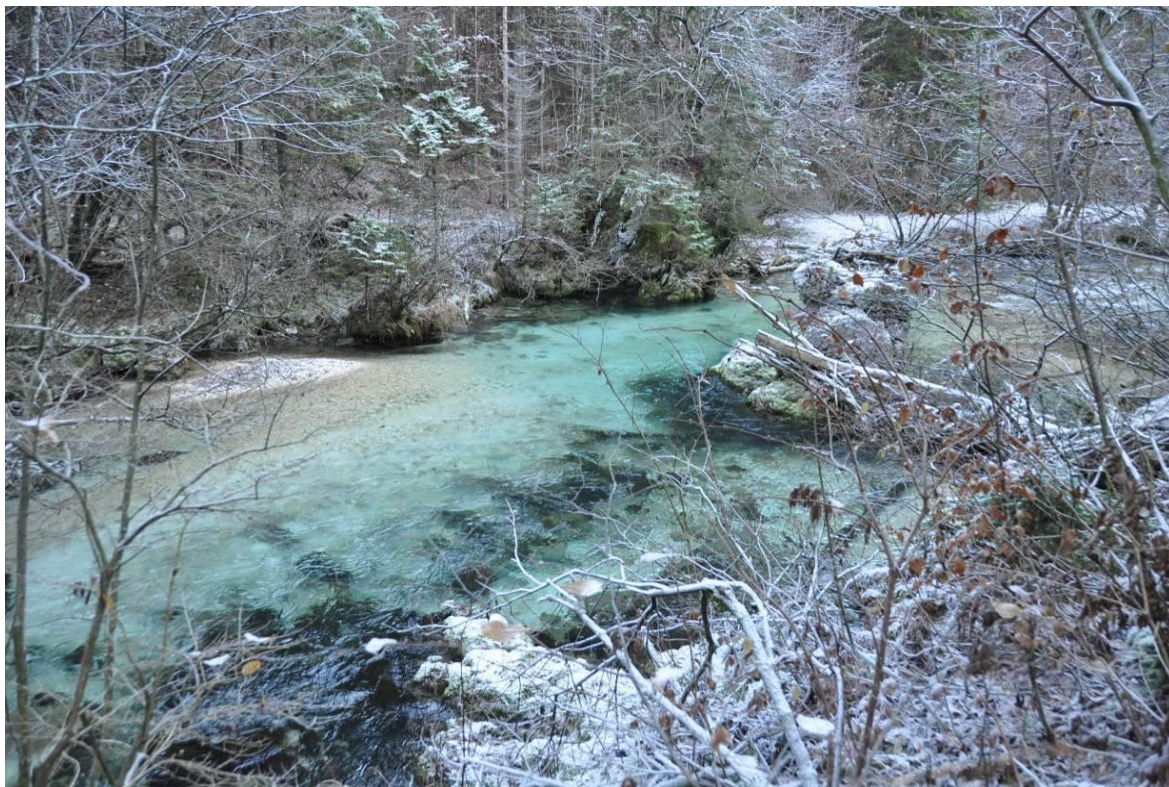
Odsek	Točka/koordinata	Y [m]	X [m]	Približna dolžina odseka [m]	Povprečna širina odseka [m]
Radovna 1a (Pri Debelem kamnu)	Gorvodno	423897.00	139434.00	105	25
	Dolvodno	423998.00	139426.00		
Radovna 1b (mHE Gorje)	Gorvodno	425755.00	138430.00	90	25
	Dolvodno	425807.00	138360.00		
Radovna 2a (Gola Peč)	Gorvodno	423087.00	141401.00	110	25
	Dolvodno	423143.00	141309.00		
Radovna 2b (mHE Klemenak)	Gorvodno	422082.00	142197.00	100	15
	Dolvodno	422167.00	142163.00		



Slika 3: Prikaz odseka Radovne z odseki raziskave in analize



Slika 4: Shematski prikaz in poimenovanje vzorčnih odsekov na reki Radovni



*Slika 5: Fotografija dela odseka Radovna 1a*



*Slika 6: Fotografija dela odseka Radovna 1b*



*Slika 7: Fotografija dela odseka Radovna 2a*

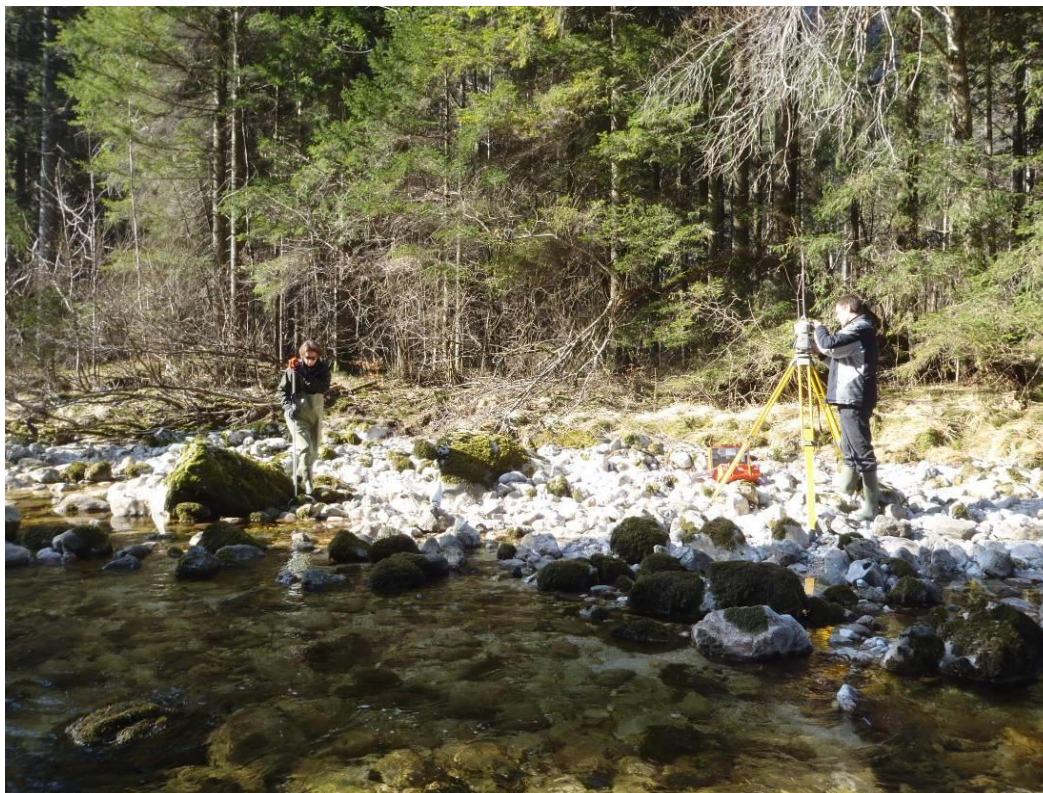


*Slika 8: Fotografija dela odseka Radovna 2b*



### 2.1.3. Pridobivanje geodetskih podatkov

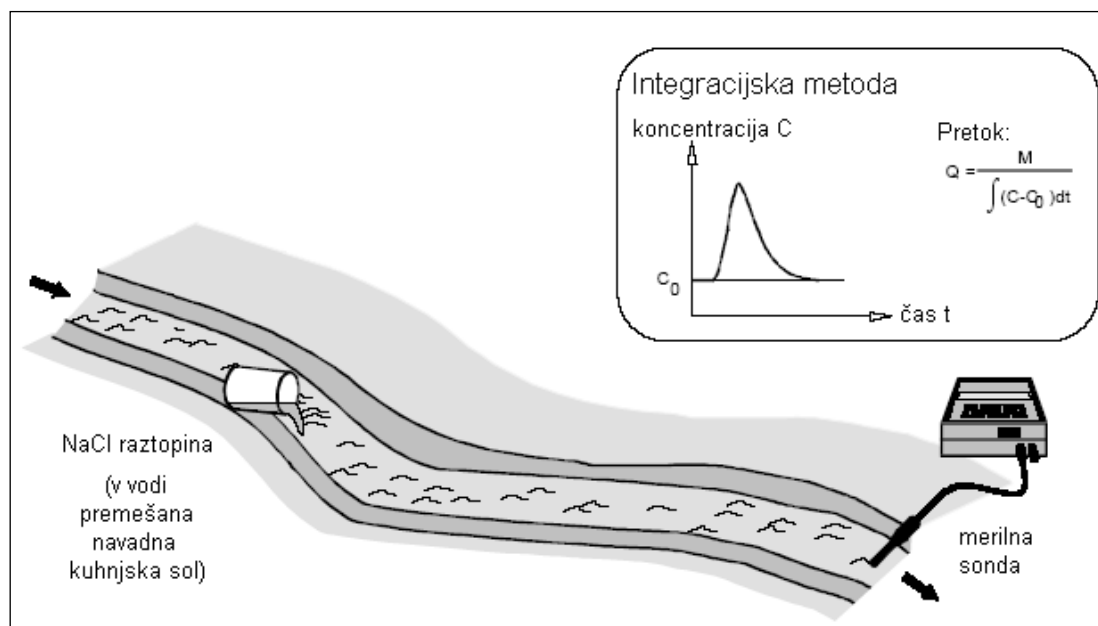
Za postavitev hidravličnega modela posameznega odseka reke Radovne, ki je podlaga za pridobitev rezultatov in vrednosti o vplivnih hidravličnih parametrih (pretoki, globine in hitrosti vode), je bilo treba pridobiti podrobne geodetske podatke o strugi in brežinah oziroma morfologiji vodotoka. Izvedena je bila natančna geodetska izmera vseh štirih izbranih odsekov Radovne, pri čemer smo merili tako omočeni del struge kot tudi brežine na nivoju nihanja vodostaja Radovne. Pri batimetriji smo posebej izmerili vse večje skale in kamne, ki predstavljajo potencialna skrivališča za potočno postrv. Prav tako smo na območju podrtih obrežnih zavarovanj, ki segajo do nivoja nizkih pretokov, izmerili obstoječa skrivališča za ribe.



Slika 9: Geodetska izmera dela odseka Radovna 1b

### 2.1.4. Meritve pretokov in gladin vode

Pretoke smo merili z merilno napravo oziroma senzorjem, ki deluje na podlagi merjenja spremembe prevodnosti vode, ki ji je bila na določeni razdalji v smeri gorvodno primešana natančno določena količina popolno raztopljenega sledila, v našem primeru kuhinjske soli (NaCl), na katero je merilni instrument umerjen. Meritve smo izvedli s prenosnim merilcem FLO-TRACER. Način izvajanja meritve in izračuna pretoka prikazuje *Slika 10* s podajo osnovnih enačb za izračun pretoka. Vse vrednosti izmerjenih pretokov, ki so bile pridobljene z večkratnimi meritvami v času trajanja projekta, pa so navedene v *Preglednici 2*.



Slika 10: Meritev pretoka po metodi sledenja oziroma razredčenja raztopljene sledila.

Pretok vode se določi na podlagi integracijske metode po naslednji enačbi:

$$Q = \frac{M}{\int (C - C_0) dt}$$

kjer je  $Q$  = izračunan pretok vode,  $M$  = količina vnešene soli,  $C_0$  = osnovna slanost vode in  $C_1$  = trenutna merjena slanost, ki se spreminja, ko oblak koncentracije raztopljene soli potuje mimo merilne sonde. Meritve pretokov in globin vode smo izvedli za vsak izbrani odsek reke Radovne. Vsako meritev pretoka smo večkrat ponovili ter na ta način potrdili pravilnost meritve.



Slika 11: Prikaz meritev pretoka s prenosnim merilcem Flo-Tracer.



*Slika 12: Prikaz meritev globin vode z vodomerno lato (08.06. 2012).*

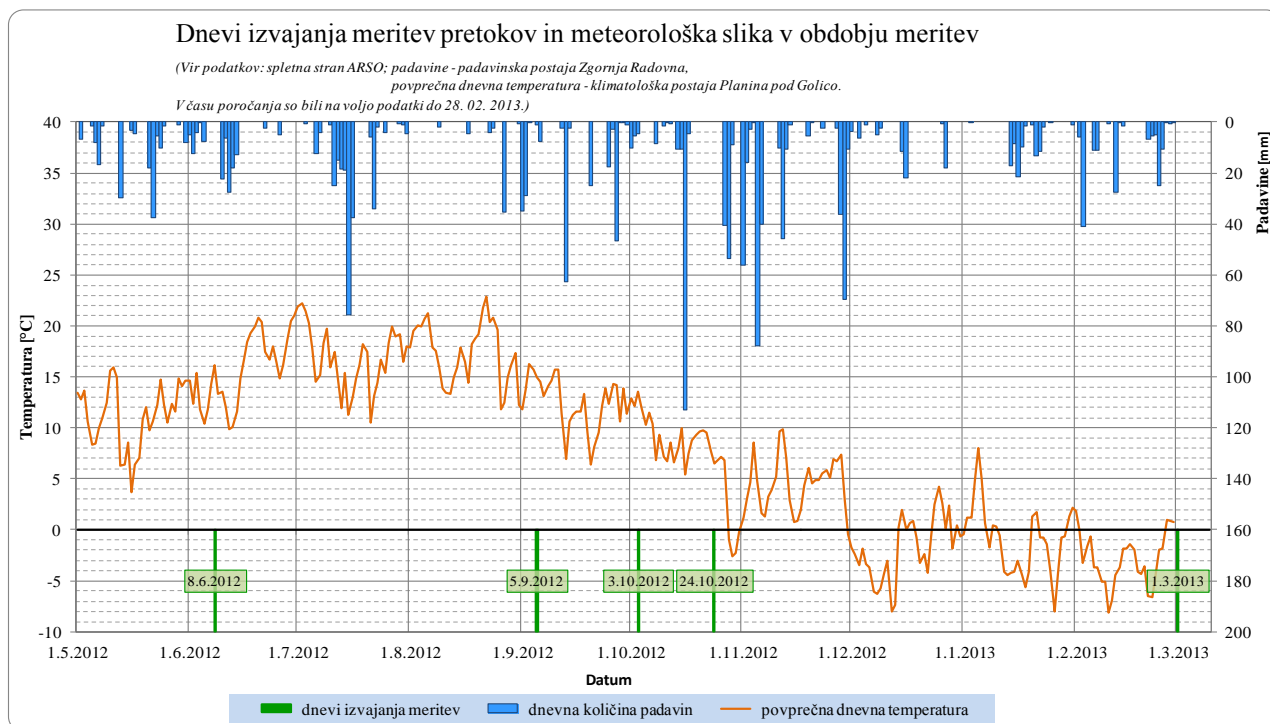


*Slika 13: Meritve z Leico – meritve geodetskih točk in globin vode.*

Meritve vodostajev smo 08.06. 2012 izvedli s klasično metodo – z vodomerno lato (*Slika 12*). Da bi izmerjene vodostaje lažje umestili v hidravlični model, smo le te 05. 09. 2012 določali z *Leico Zeno 10*, mobilno GIS napravo za kartiranje (*Slika 13*). Ob predhodnih poskusih na drugi lokaciji je naprava izmerila dovolj natančne koordinate, žal so se meritve na Radovni pri prenosu v GIS izkazale kot premalo natančne in jih za model ni bilo mogoče uporabiti.

Na osnovi podatkov Agencije Republike Slovenije za okolje smo izdelali oris meteoroloških razmer v obdobju pred in med izvedenimi meritvami (*Slika 14*). Na *Sliki 14* so prikazane povprečne dnevne

temperature ter dnevna količina padavin, pri čemer smo upoštevali podatke s padavinske postaje Zgornja Radovna (padavine) ter podatke s klimatološke postaje Planina pod Golico (temperature). Na grafikonu (Slika 14) sta označena tudi dneva, ko smo izvedli meritve pretokov in vodostajev.



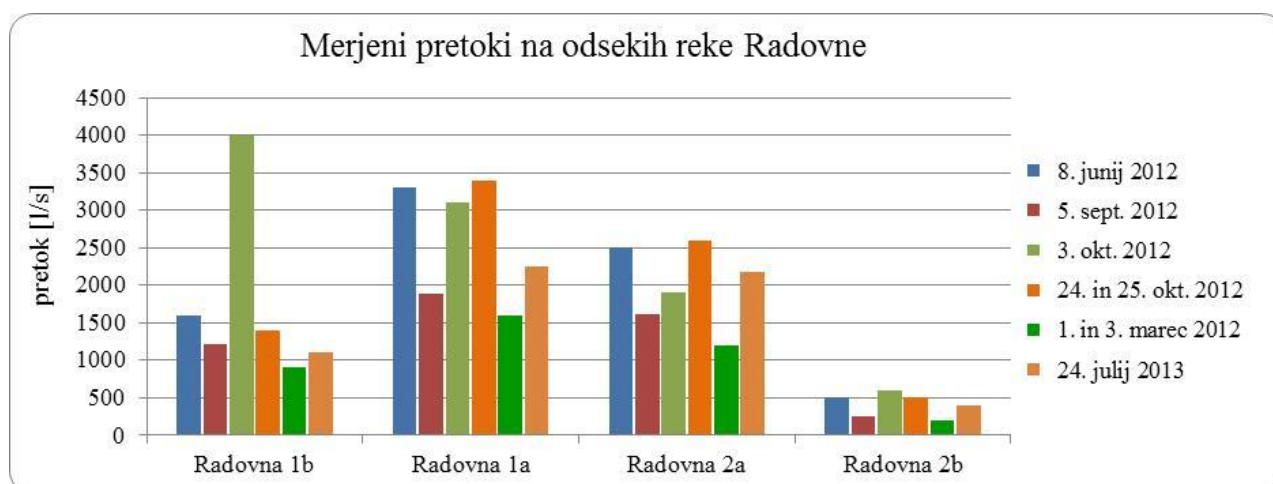
Slika 14: Časovni prikaz dni izvajanja meritev ter temperature in padavine v obdobju pred in med izvedenimi meritvami.

V Preglednici 2 je podan pregled izmerjenih pretokov petih terenskih meritev, ki smo jih izvedli 08.06. 2012, 05.09. 2012, 03.10. 2012, 24. in 25. 10. 2012 (dvodnevna meritev: 24.10. smo izvedli meritve na odsekih Radovna 2a in 2b, 25.10. pa na odsekih 1a in 1b) ter 01. in 05.03. 2013 (dvodnevna meritev: 01.03. smo izvedli meritve na odsekih 1a in 1b, 25.10. pa na odsekih 2a in 2b). Zadnje meritve pretokov smo izvedli 24.07. 2013. Grafična primerjava pretokov na posameznih odsekih za vse meritve je podana na grafikonu (Slika 15).

Preglednica 2: Vrednosti izmerjenih pretokov s terenskih meritev.

Odsek	Izmerjeni pretok					
	8.6.2012	5.9.2012	3.10.2012	24. in 25.10.2012	1. in 5.3.2013	24.7.2013
Radovna 1a (Pri Debelem kamnu)	3,3 m <sup>3</sup> /s	1,9 m <sup>3</sup> /s	3,1 m <sup>3</sup> /s	3,4 m <sup>3</sup> /s	1,6 m <sup>3</sup> /s	2,3 m <sup>3</sup> /s
Radovna 1b (mHE Gorje)	1,6 m <sup>3</sup> /s	1,2 m <sup>3</sup> /s	4,0 m <sup>3</sup> /s	1,4 m <sup>3</sup> /s	0,9 m <sup>3</sup> /s	1,1 m <sup>3</sup> /s
Radovna 2a (Gola Peč)	2,5 m <sup>3</sup> /s	1,6 m <sup>3</sup> /s	1,9 m <sup>3</sup> /s	2,6 m <sup>3</sup> /s	1,2 m <sup>3</sup> /s	2,2 m <sup>3</sup> /s
Radovna 2b (mHE Klemenak)	0,5 m <sup>3</sup> /s	0,3 m <sup>3</sup> /s	0,6 m <sup>3</sup> /s	0,5 m <sup>3</sup> /s	0,2 m <sup>3</sup> /s	0,4 m <sup>3</sup> /s

Glede na ponavljanje meritev za vsak odsek ob približno enakem času se ugotavlja, da je natančnost metode merjenja pretokov s prenosnim merilcem Flo-Tracer pretokov v mejah približno  $\pm 10\%$ .



Slika 15: Primerjava izmerjenih pretokov na različnih odsekih reke Radovne; vrstni red prikazanih odsekov ustreza rečni stacionaži, tako da si odseki sledijo v protitočni smeri (dolvodno – gorvodno).

Na posameznem vzorčenem odseku reke Radovne smo v času izlova rib izmerili izbrane fizikalne in kemijske lastnosti vode. V času enega sezonskega vzorčenja fizikalno kemijskih parametrov nismo merili na vseh odsekih, temveč le na enem (največ dveh).

*Preglednica 3: Izbrane fizikalne in kemijske lastnosti vode na posameznem vzorčenem odseku reke Radovne.*

Parameter/datum vzorčenja	Odsek Radovne					
	2b	2b		1b	2a	2b
	24.10. 2013	05.03. 2013	03.1. 2013	24.07. 2013	25.07. 2013	25.07. 2013
temperatura vode (°C)	7,6	6,3	7,1	9,4	10,1	8,8
raztopljeni kisik O <sub>2</sub> (mgL <sup>-1</sup> )	10,43	10,61	10,86	10,4	10,6	10,21
kisik – nasičenost O <sub>2</sub> (%)	94,3	92,6	96,9	97,8	102	95,5
pH	7,89	8,02	8,52	7,88	7,59	7,38
prevodnost (μScm <sup>-1</sup> )	221	220	228	242	217,6	218

Izmerjene vrednosti izbranih fizikalno kemijskih lastnosti vode na vzorčnih mestih so po našem mnenju običajne in ustrezne za alpski tip vodotoka in vedno ustrezajo populaciji potočne postrvi na vzorčenih odsekih reke Radovne. Temperature vode so se gibale med 6,3 in 10,1 °C, vsebnosti kisika v vodi so bile med 10,21 in 10,86, nasičenost vode s kisikom pa je bila v času vzorčenja med 92,6 in 102 %. Izmerjeni pH je bil rahlo bazičen (od 7,38 do 8,52), prevodnost vode pa nekoliko nižja (med 217,6 in 242 μScm<sup>-1</sup>).

### 2.1.5. *Določitev substrata in skrivališč za ribe*

Stanje ohranjenosti habitatov znotraj posameznih odsekov reke Radovne je posledica abiotskih in biotskih dejavnikov, ki vplivajo na sukcesijo habitatov posameznega vodotoka. Med pomembnejše dejavnike, ki omogočajo razvoj in obstanek habitatov za populacije rib in piškurjev, sodijo sama hidromorfologija struge vodotoka, ki se značilno odraža z lastnostmi vodnega toka in strukturo usedlin (substrat oz. sediment) ter fizikalno – kemijske lastnosti vode.

Na izbranih odsekih reke Radovne smo opravili meritve temperature vode, količine raztopljenega kisika v vodi in nasičenosti s kisikom, kislosti oz. bazičnosti vode ter prevodnosti, ki odraža vsebnost raztopljenih organskih in anorganskih snovi v vodi. Prav tako smo na vsakem vzorčenem odseku opravili tudi popis natančen substrata in skrivališč za ribe.

Glede na nekatere raziskave (Heggenes 1988) substrat pri izbiri habitata sicer ni tako pomemben kot globina in hitrost vodnega toka, vendar so ugotovili, da se potočne postrvi najraje odločajo za kamnit substrat z delci premera od 2 do 30 cm in se izogibajo finejšim substratom. Z velikostjo rib narašča tudi afiniteta do bolj grobih, skalnih substratov, vendar je to verjetno v povezavi z zmanjšanjem hitrosti vodnega toka, ki jo povzroči potopljena skala (Heggenes 1994).

Za čim bolj natančno in čim lažjo vizualno določitev deleža različnih velikostnih frakcij ter ob upoštevanju zahtev programskega orodja za habitatno modeliranje glede vhodnih podatkov smo substrat razdelili v naslednje razrede:

1. organski material/detrit
2. mulj/blato
3. pesek (6 $\mu$ m-2mm)
4. manjši gramoz (2-6mm)
5. večji gramoz (6-20mm)
6. prod (2-6cm)
7. manjše kamenje (6-12cm)
8. večje kamenje (12-20cm)
9. manjše skale (20-40cm)
10. večje skale (nad 40cm)
11. matična kamnina

Kritje oz. skrivališče je mesto, kamor se riba lahko skriva pred različnimi plenilci (druge ribe, ribojede ptice,...) in je skupaj s številom globokih delov reke najpomembnejši dejavnik, ki omejuje gostoto populacije in produkcijo potočne postrvi (Nielsen 1986). Potočna postrv je ena najbolj previdnih in plašnih rib med salmonidi in gostota populacije lahko zelo naraste, če poskrbimo, da je v vodotoku več prostorov, ki omogočajo kritje – tvorbo skrivališč za ribe (Mortensen 1977).

Prav tako smo pri načrtovanju faze habitatnega modeliranja programskega orodja prilagodili podatke o skrivališčih. Kot skrivališča za ribe smo definirali naslednje strukture vodotoka:

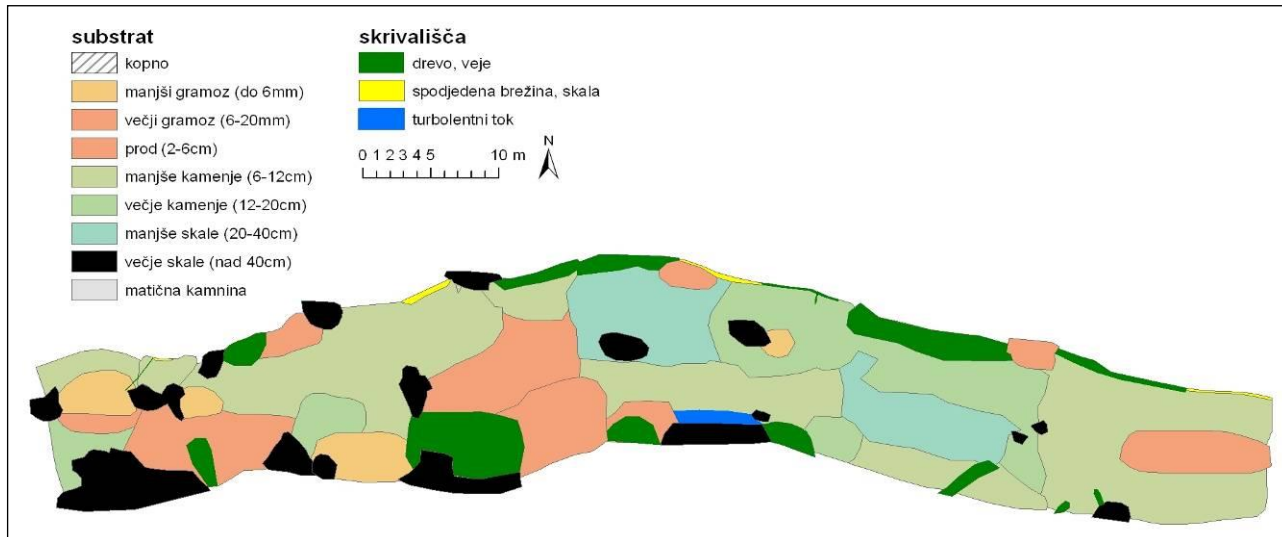
1. ni skrivališč
2. spodjedena brežina
3. vodno rastlinje
4. rastlinje, ki visi nad vodo (do 50 cm nad gladino)

5. korenine
6. potopljen večji organski material
7. skale, kamni
8. razbita vodna površina (turbulenten tok)
9. droben organski material



Sliki 16 in 17: Prikaz popisa substrata na odseku Radovna.

Na osnovi popisanih substratov in skrivališč smo izdelali nove prostorske sloje ter grafični prikaz substrata in skrivališč za ribe (Radovna 1a: Slika 18; substrat in skrivališča za ostale odseke so prikazani v prilogah: Slika 66, Slika 67 in Slika 68)



Slika 18: Grafični prikaz substrata in skrivališča na odseku Radovna 1a.

Zaradi zelo razdrobljene oblike dna struge, ki je brez večjih posebnosti, je natančna orientacija na vzorčnih odsekih (vsaj na nekaterih mestih) izredno težka. V ta namen smo skale ob strugi Radovne in obrežna drevesa, označili z barvnimi oznakami ali s številkami (Sliki 19 in 20). Umestitev orientacijskih oznak na območju vzorčenih odsekov Radovne je bila bistvenega pomena za natančno izvedbo vzorčenj rib z različnimi metodami.



*Sliki 19 in 20: Orientacijske oznake ob strugi na vzorčnem odseku Radovna 1b.*



### 2.1.6. *Vzorčenje habitatov potočne postrvi na izbranih odsekih reke Radovne*

Raziskave o habitatih pri postrvih lahko v osnovi delimo na dva sklopa, ki se med seboj razlikujeta predvsem v velikosti območja raziskav, in sicer pristop "habitat" ter pristop "mikrohabitat" (Heggenes, 1988). V prvem primeru se večinoma raziskuje določen del vodotoka, lahko tudi več delov skupaj, na razdaljah nekaj metrov do nekaj kilometrov. Drugi način običajno temelji na intenzivnejših raziskavah natanko določene točke oz. odseka vodotoka. Oba pristopa zahtevata različne metode raziskovanja oz. vzorčenja. Za raziskovanje habitatov lahko uporabimo naslednje metode:

1. Elektroribolov – primeren je za oba pristopa (Hearn in Kynard 1986),
2. opazovanje z rečnega obrežja – primerno je za drugi pristop ter za splošne raziskave (Shirwel in Dungey 1983),
3. neposredno podvodno opazovanje – primerno je le za drugi pristop (Fausch in White 1981; Cunjak in Power 1986),
4. lov s trnkom (muharjenje) - primerno je za oba pristopa.

Pri izvajanju vzorčenja habitatov potočne postrvi smo se odločili za kombinacijo dveh različnih metod, in sicer za prilagojen izlov rib z elektriko (natančni elektroribolov) ter za opazovanje rib z rečnega obrežja.

Opazovanje z rečnega obrežja je zelo uporabna metoda. Ribe se lahko opazuje z rahlo dvignjenega mesta; pri tem se uporablja različne optične pripomočke, kot so daljnogled, fotoaparati, polarizacijski filter, očala, merilo, ipd. Glavna prednost te metode je enostavna oprema in neinvazivnost samega posega v vodno okolje. Na ta način lahko pridobimo verodostojne rezultate o prisotnosti in razporejanju rib različnih velikosti v različnih habitatih. Glavne pomanjkljivosti metode so povezane z možnostjo globine opazovanja, kar je odvisno od globine in bistrosti vode. Že manjša motnja na vodni površini, npr. dež, veter, brzice, lahko močno zmanjša možnost opazovanja.

Opazovanje z obrežja sta izvajala dva izkušena ribiča, izurjena v opazovanju rib v vodi. Ribiča sta se z natančnim zemljevidom počasi pomikala ob vodi, se na preglednih mestih ustavljala in iz zaklonov opazovala vodo ter si zapisovala položaj rib. Ko sta posamezno ribo opazila, sta iz zaklona z ravnilom izmerila dolžino ribe (število enot) in na zemljevid označila položaj ter število enot dolžine. Ob koncu vseh meritev smo na položaj, kjer se je nahajala riba namestili tri različno velike modele rib z znano dolžino. Opazovalec je na enak način kot pravo ribo zmeril še modele rib in s primerjavo znanih dolžin modelov in neznane dolžine prave ribe izračunal njeno dolžino.

Osnovne metode vzorčenja pri monitoringu populacij rib in piškurjev so opazovanje, lov s trnkom, pastmi, mrežami in elektroribolovom. Rezultati, ki jih pridobimo s takim načinom vzorčenja, so kvalitativni, semikvantitativni in kvantitativni.

Monitoring z opazovanjem je kvalitativna metoda, ki jo lahko izvajamo pri zlahka prepoznanih vrstah v namen ugotavljanja prisotnosti vrste.

Elektroribolov je način vzorčenja, ki ga lahko uporabimo tako v kvalitativne, semikvantitativne kot kvantitativne namene.

Kvalitativni način vzorčenja z elektroribolovom je primeren za ugotavljanje prisotnosti in razširjenosti vrst. Vzorčenje je učinkovito in hitro, v relativno kratkem časovnem obdobju na tak način lahko preiščemo relativno velika območja vodotokov ter pridobimo vpogled v prostorsko razširjenost populacije določene preiskovane vrste.

Semikvantitativni način vzorčenja z elektroribolovom je, poleg ugotavljanja prisotnosti in razširjenosti vrst, primeren tudi za ocenjevanje velikosti populacije pri vrstah, ki so vezane bodisi na specifičen habitat (npr. peščine v plitvi vodi), bodisi določene strukture v vodotoku (npr. globoki tolmoni, skale, podrta ali poplavljeni drevesa) kjer je tudi naravna naseljenost določene preiskovane vrste prenizka za izvedbo kvantitativnega vzorčenja. Semikvantitativna tehnika elektroribolova tako omogoča zajem podatkov na relativno obsežnih geografskih območjih v relativno kratkem časovnem obdobju. Poleg tega pa omogoča tudi oceno relativne abundance osebkov preiskovane vrste ter s tem numerično primerjavo ocen velikosti populacije na istem mestu v nekem časovnem zaporedju oziroma primerjavo ocen velikosti populacij določene vrste na različnih lokacijah.

Kvantitativni način vzorčenja z elektroribolovom zagotavlja najustreznejše podatke za ugotavljanje stanja ohranjenosti vrste, saj na njihovi osnovi lahko podamo najzaneslivejše ocene naseljenosti (tako abundance kot biomase) določene preiskovane vrste, prav tako zagotavlja tudi najcelovitejši vpogled v demografsko strukturo njene populacije. Vendar pa kvantitativno vzorčenje z elektroribolovom po drugi strani zahteva tudi ustrezno vodno okolje. Najustreznejši so majhni do srednje veliki in prebrodljivi vodotoki, katerih globina vode nikjer ne presega 0,5 m. Prav tako je dobro, da vzorčna mesta, kjer izvajamo taka vzorčenja, za izbrano vrsto predstavljajo optimalni habitat in so tako tudi lokalne gostote preiskovane populacije bolj ali manj visoke.

Izbira metode vzorčenja pri monitoringu izbrane ciljne vrste rib mora biti prilagojena biologiji in ekologiji vrste, ki jo proučujemo, ugotavljamo stanje ohranjenosti vrste oziroma njegovo spreminjanje. Včasih uporaba ene same metode ni dovolj, temveč se kombinira dve ali več metod. V primeru, da nobena od metod ali kombinacij metod ne bi zagotavljala ustreznih rezultatov oziroma ocen, bi bilo treba s pomočjo natančnejših in usmerjenih raziskav poiskati ustrezne rešitve.



*Slika 21: Prikaz priprave odseka struge Radovna 1b na vzorčenje rib s prilagojenim natančnim elektroribolovom.*



*Slika 22: Prikaz vzorčenja rib na odseku Radovne s prilagojenim natančnim elektroribolovom.*

Prilagojen natančni elektroribolov je podoben klasičnemu elektroribolovu, le da pri njem poskušamo čim bolj zmanjšati bežanje rib pred električnim tokom in ribiči. Na začetku vsakega vzorčenja smo najprej pregledali izbrani odsek in določili lokacijo pregradnih mrež. S postavitvijo pregradnih mrež ribam onemogočimo pobeg v drug habitat in s tem pridobimo boljše podatke. Pred vsakim začetkom izlova rib se smo umaknili izven vidnega polja rib ter počakali 15 minut, da so se ribe umirile in zopet zaplavale iz skrivališč v odprte vode.

Sam elektroizlov smo poskušali izvesti čim tišje in s čim manj nepotrebne hoje po strugi. Prilagojen natančni elektroribolov smo izvajali z 2-3 elektroribiči z nahrbtnimi agregati (odvisno od širine struge). Elektroribiči so bili enakomerno razporejeni po strugi in so se hkrati premikali po toku navzgor ter lovili ribe. Za vsako ujeto ribo je elektroribič sporočil natančno smer, iz katere je riba priplavala k elektrodi oz. lokacijo, kjer se je riba nahajala (npr. pod skalo). Pomočnik elektroribiča je ribo prevzel in jo izmeril na 5 milimetrov natančno, zapisnikar pa je na protokolarni list z vrisano natančno topografijo odseka zabeležil točno lokacijo ribe, njeno dolžino in morebitne posebnosti. Ribe smo po merjenju prestavili v vedro z vodo, kjer so si opomogle od vpliva električnega toka. Po končanem izlovu izbranega odseka smo ribe žive spustili nazaj v vodo.



*Slika 23: Različne faze vzorčenja rib z prilagojenim natančnim elektroribolovom (zapisovanje na podrobne karte, postavitev pregradnih mrež, merjenje rib takoj po ulovu, električna bariera na koncu pregradne mreže).*

Čas vzorčenja vedno prilagodimo biologiji proučevane vrste na način, da z vzorčenjem čimmanj motimo ribe v reproduktivnem obdobju (migracija pred drstjo, čas drsti, čas do izvalitve zaroda). Za vzorčenje potočne postrvi v Sloveniji je najugodnejši čas za vzorčenje rib od začetka aprila do konca septembra. Za pridobitev dobrih podatkov o habitatih rib v Radovni smo ribe prilagojenim natančnim elektroribolovom vzorčili v spomladanskem (22.05. 2012), poletnem (24. in 25.07. 2013), jesenskem (24. in 25.10. 2012) in zimskem obdobju (01. in 05.03. 2013). Zimsko vzorčenje rib z elektroribolovom smo izvedli v po končani drsti potočne postrvi v Radovni. V zimskem

obdobju smo zaradi zaščite drstišč izvedli popis drstišč in ocenjevanje velikosti drstnic z ne invazivno metodo vizualnega popisa (11.01. 2013).



*Slika 24: Prikaz vzorčenja rib na odseku Radovne z metodo vizualnega popisa rib.*

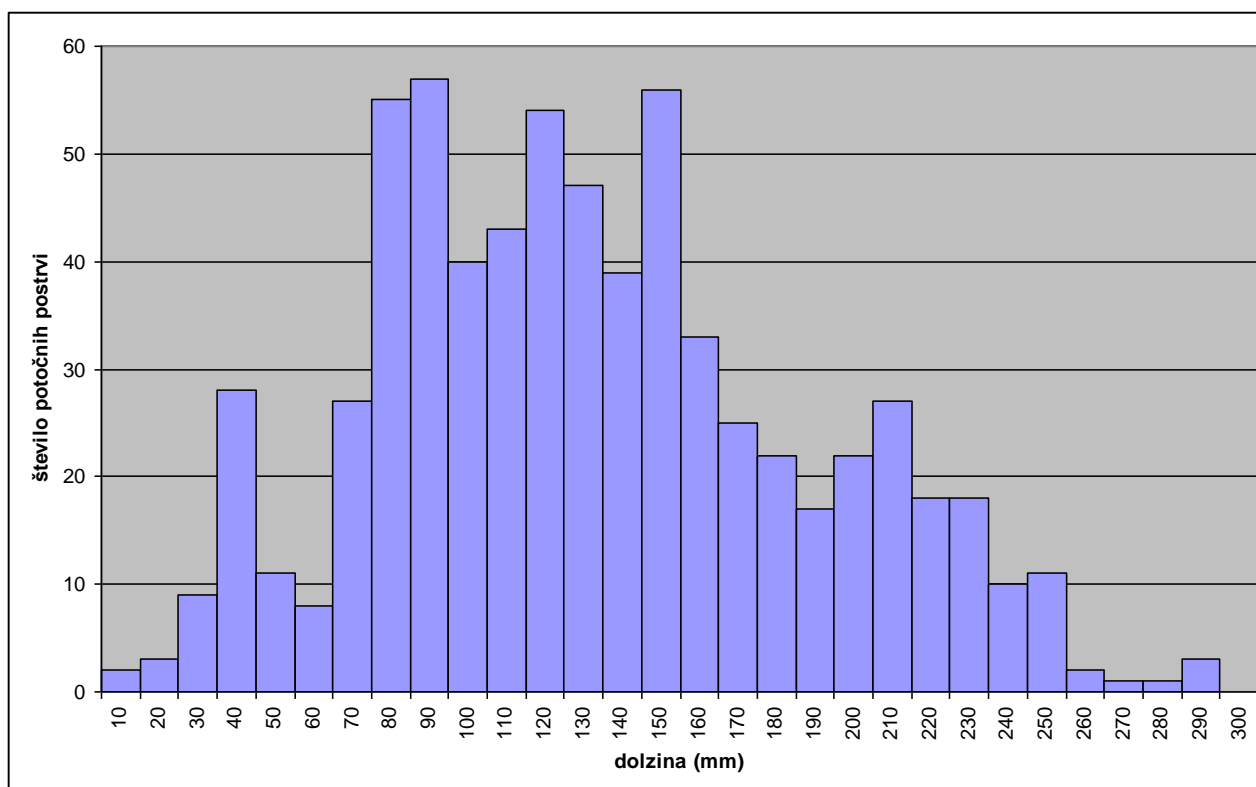


*Slika 25: Potočne postrvi iz Radovne, ujete s prilagojenim natančnim elektroribolovom rib.*

*Preglednica 4: Časovni pregled izvedenih elektroribolovov in opazovanja z obrežja (VC = opazovanje z obrežja, ER = elektroribolov).*

Odsek\datum	22.05. 2012	24.-25.10. 2012	11.01. 2013	01.-05. 03. 2013	24.-25.07. 2013
1a		VC, ER	VC	VC, ER	VC, ER
1b		VC, ER	VC	VC, ER	VC, ER
2a	VC, ER	VC, ER	VC	VC, ER	VC, ER
2b	VC, ER	VC, ER	VC	VC, ER	VC, ER

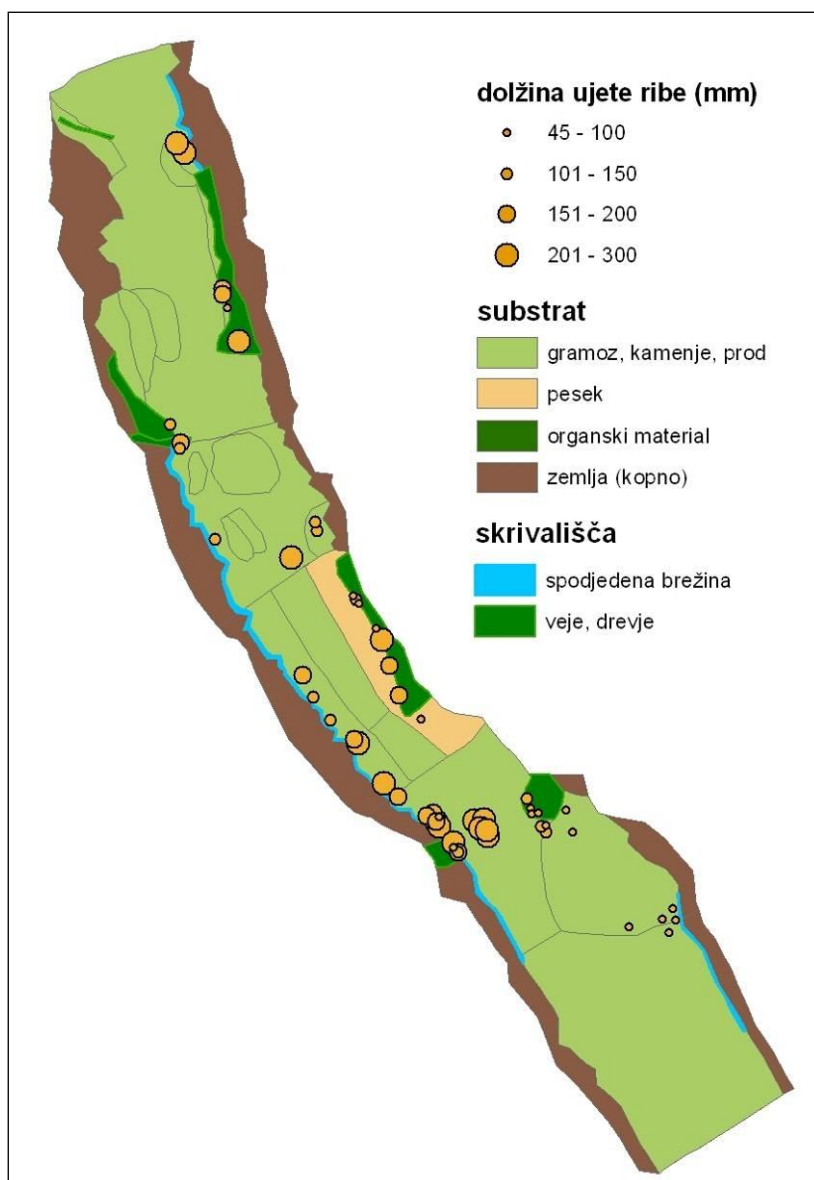
Skupaj smo na vseh vzorčenjih z obema uporabljenima metodama opazovali ali ujeli 2114 rib. Podatki za 255 rib so bili zbrani z opazovanjem z brežin, ostale podatke pa smo pridobili s prilagojenim natančnim elektroribolovom. Med vsemi ujetimi ribami je bilo 85 šarenk, ki smo jih izključili iz nadaljnje analize. Vse ostale ribe so bile potočne postrvi. Z metodo opazovanja z brežine smo bili različno uspešni. V zimskem času, ko ribe večinoma mirujejo in se manj prehranjujejo ter več zadržujejo v skrivališčih, smo opazili le okoli 1-2% rib glede na ribe, ujete z elektroribolovom. V poletnem in jesenskem času, ko so bile ribe bolj aktivne in so se več zadrževale izven skrivališč, smo na nekaterih bolj primernih lokacijah opazovali od 12% pa vse do 31% vseh osebkov glede na število osebkov, ujetih z elektroribolovom.



*Slika 26: Dolžinsko frekvenčni histogram potočnih postrvi, ujetih s prilagojenim natančnim elektroribolovom na vseh štirih izbranih odsekih Radovne dne 24. in 25. julija 2013.*

Iz dolžinsko frekvenčnega histograma (Slika 26) poletnega vzorčenja v letu 2013 je razvidno, da je največ potočnih postrvi velikih med 80-160 mm, število večjih rib pa počasi upada. Populacija rib deluje vitalna, kljub navideznemu pomanjkanju velikih, predvidoma starejših rib. V vodotokih z nizkimi temperaturami skozi vse leto, kot je tudi reka Radovna, ribe rastejo počasneje, zato so v primerjavi z enako velikimi ribami, ki poseljujejo v toplejše vodotoke, starejše. Največja ulovljena riba je merila 380 mm (na grafu je ne prikazujemo). Zelo zanimivo je tudi pojavljanje zelo majhnih osebkov (1-6 cm) v juliju. Generacija (0+) je v mesecu juliju, ob upoštevanju po luskah določene

starosti rib, velika do 100 mm. Manjši osebki so očitno zelo zaostali v rasti, njihova številčnost pa je morda podcenjena, saj so tako majhne ribe težko ulovljive.



Slika 27: Prikaz položaja rib in njihove velikosti v prvem vzorčenju na odseku Radovna 2a.

Na podlagi rezultatov prilagojenega natančnega elektroribolova smo izdelali prikaz umestitve rib v prostor (odsek 2a: Slika 27; substrat in skrivališča za ostale odseke so prikazani v prilogah: Slika 101, Slika 102 in Slika 104). Prikazana je velikost vsake ujete ribe (v mm) in njena točna lokacija ob ujetju. Že po prvem izvedenem vzorčenju je bilo dobro razvidno, da razporejanje rib v vodnem toku ni naključno. Ribe se zadržujejo na primernih mestih glede na svojo velikost: manjše ribe se zadržujejo na plitvejših in mirnejših predelih struge, večje ribe pa na globljih delih ter v bližini skrivališč.

## 2.2. Popis drstišč potočne postrvi

V zimski sezoni smo v času drsti izvedli popis drstišč potočne postrvi na vseh vzorčenih odsekih reke Radovne. Popis smo izvajali z metodo vizualnega cenusa, ki je najmanj invazivna; na ta način nismo posegali v drstišča v času drsti. Drstišča smo opredelili kot površinske enote (drstne jame) in grafično prikazali njihovo lokacijo znotraj posameznega vzorčenega odseka Radovne. Z metodo vizualnega cenusa smo popisali tudi vse ribe na vzorčenih odsekih in njihove lokacije v strugi Radovne.

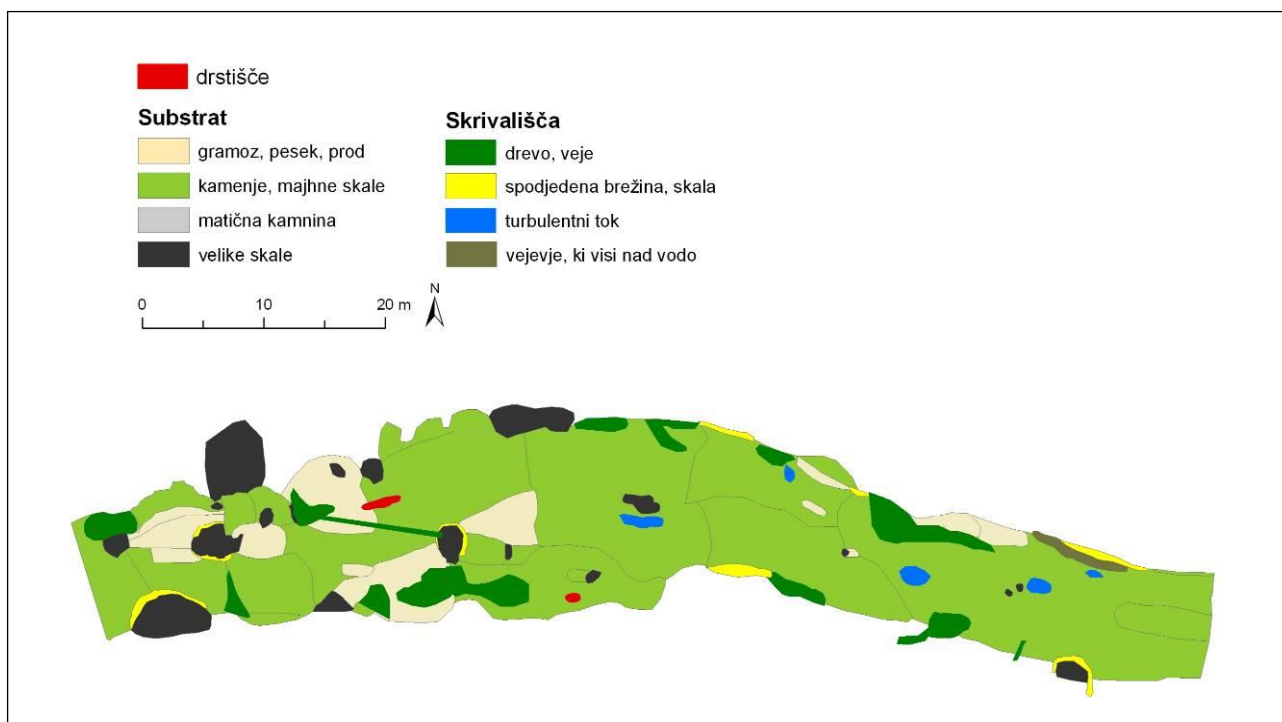


Slika 28: Drstna jama s parom potočnih postrvi (puščica) v drsti na odseku Radovna 1a.



Slika 29: Drstna jama na odseku Radovna 1a.





Slika 30: Prikaz evidentiranih drstišč na odseku Radovna 1a.

Pri vzorčenjih, ki smo jih izvajali dne 11.01. in 01.03. 2013, smo izven izbranih vzorčenih odsekov Radovne z elektroribolovom odlovili manjše število osebkov potočne postrvi z namenom določanja spolne zrelosti. Ribe, ki smo jih odlovili dne 11.01. 2013, smo vzorčili ob zaključku oz. izteku drstne dobe potočne postrvi v Radovni. Ribe, odlovljene 01.03. 2013, smo vzorčili po zaključeni drsti potočne postrvi. Obakrat smo odlovljene ribe izmerili in stehtali; večji del rib smo žive vrnili v Radovno, manjši vzorec pa smo usmrtili in secirali v laboratoriju. Z laboratorijskimi metodami smo osebkove potočne postrvi secirali in izolirali gonade – ovarije in testise. Izolirane gonade smo s prostim očesom in z laboratorijsko lupo pregledali in skušali ugotoviti spolno zrelost posameznega osebka glede na stopnjo razvitosti spolnih organov (gonad).



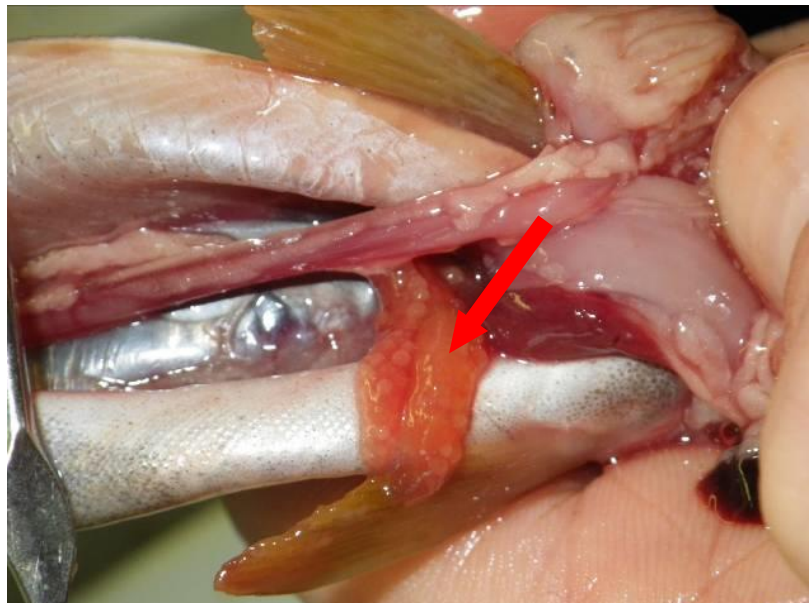
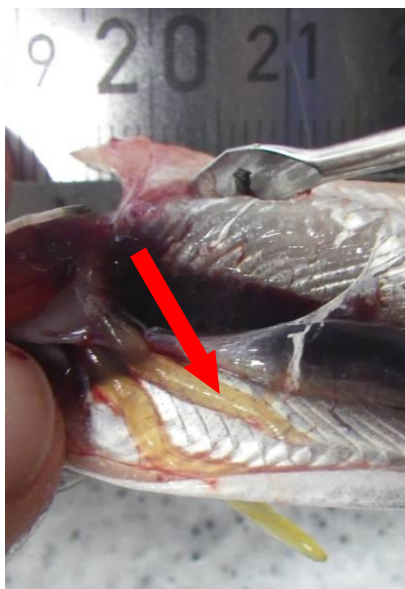
Sliki 31 in 32: Izolacija ovarijev potočne postrvi.



Slika 33: Izolacija testisov potočne postrvi.



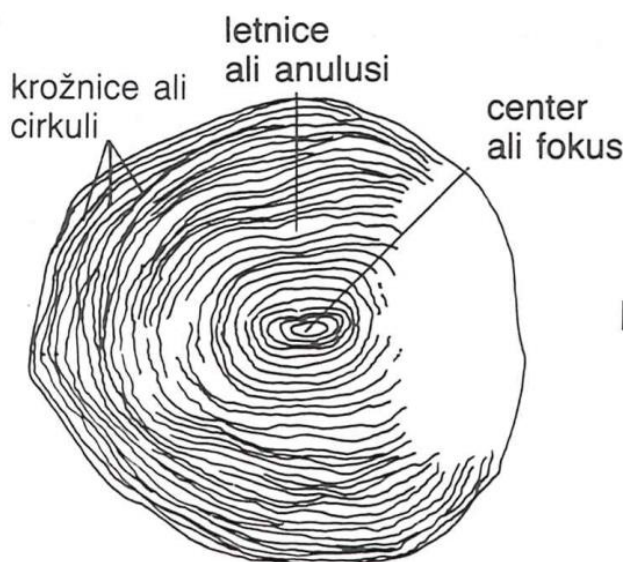
Sliki 34 in 35: Izoliran ovarij potočne postrvi z ikrami (levo) in izolirani testisi potočne postrvi (desno).



Sliki 36 in 37: Izolacija nerazvitih (levo) in razvitih (desno) ovarijev potočne postrvi.

V nadaljevanju raziskave smo poskušali določiti starostno strukturo populacije potočne postrvi v Radovni, zato smo vzorčenim osebkom odvzeli tudi luske, z analizo katerih je mogoče določiti starost osebkov (Slika 39).

Potočna postrv ima cikloidne luske, ki se strehasto prekrivajo. Cikloidna luska ima tisti del, ki moli izpod kože, gladek. Zgradba luske je preprosta. Luska je sestavljena iz zunanje koščene plasti in tanke notranje plasti vezivnega tkiva. Na koščem delu takoj opazimo koncentrične krožnice. Osrednji del luske imenujemo žarišče ali fokus. Od sredine proti robu luske potekajo žarkaste proge ali radiji. S pomočjo lusk oz. koncentričnih krožnic na njih lahko določimo starost ribe. Ločimo namreč pasove razmaknjenih in stisnjenih koncentričnih krožnic, ki se praviloma izmenjujejo. Razmaknjeni krogi pomenijo, da je riba rasla hitro, torej je imela dovolj hrane in so bili življenjski pogoji zanjo ugodni. Običajno je ta čas hitre rasti poleti, ko je temperatura vode višja. Gostejše krožnice pomenijo, da je riba rasla počasi, kar je navadno pozimi, ko ni dovolj hrane in je rast počasnejša tudi zaradi povezave z nižjo temperaturo vode. Pas razmaknjenih in stisnjenih koncentričnih krožnic je letnica ali anulus in nastane v enem letu življenja ribe. Po številu teh letnic določamo starost ribe (Sket in Povž, 1990).



Slika 38: Prikaz zgradbe cikloidne luske (vir: Sket in Povž, 1990).

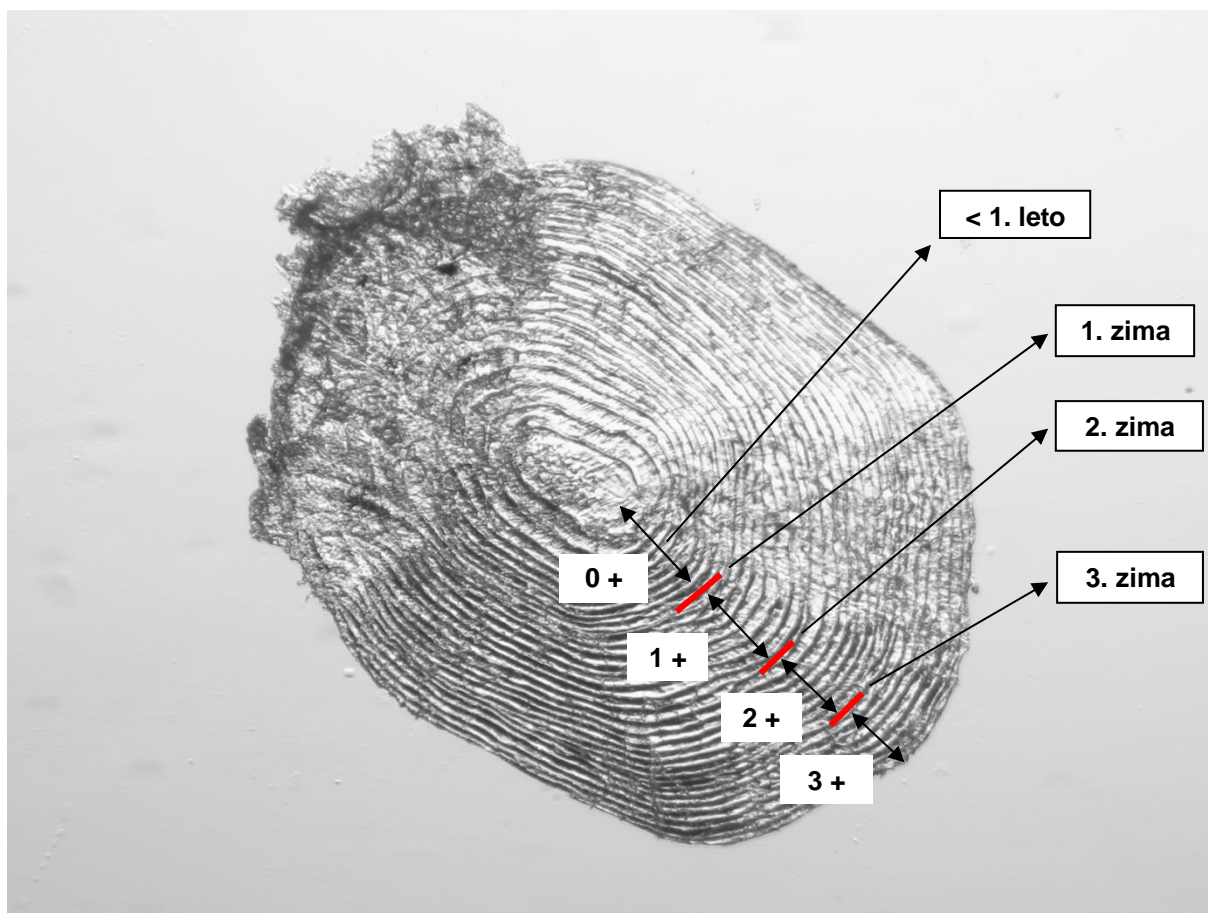
Ker so temperature reke Radovne skozi celo leto nizke, je rast rib počasnejša; pas razmaknjenih in stisnjenih koncentričnih krožnic zato ni izrazit. Določevanje starosti je zato izredno težavno in manj zanesljivo.

Po opravljeni analizi odvzetih lusk smo lahko določili starost, pri kateri potočna postrv v Radovni doseže spolno zrelost.

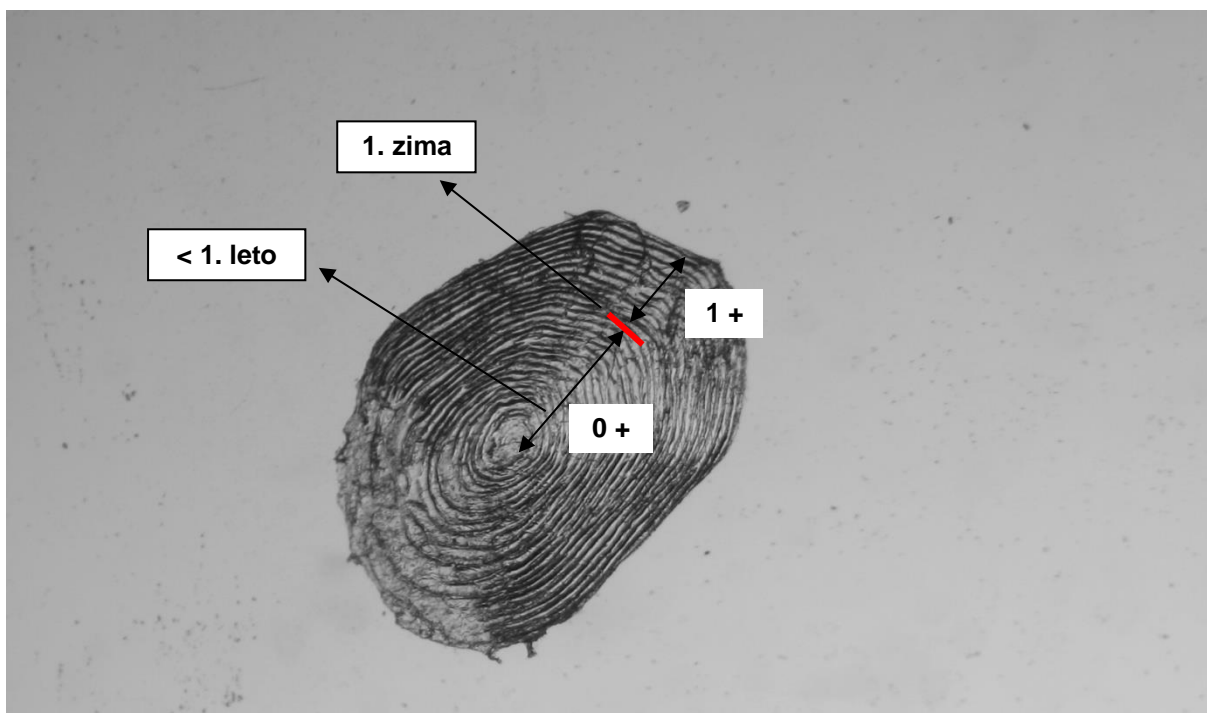


Slika 39: Odvzem lusk potočne postrvi.

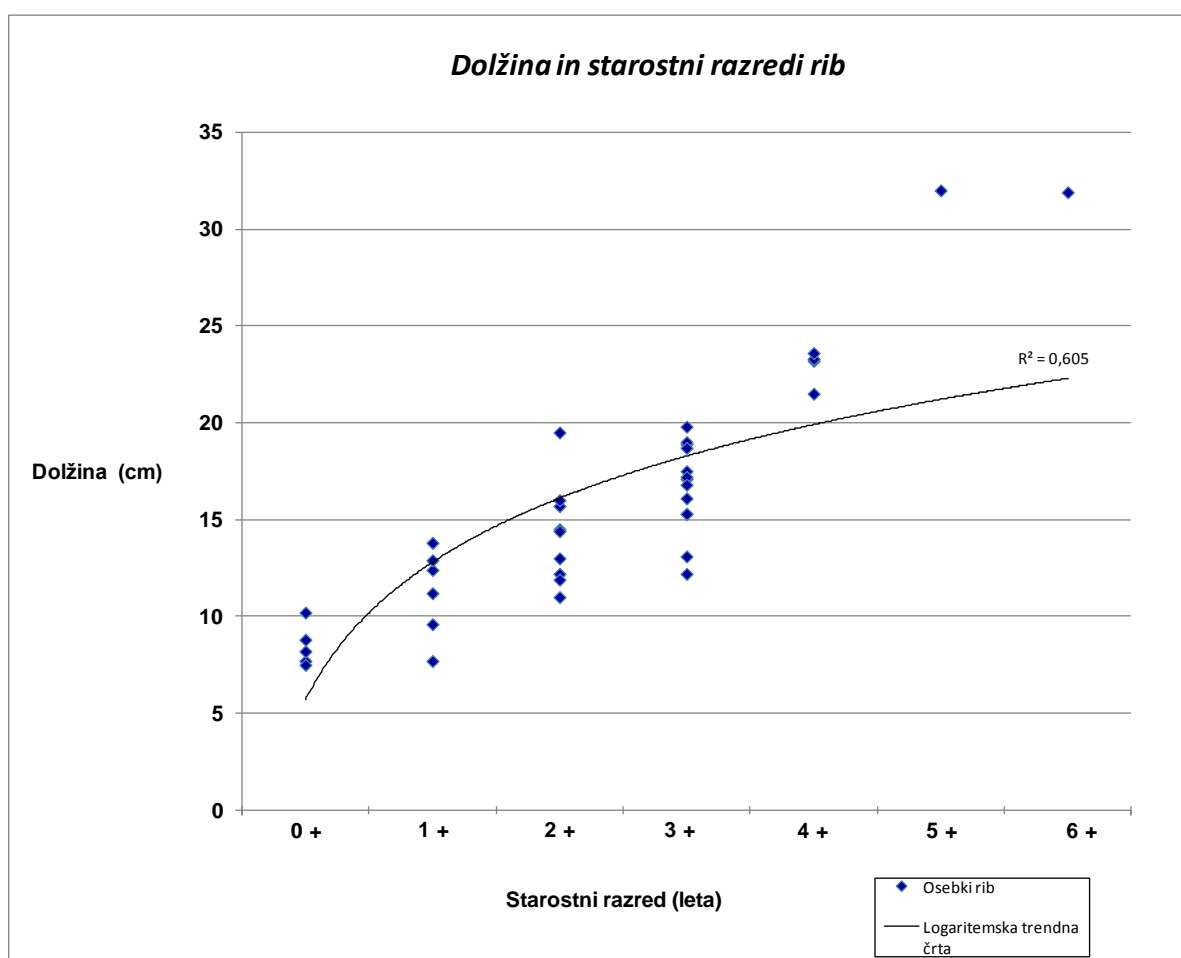
Vsaki ribi, ki smo ji s pinceto odvzeli lusko z območja med pobočnico in hrbtno plavutjo, smo izmerili celotno dolžino (cm) in težo (g). Luske rib smo za nadaljnjo obdelavo pripravili kot trajne preparate. Z laboratorijsko analizo lusk potočne postrvi smo določali starost potočnih postrvi različnih dolžin. Vsako odvzeto lusko smo fotografirali pod lupo; za določanje starosti posamezne potočne postrvi smo izbrali najustreznejšo lusko, s katere je bila razvidna rast ribe v zimski in poletni sezoni. Na Slikah 37 in 38 je prikaz prepariranih lusk, ki sta ustrezni za določitev starosti ribe, z označenimi zimskimi obdobji in anulusi (letnicami), ki kažejo starost ribe.



Slika 40: Luska 3+ leta stare potočne postrvi z označenimi letnimi prirasti.

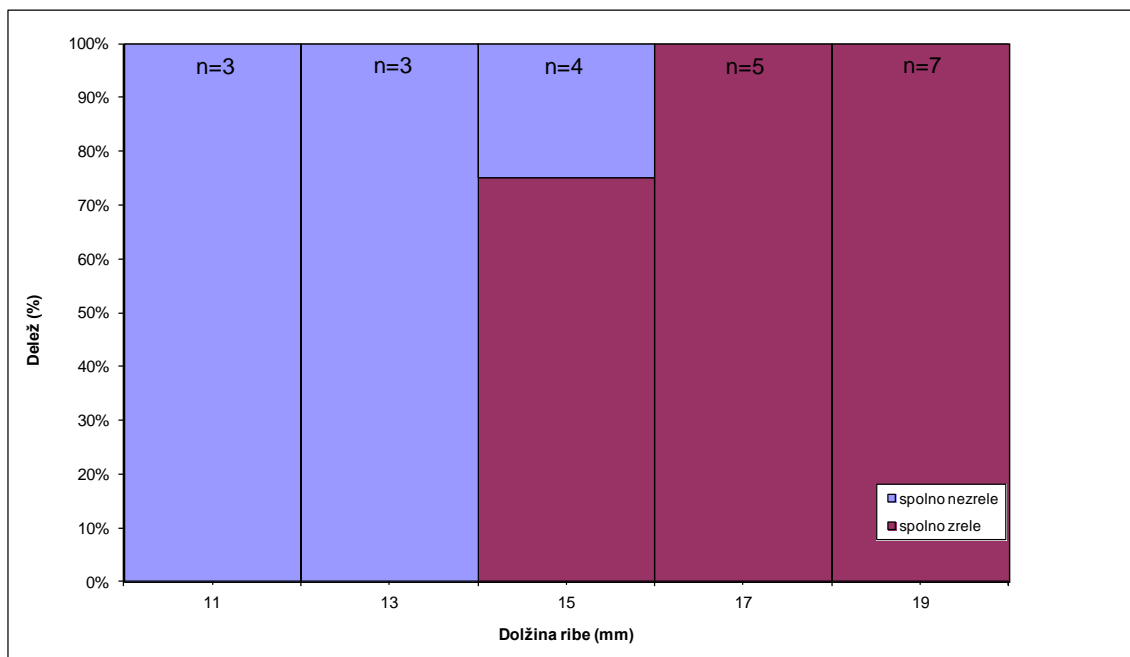


Slika 41: Lуска 1+ leta stare potočne postrvi z označenimi letnimi prirasti.



Slika 42: Grafični prikaz primerjave med dolžino in starostjo potočne postrvi.

Analiza ustreznih lusk potočnih postrvi različnih dolžin je pokazala povezavo med dolžino osebkov potočne postrvi in njihovo starostjo. Za opis povezave smo uporabili logaritemsko trendno črto, ki orisuje dolžinsko rast rib različne starosti.



Slika 43: Grafični prikaz spolne zrelosti vzorčenih rib pri različnih dolžinah osebkov (skupno samice in samci).

Iz analiziranih podatkov je razvidno, da ribe do dolžine 13 cm ne dosežajo faze spolne zrelosti. V razredu vzorčenih rib, ki so bile dolge med 14 – 16 cm, je bilo spolno zrelih 75 % rib. Vse vzorčene ribe, daljše od 16 cm, so bile spolno zrele. Pri sekciji ujetih samic potočne postrvi smo večinoma opazili fazo gonad po končani drsti, ko so se v ovarijih nahajale neizločene ikre. S primerjavo zgornjih slik (Slika 43, Slika 42) lahko zaključimo, da se ribe v Radovni prvič drstijo v starosti dveh let.

### 2.3. Določitev $Q_{es}$ v skladu s predpisi o vodah

Vrednosti ekološko sprejemljivega pretoka ( $Q_{es}$ ) so določene v skladu z Uredbo o kriterijih za določitev ter načinu spremljanja in poročanja ekološko sprejemljivega pretoka (Uredba o  $Q_{es}$ , Uradni list RS, št. 97/2009). Ta uredba določa odvisnost vrednosti  $Q_{es}$  od:

- Srednjega malega pretoka ( ${}_sQ_{np}$ ),
- tipa odvzema vode (povraten ali nepovraten),
- dolžine povratnega odvzema (točkovni, kratek ali dolg odzem),
- velikosti prispevne površine,
- ekološkega tipa vodotoka,
- razmerja med srednjim pretokom ( ${}_sQ_s$ ) in srednjim malim pretokom ( ${}_sQ_{np}$ ) in
- količine odvzema v odvisnosti od srednjega pretoka.

Ti kriteriji določajo vrednost faktorja  $f$ . Ekološko sprejemljivi pretok se nato določi z uporabo enačbe  $Q_{es} = f \cdot {}_sQ_{np}$ . Faktor  $f$  se določi v skladu s preglednicami iz Uredbe (Preglednica 5).

Naslednja preglednica (Preglednica 7) prikazuje primer rabe vode pri povratnem odvzemu (odvzeta količina vode se odvzame in tudi vrne nazaj v strugo, npr. hidroenergetska raba, ribogojnice, hladilna voda ipd.). V preglednici (Preglednica 6) so določena sušna in vodnata obdobja po mesecih v letu in glede na skupino ekoloških tipov vodotokov.

Preglednica 5: Vrednosti faktorja  $f$  za izračun  $Q_{es}$  pri povratnem odvzemu, določene z Uredbo o  $Q_{es}$ .

Skupina ekoloških tipov	Velikost prispevne površine				
	<10 km <sup>2</sup>	10 - 100 km <sup>2</sup>	100 - 1000 km <sup>2</sup>	1000 - 2500 km <sup>2</sup> in sQs < 50 m <sup>3</sup> /s	> 2500 km <sup>2</sup> ali sQs > 50 m <sup>3</sup> /s
<b>Točkovni odvzem</b>					
1 <sup>(1)</sup>	0,7	0,7	0,5	0,4	
2 <sup>(1)</sup>	0,7	0,5	0,4	0,4	
3	0,5	0,4	0,3		
4					0,3
<b>Kratek odvzem celo leto ali dolg odvzem v sušnem obdobju</b>					
1 <sup>(1)</sup>	1,2	1,2	1,0	0,8	
2 <sup>(1)</sup>	1,2	1,0	0,8	0,8	
3	1,0	0,8	0,7		
4					0,7
<b>Dolg odvzem v vodnatem obdobju</b>					
1 <sup>(1)</sup>	1,9	1,9	1,6	1,3	
2 <sup>(1)</sup>	1,9	1,6	1,3	1,3	
3	1,6	1,3	1,1		
4					1,1

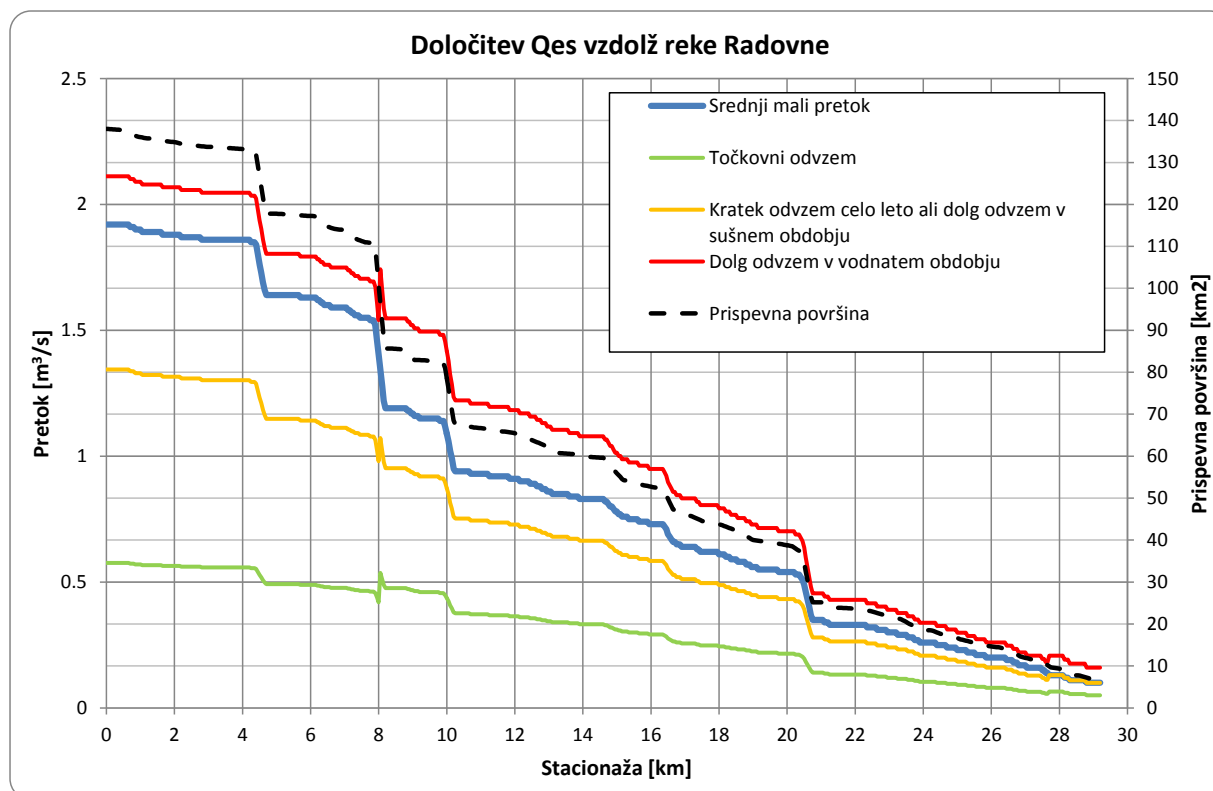
Preglednica 6: Sušna (S) in vodnata (V) obdobja določena po mesecih v letu in glede na skupino ekoloških tipov.

Skupina ekoloških tipov	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Avg	Sep	Okt	Nov	Dec
1	V	V	V	V	V	S	S	S	S	V	V	V
2, 3, 4	S	S	V	V	V	S	S	S	S	V	V	S

Glede na karto skupin ekoloških tipov rek, ki jo je izdala Agencija Republike Slovenije za okolje (ARSO; Slika 44), reka Radovna spada v skupino ekoloških tipov 3.







Slika 45: Določitev  $Q_{es}$  vzdolž reke Radovne od izliva v reko Savo Dolinko do izvira za različne tipe povratnih odvzemov.

Iz grafa (Slika 45) je razvidno, da je določanje  $Q_{es}$  glede na velikost prispevne površine na območjih, kjer velikost prispevne površine preide iz ene v drugo skupino, problematična, saj prihaja do skokovite spremembe določitve vrednosti  $Q_{es}$ . V stacionaži vodotoka v 8. kilometru, ko prispevna površina preide v višji razred ( $A > 100 \text{ km}^2$ ), se faktor  $f$  zniža in posledično tudi vrednost  $Q_{es}$ . Ugotovljeno lahko dejansko vpliva na načrtovanje rabe, natančneje na načrtovanje lokacije odvzema.

V Preglednici 8 je prikazana določitev vrednosti  $Q_{es}$  na analiziranih odsekih reke Radovne za različne tipe povratnih odvzemov za sušno in vodnato obdobje.

Preglednica 8: Določitev vrednosti  $Q_{es}$  za vzorčene odseke reke Radovne in določitev merodajnega celoletnega  $Q_{es}$  v odstotkih glede na  ${}_sQ_s$ .

Odsek raziskave	Vrednost $Q_{es}$ [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]		
	Točkovni odvzem	Kratek odvzem celo leto ali dolg odvzem v sušnem obdobju	Dolg odvzem v vodnatem obdobju
Radovna 1a	0.36	0.72	1.17
Radovna 1b	0.46	0.91	1.48
Radovna 2a	0.32	0.64	1.04
Radovna 2b	0.27	0.54	0.87

### 3. Hidravlično modeliranje

Za vse štiri odseke smo izdelali dvodimenzionalni hidravlični model s programskim orodjem CCHE, ki temelji na 2-dimenzionalni globinsko povprečeni obliki Navier - Stokesove enačbe. Program so razvili strokovnjaki z Univerze v Missisipi (Zhang in sod., 2011).

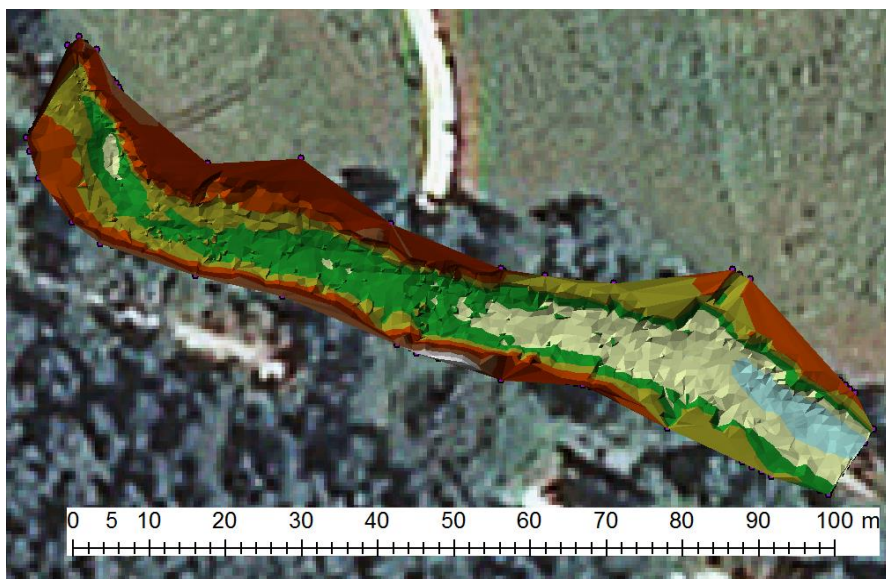
Modeli so podlaga za pridobitev hidravličnih količin – polj vrednosti vplivnih hidravličnih parametrov (globine in hitrosti vode) za različne pretoke.

Pri hidravličnem modeliranju za analizo nizkih pretokov je treba upoštevati nekaj osnovnih usmeritev:

- Ker gre za analizo nizkih pretokov, mora biti zajem batimetrije struge in brežin podroben, tako da se zajame vse spremembe v rečni morfologiji. Tudi matematični model mora biti podroben - z majhnimi celicami oz. elementi. Ker gre za analizo krajših in posledično manj obsežnih območij, podrobno modeliranje ne sme predstavljati ovire glede časa in procesne zmožljivosti.
- Če ne gre za odsek s praviloma enakomernim tokom vzdolž analiziranega odseka (ni bistvenih zožitev ali razširitev oziroma ovir toku, ki povzročajo večje hitrosti v prečni smeri na glavno os vodotoka), je treba hidravlično analizo izvesti na podlagi 2-dimenzionalnega matematičnega modela
- Pri analizah odsekov manjših vodotokov ali vodotokov z izrazito prodonosnostjo in erozijo je treba pridobivanje podatkov za umerjanje izvesti hkrati (vsaj pred visokovodnim dogodkom) z merjenjem batimetrije osnovne struge in brežin. Namreč, pri takih vodotokih lahko prihaja do hitrih lokalnih sprememb hidromorfologije, kar lahko povzroči napačno umerjanje.

#### 3.1. Vzpostavitev hidravličnega modela

Na osnovi podatkov geodetskih izmer smo za vse štiri odseke izdelali model batimetrije, tj. višinski model dna struge. *Slika 46* prikazuje model batimetrije odseka Radovna 2b (modeli batimetrije za ostale odseke so prikazani v prilogah: *Slika 69*, *Slika 70* in *Slika 71*).



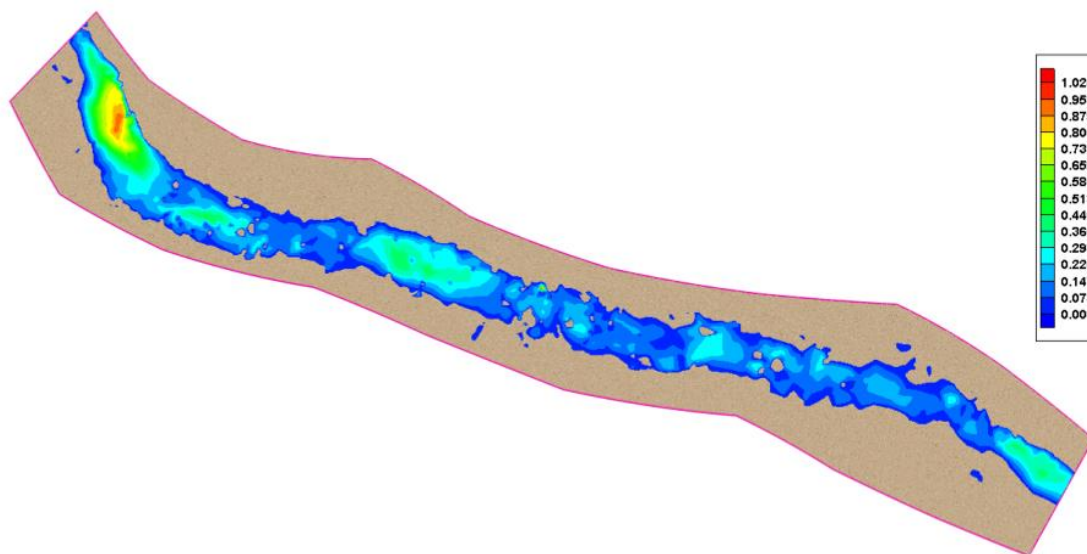
*Slika 46: Model batimetrije za odsek Radovna 2b*

V fazi priprav na meritve hidravličnih parametrov smo izdelali preliminarne hidravlične modele. Pri teh smo kot gorvodni robni pogoj pri vseh štirih odsekih upoštevali pretok (groba inženirska ocena velikostnega razreda pretoka s prvega ogleda terena), kot dolvodni robni pogoj pa smo upoštevali globino vode. Globino vode smo ocenili za vsak odsek posebej in jo tekom preliminarnih hidravličnih raziskav korigirali tako, da so bili rezultati hidravličnega modela smiselni.

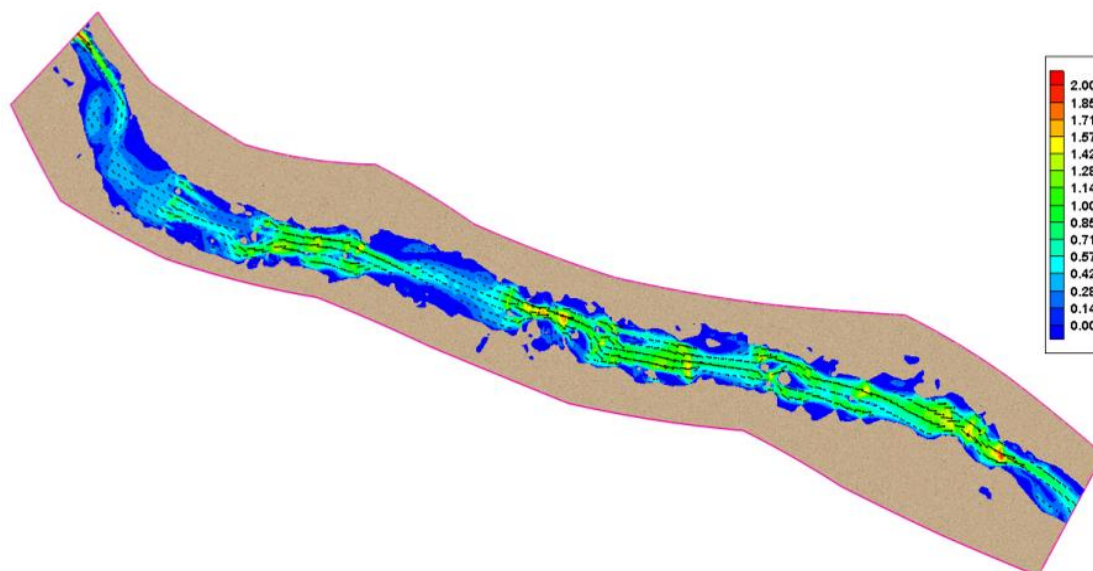
V pripravah na meritve hidravličnih parametrov smo izdelali preliminarne hidravlične modele odsekov Radovna 1a (za pretok  $2 \text{ m}^3/\text{s}$ ), Radovna 1b (za pretok  $1,5 \text{ m}^3/\text{s}$ ), Radovna 2a (za pretok  $1,4 \text{ m}^3/\text{s}$ ) ter Radovna 2b (za pretok  $0,3 \text{ m}^3/\text{s}$ ).

Rezultati preliminarnih hidravličnih modelov za posamezen odsek Radovne so globine ter hitrostno polje vodnega toka so bili v kasnejših fazah izvajanja projekta v pomoč pri terenskih meritvah. Služili so boljši presoji izdelanega modela geometrije struge, lažji umestitvi posameznih točk modela v prostor ter za grobo primerjavo rezultatov modeliranja (globine vode in lastnosti tokovne slike) in realne slike struge Radovne na terenu. Primerjava rezultatov na osnovi preliminarnih hidravličnih izračunov je lahko zgolj kvalitativna, ne pa tudi kvantitativna.

Preliminarne rezultate hidravličnega modela za odsek 2b prikazujeta *Slika 47* (globine) in *Slika 48* (hitrostno polje vodnega toka). V prilogah so za ostale odseke prikazani preliminarni rezultati hidravličnega modela: globine (*Slika 73*, *Slika 75* in *Slika 77*) in hitrosti (*Slika 74*, *Slika 76* in *Slika 78*).



*Slika 47: Preliminarni rezultati hidravličnega modela Radovna 2b: globine [m]*



Slika 48: Preliminarni rezultati hidravličnega modela Radovna 2b: hitrostno polje [m/s].

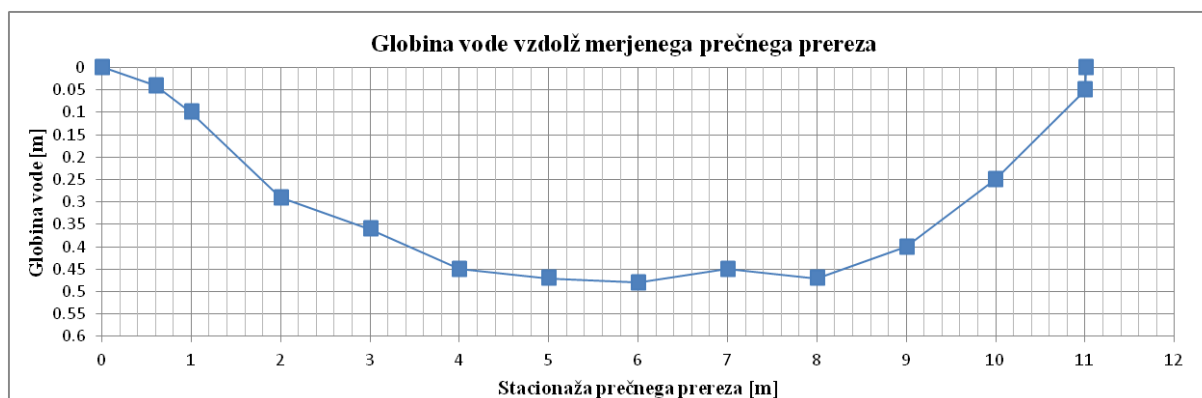
### 3.2. Umerjanje hidravličnega modela

S terenskimi meritvami pretokov in vodostajev smo pridobili podatke o hidrološki situaciji na dan meritev. Izdelali smo hidravlični model za razmere na dan meritev (08.06. 2012 ter 05.09. 2012). Izmerjene pretoke smo upoštevali kot gorvodni robni pogoj modela, izmerjeni vodostaj na dolvodni strani odseka pa smo upoštevali kot dolvodni robni pogoj. Preostali izmerjeni vodostaji so služili za umerjanje modela: s spreminjanjem Manningovega koeficienta hrapavosti smo dosegli čim boljše ujemanje izračunanih vodostajev z izmerjenimi.

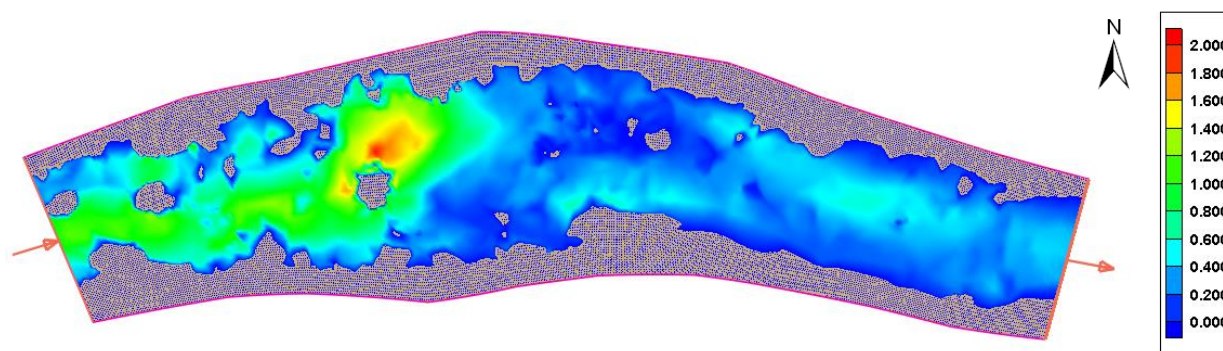
Za verifikacijo hidravličnega modela in med drugim tudi za verifikacijo izbranih vrednosti Manningovega koeficienta smo izvedli še dodatne meritve na terenu.

#### 3.2.1. Odsek Radovna 1a

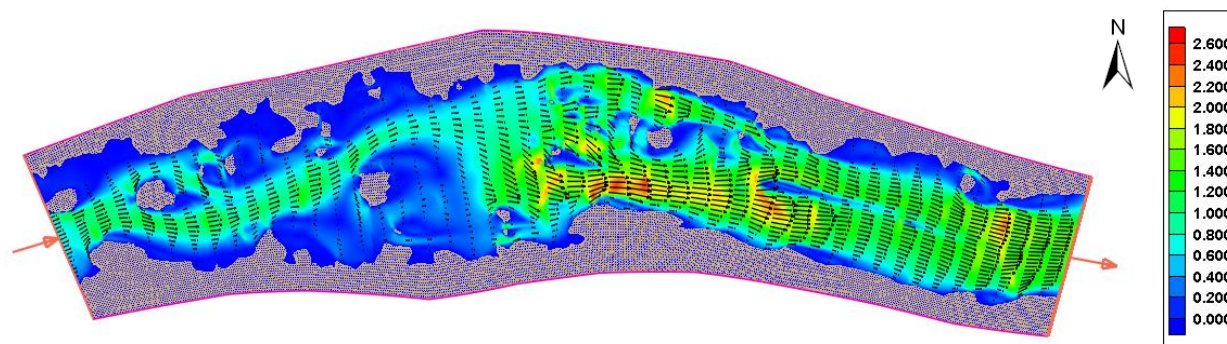
Izdelali smo hidravlični model za hidrološko situacijo z dne 08.06. 2012, pri čemer smo upoštevali izmerjeni pretok  $3,3 \text{ m}^3/\text{s}$ . Z umerjanjem modela smo za ta odsek določili vrednost Manningovega koeficienta hrapavosti 0,03. Hidravlična prevodnost na tem odseku je na nekaterih prečnih prerezih zmanjšana zaradi prisotnosti lesnega plavja. Vpliv lesenih naplavin smo v modelu upoštevali z določitvijo zelo visoke vrednosti koeficienta hrapavosti za posamezna območja znotraj odseka Radovna 1a. S tem smo dosegli tudi zadovoljivo ujemanje izračunanih z izmerjenimi vodostaji.



Slika 49: Izmerjeni vodostaji v izbranem prečnem prerezu na odseku Radovna 1a (08.06. 2012).



Slika 50: Rezultati hidravličnega modela Radovna 1a – razmere 08.06. 2012: globine [m].



Slika 51: Rezultati hidravličnega modela Radovna 1a – razmere 08. 06. 2012: hitrostno polje [m/s].

Sledila je verifikacija hidravličnega modela s podatki hidroloških meritev z dne 05.09. 2012, ko smo izmerili pretok  $1,9 \text{ m}^3/\text{s}$ .

### 3.2.2. Odsek Radovna 1b

Izdelali smo hidravlični model za hidrološko situacijo z dne 08.06. 2012; upoštevali smo izmerjeni pretok  $1,6 \text{ m}^3/\text{s}$ . Z umerjanjem modela smo za ta odsek določili precej visoko vrednost Manningovega koeficienta hrapavosti, ki je bila 0,06. Tako visoka vrednost je realna, saj je na odseku Radovna 1b v strugi precej velikih kamnov, ki jih je v batimetrijo modela ob izbrani gostoti geodetskih točk praktično nemogoče zajeti. Z visokim Manningovim koeficientom hrapavosti smo to napako ustrezno odpravili. Za verifikacijo smo izdelali hidravlični model še za hidrološko situacijo z dne 05. 09. 2012; upoštevali smo izmerjeni pretok  $1,2 \text{ m}^3/\text{s}$ .

### **3.2.3. Odsek Radovna 2a**

Izdelali smo hidravlični model za hidrološko situacijo z dne 08.06. 2012; upoštevali smo izmerjeni pretok  $2,5 \text{ m}^3/\text{s}$ . Od vseh obravnavanih odsekov je struga na odseku Radovna 2a najbolj gladka, na dnu je pesek in prodniki manjših frakcij, večjih kamnov pa je v primerjavi z drugimi odseki zanemarljivo malo. Zato je z umerjanjem določena vrednost Manningovega koeficienta hrapavosti 0,025 na tem odseku smiselna oz. realna. Za verifikacijo smo izdelali hidravlični model še za hidrološko situacijo z dne 05.09. 2012; pri tem smo upoštevali izmerjeni pretok  $1,6 \text{ m}^3/\text{s}$ .

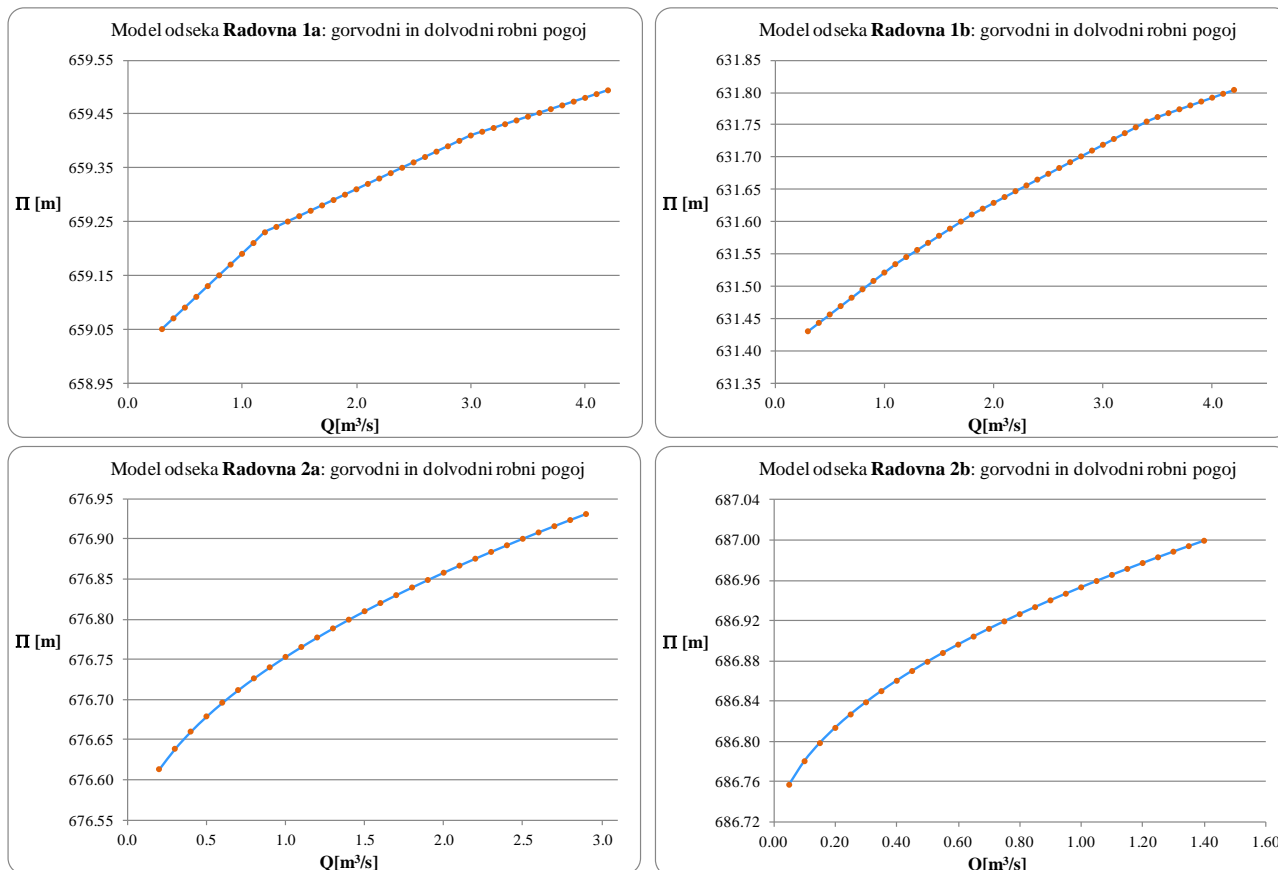
### **3.2.4. Odsek Radovna 2b**

Izdelali smo hidravlični model za hidrološko situacijo z dne 08.06. 2012; upoštevali smo izmerjeni pretok  $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$ . Z umerjanjem smo za ta odsek določili vrednost Manningovega koeficienta hrapavosti 0,032. Tudi za ta odsek so za verifikacijo hidravličnega modela služili podatki hidroloških meritev z dne 05.09. 2012, ko je bil izmerjen pretok  $0,3 \text{ m}^3/\text{s}$ .

### 3.3. Nabor rezultatov hidravličnega modeliranja

Za vsakega od odsekov reke Radovne smo izvedli niz hidravličnih izračunov pri različnih robnih pogojih tako, da so bile zajete raznovrstne hidrološke razmere – od sušnih do vodnatih. Na grafih (Slike 52) so prikazane zveze med pretokom ( $Q$  - zgornji robni pogoj) in absolutno višinsko koto vodne gladine ( $\Pi$  - spodnji robni pogoj);  $Q/H$  krivulje.

Podrobneje (v številkah) smo robne pogoje hidravličnih modelov predstavili v prilogah (Priloga E).



Slike 52: Robni pogoji nabora rezultatov hidravličnih modelov za posamezne odseke Radovne.

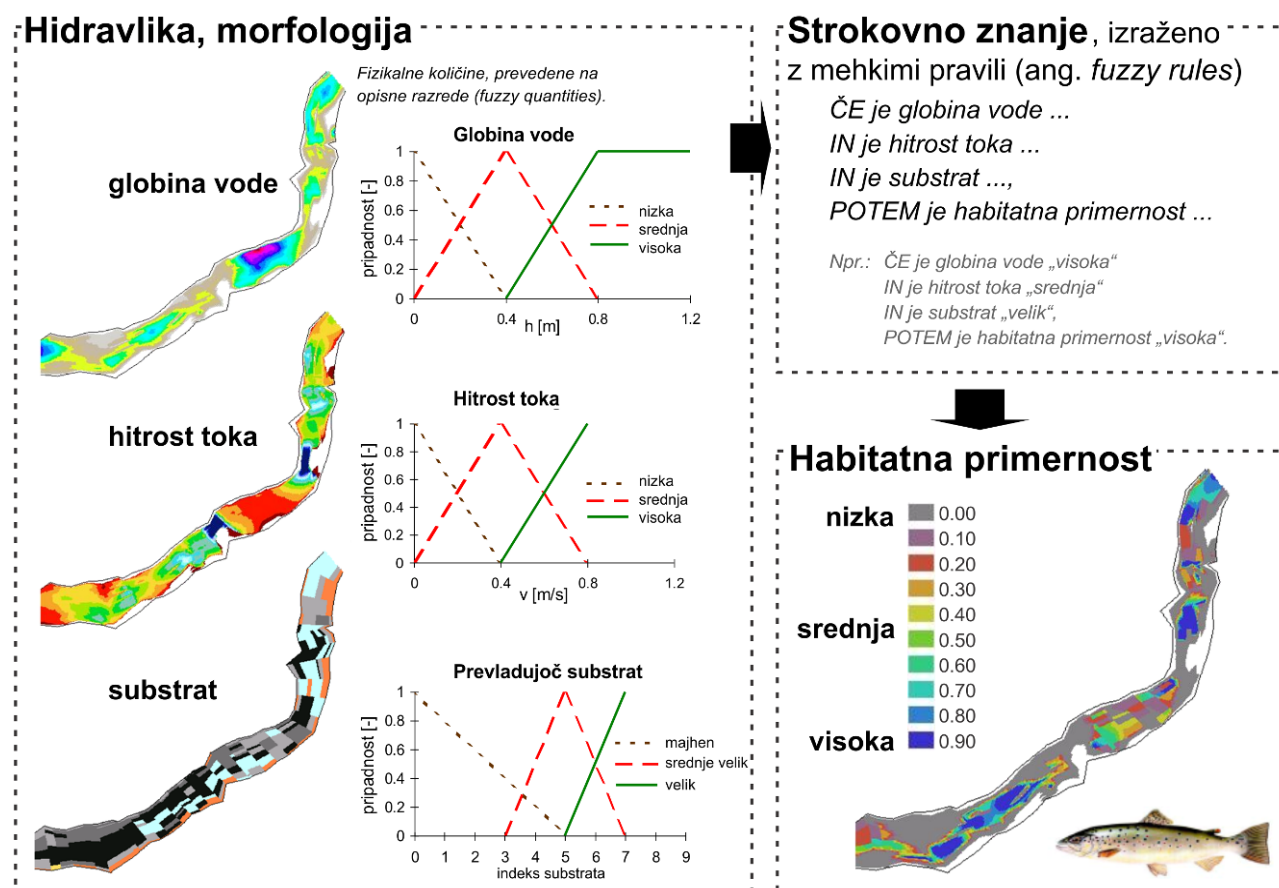
Rezultati teh hidravličnih modelov (polja globine vode in polja hitrosti vodnega toka) predstavljajo vhodni podatek za habitatno modeliranje.

## 4. Habitatno modeliranje

Primernost habitatov za določeno ribjo vrsto je odvisna od številnih dejavnikov: od morfologije struge (substrat, potencialna skrivališča), od hidrološko-hidravličnih parametrov (količin vode v vodotoku, ki neposredno vplivajo na globine vode in hitrosti toka), od klimatskih dejavnikov, kakovosti vode, razpoložljivosti hrane, morebitne prisotnosti plenilcev ipd. Pri tem pa je treba upoštevati tudi življenjsko obdobje obravnavanih rib, saj se pogoji, ki ustrezajo npr. mladici, razlikujejo od tistih, ki ustrezajo odrasli ribi.

### 4.1. Predstavitev programskega orodja CASiMiR

Za modeliranje habitatne primernosti za potočno postrv smo izbrali programsko orodje CASiMiR. Le-to je sestavljeno iz treh osnovnih modulov: modula za vnos vhodnih podatkov, modula za strokovno presojo primernosti habitatov s pristopom mehke logike (ang. *fuzzy logic*) ter modula za oceno habitatne primernosti.



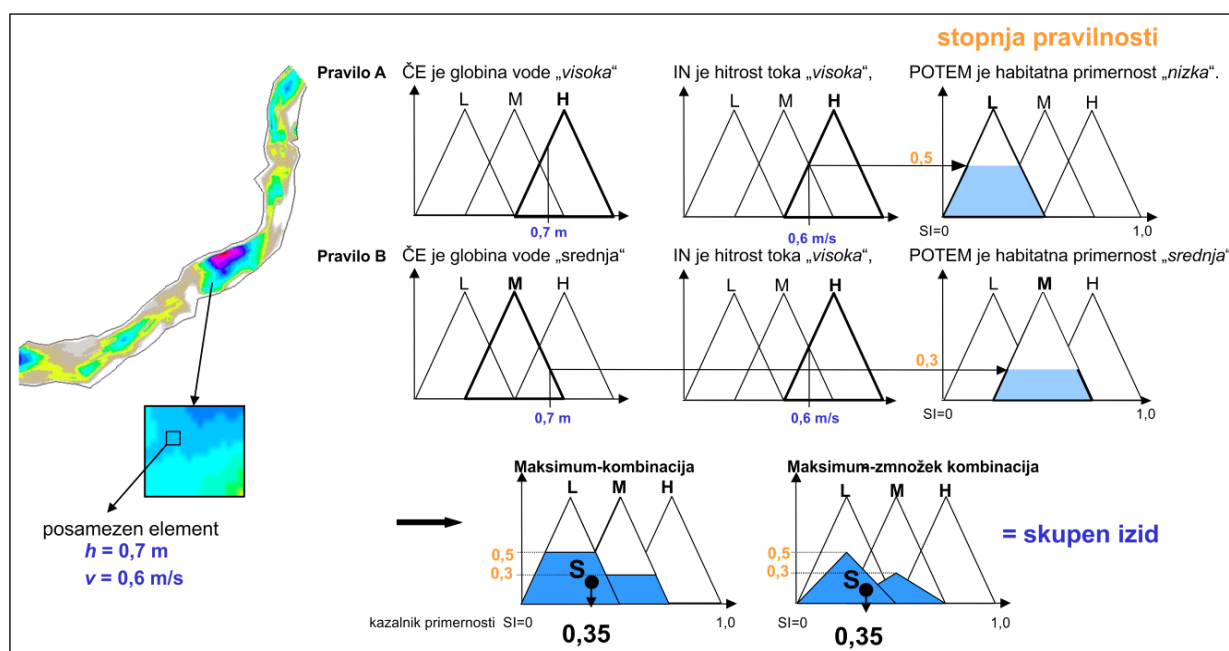
Slika 53: Shema glavnih modulov programskega orodja CASiMiR (prirejeno po Schneider in sod., 2010).

Pri analizi razmer v vodotoku CASiMiR obravnava dve glavni skupini vhodnih podatkov: hidravlične (globine vode, hitrosti toka) in morfološke (substrat, skrivališča) dejavnike. Osnovno načelo mehke logike je, da se številčni (npr. globina) in indeksirani (npr. substrat) vhodni podatki prevedejo na opisno definirane razrede (ang. *fuzzy quantities*: npr. nizke, srednje in visoke vrednosti). Ti razredi pa niso strogo omejeni na interval od najmanjše do največje vrednosti, temveč predstavljajo mehke množice/nize (ang. *fuzzy sets*), kar pomeni, da lahko neka vrednost delno pripada enemu, delno pa drugemu razredu. Vpliv različnih dejavnikov v naravi ni črno-bel in takšna metoda omogoča, da so prehodi med posameznimi razredi podatkov in rezultatov modela zvezni,



"mehki". Parametre, ki določajo t.i. pripadnostno funkcijo (mejne vrednosti intervalov in "širine" prehodnih območij), lahko v programu CASiMiR nastavi uporabnik sam.

Modul za presojo primernosti habitatov omogoča urejanje mehkih pravil (ang. *fuzzy rules*), ki vrednotijo habitat glede na kombinacijo vrednosti oz. mehkih množic, v katere so obravnavani dejavniki razvrščeni. Npr.: "Če je globina vode visoka in je hitrost toka srednja in je substrat velik, potem je primernost habitata visoka". V modelu je vsakemu elementu oz. celici  $i$  določena vrednost kazalnika habitatne primernosti  $SI_i$  (ang. *habitat suitability index*). Za primer, ko so na voljo podatki o globlinah in hitrostih, Slika 54 ponazarja primer, kako se na podlagi pripadnostnih funkcij in baze pravil določita stopnja pravilnosti pravila A in pravila B (iz baze mehkih pravil) ter končna (skupna) vrednost kazalnika za posamično celico modela.



Slika 54: Shema mehkega inferenčnega stroja (povzeto po Schneider in sod., 2010).

Rezultat habitatnega modela predstavlja polje kazalnikov habitatne primernosti (Slika 53, desno spodaj), ki daje dober vpogled v to, kateri deli preučevanega odseka imajo visoko (oz. nizko, srednjo) habitatno primernost. Tak prostorski pregled je seveda dobrodošel, ne zadošča pa za objektivno oceno habitatne primernosti odseka (ob določenih hidroloških pogojih) v celoti.

T.i. uporabna korigirana površina (WUA; ang. *weighted usable area*) je integralna karakteristika odseka, ki kvantificira habitatno primernost celotnega odseka. Določi se jo po enačbi:

$$WUA = \sum_{i=1}^n A_i \cdot SI_i = f(Q)$$

kjer sta:

- $A_i$  površina  $i$ -te celice
- $SI_i$  kazalnik habitatne primernosti  $i$ -te celice

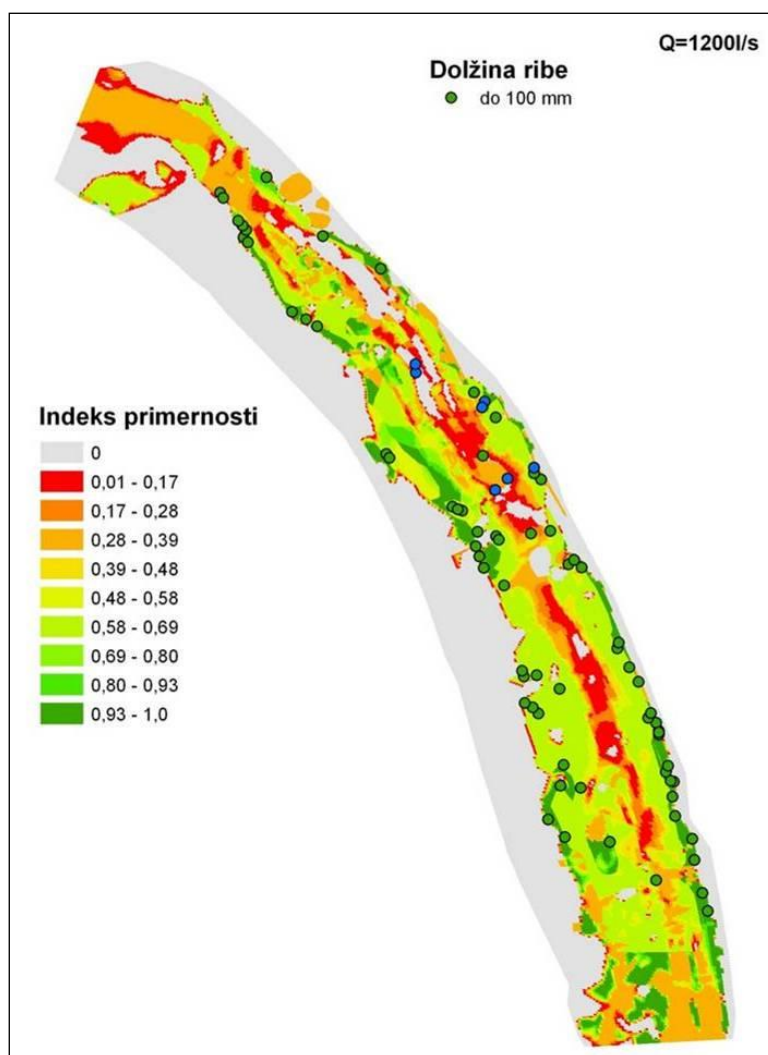
Drug pristop za kvantitativno oceno ovrednotenje habitatne primernosti celotnega odseka je z uvedbo kazalnika hidravlične habitatne primernosti (HHS; ang. *hydraulic habitat suitability index*). Gre pravzaprav za normirano vrednost WUA, saj se izloči vpliv celotne omočene površine. HHS določimo z enačbo:

$$HHS = \frac{1}{\sum_{i=1}^n A_i} \cdot \sum_{i=1}^n A_i \cdot SI_i = f(Q)$$

Obe vrednosti sta dobrodošli za opis razmerja med kakovostjo habitata in pretokom za obravnavan rečni odsek, omogočata pa tudi primerjavo med eventualnimi scenariji in referenčnim primerom.

#### 4.2. Vzpostavitev modela

V prvi fazi smo izdelali preliminarne habitatne modele za vse štiri obravnavane odseke reke Radovne. V programu CASiMiR so bile za model uporabljene privzete vrednosti mejnih intervalov posameznih razredov (mehkih nizov) in privzeta mehka pravila, ki se opirajo na strokovno in znanstveno literaturo o pogojih, ki ribam (ne) odgovarjajo. To strokovno znanje se pretežno nanaša na različno velike vodotoke v Nemčiji.



Slika 55: Grafični prikaz preliminarne rezultatov habitatnega modela Radovna 1b za juvenilne stadije rib.

#### 4.3. Umerjanje habitatnega modela

Za delovanje habitatnega modela je potrebno v prvi fazi pripraviti (definirati) pravila mehke logike - postaviti pripadnost funkcije mehki množici oz. nizu (t.i. »fuzzy sets«) in v nadaljevanju urediti pravila mehke logike – mehka pravila (t.i. *fuzzy rules*), ki vrednotijo ustreznost določenega habitata za ribe.

V nasprotju z nemškim načinom oblikovanja mehkih pravil, kjer strokovnjaki za ribe na podlagi svojih izkušenj napovejo rezultat mehkih pravil, smo rezultat mehkih pravil izračunali na podlagi

dejanskih podatkov o ribah, pridobljenih na terenskih vzorčenjih na odsekih Radovna 1a, 1b in 2b. V nadaljnji fazi umerjanja habitatnega modela smo uporabnost rezultatov preverili na odseku Radovna 2a (verifikacija) in nekatera pravila prilagodili glede na dejansko pojavljanje rib v določenih habitatih.

Za izračun habitatnega modela smo vsak vhodni parameter (hitrost vodnega toka, globina vode, tip substrata, tip skrivališča za ribe) razdelili v razrede glede na mehke nize (*Slika 70*), ki smo jih uporabili za modeliranje.

Na podlagi uporabe definiranih mehkih nizov smo izračunali primernosti habitata za ribe – t.i. »*suitability index*« (SI) na naslednji način:

$$SI_i = RR_i / S_i$$

Kjer so:

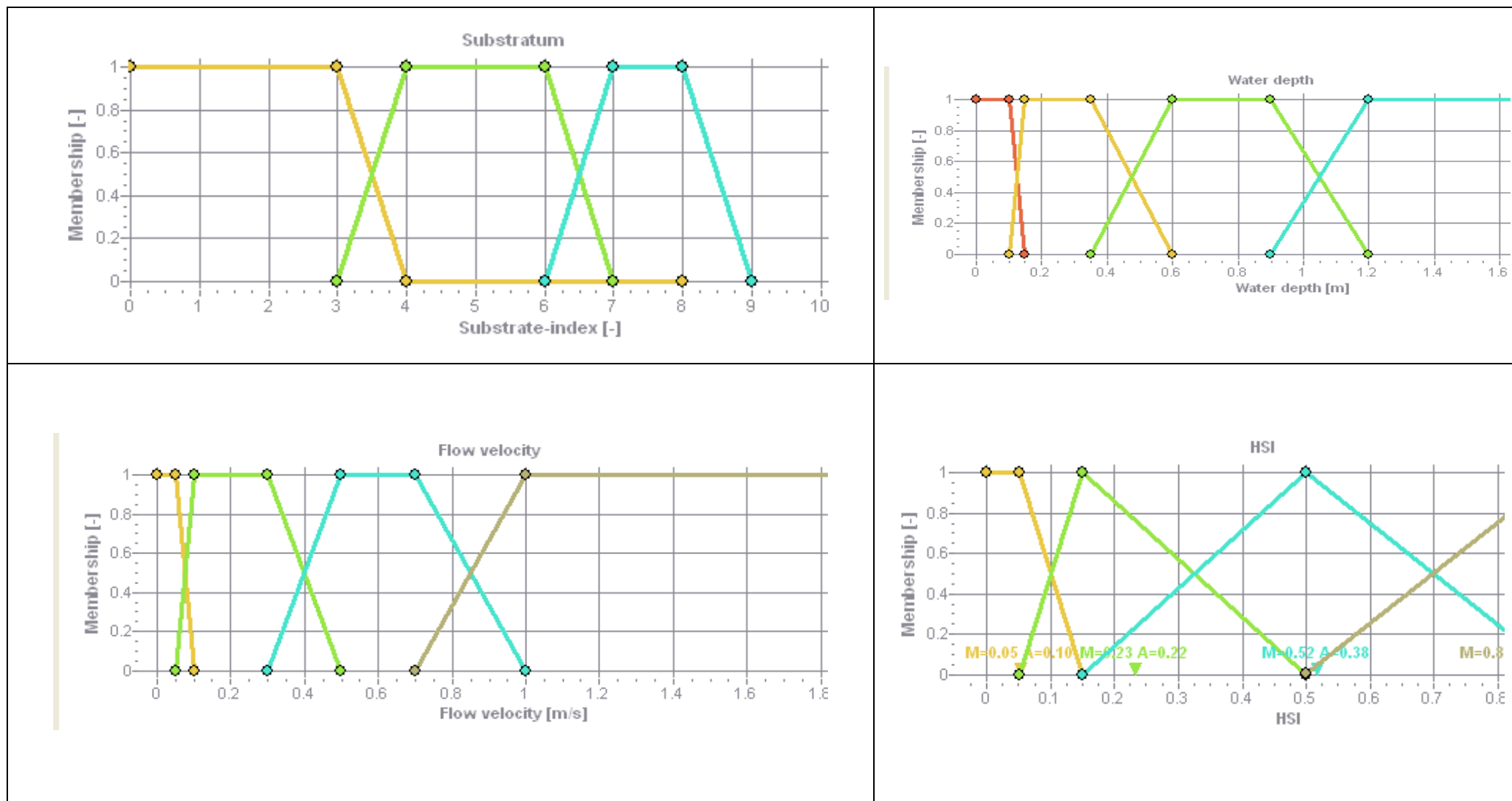
$SI_i$  = primernost habitata za potočne postrvi za  $i$  –to kombinacijo vhodnih parametrov.

$RR_i$  = delež rib, ki je bil najden v okolju z  $i$ -to kombinacijo vhodnih parametrov (npr: pri veliki hitrosti vode, srednji globini vode, na območju manj grobega substrata in pod vejami – v skrivališču),

$S_i$  = delež površine habitata z  $i$ -to kombinacijo vhodnih parametrov, ki je bil ribam na voljo na izbranih odsekih v času terenskega vzorčenja.

SI vrednosti smo v nadaljevanju normalizirali tako, da smo dobili razpon vrednosti primernosti habitata med 0 in 1.

Normaliziranim SI vrednostim za posamezno  $i$  kombinacijo smo z uporabo mehke množice za primernost habitata določili rezultat  $i$  – tega pravila.



Slika 56: Grafični prikaz uporabljenih mehkih nizov (»fuzzy sets«), ki smo jih uporabili za habitatno modeliranje.

Very high				
Water depth [m]				
Membership [-]				
High				
Water depth [m]	0.90	1.20	5.00	
Membership [-]	0.00	1.00	1.00	
Medium				
Water depth [m]	0.35	0.60	0.90	1.20
Membership [-]	0.00	1.00	1.00	0.00
Low				
Water depth [m]	0.10	0.15	0.35	0.60
Membership [-]	0.00	1.00	1.00	0.00
Very low				
Water depth [m]	0.00	0.10	0.15	
Membership [-]	1.00	1.00	0.00	

Very high				
Flow velocity [m/s]	0.70	1.00	5.00	
Membership [-]	0.00	1.00	1.00	
High				
Flow velocity [m/s]	0.30	0.50	0.70	1.00
Membership [-]	0.00	1.00	1.00	0.00
Medium				
Flow velocity [m/s]	0.05	0.10	0.30	0.50
Membership [-]	0.00	1.00	1.00	0.00
Low				
Flow velocity [m/s]	0.00	0.05	0.10	
Membership [-]	1.00	1.00	0.00	
Very low				
Flow velocity [m/s]				
Membership [-]				

Very high				
Substrate-index [-]				
Membership [-]				
High				
Substrate-index [-]	6.00	7.00	8.00	9.00
Membership [-]	0.00	1.00	1.00	0.00
Medium				
Substrate-index [-]	3.00	4.00	6.00	7.00
Membership [-]	0.00	1.00	1.00	0.00
Low				
Substrate-index [-]	0.00	3.00	4.00	8.00
Membership [-]	1.00	1.00	0.00	0.00
Very low				
Substrate-index [-]				
Membership [-]				

Very high				
HSI	0.50	0.90	1.00	
Membership [-]	0.01	1.00	1.00	
High				
HSI	0.15	0.50	0.90	
Membership [-]	0.00	1.00	0.00	
Medium				
HSI	0.05	0.15	0.50	
Membership [-]	0.00	1.00	0.00	
Low				
HSI	0.00	0.05	0.15	
Membership [-]	1.00	1.00	0.00	
Very low				
HSI				
Membership [-]				

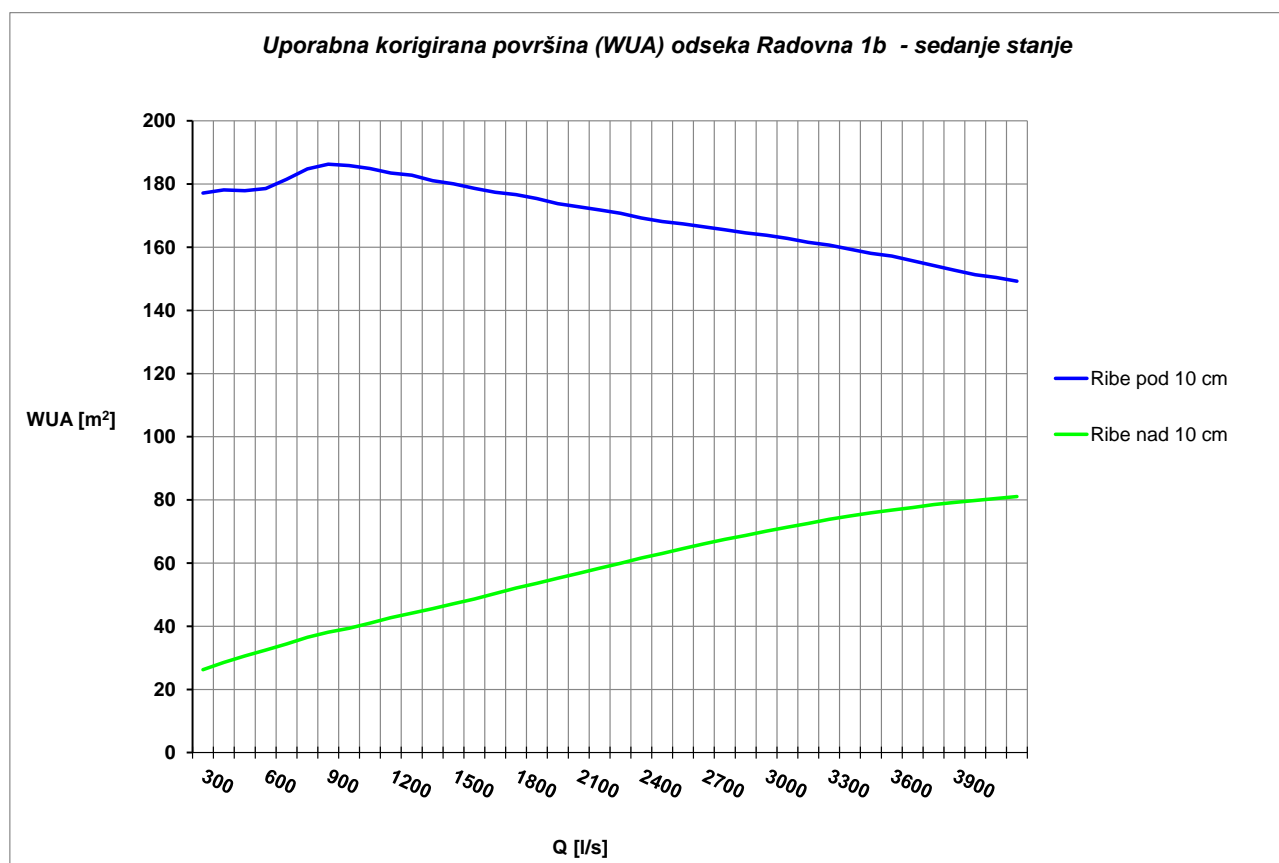
Slika 57: Tabelarni prikaz uporabljenih mehkih nizov (»fuzzy sets«), ki smo jih uporabili za habitatno modeliranje.

## 5. Rezultati in ugotovitve

### 5.1. Sedanje stanje

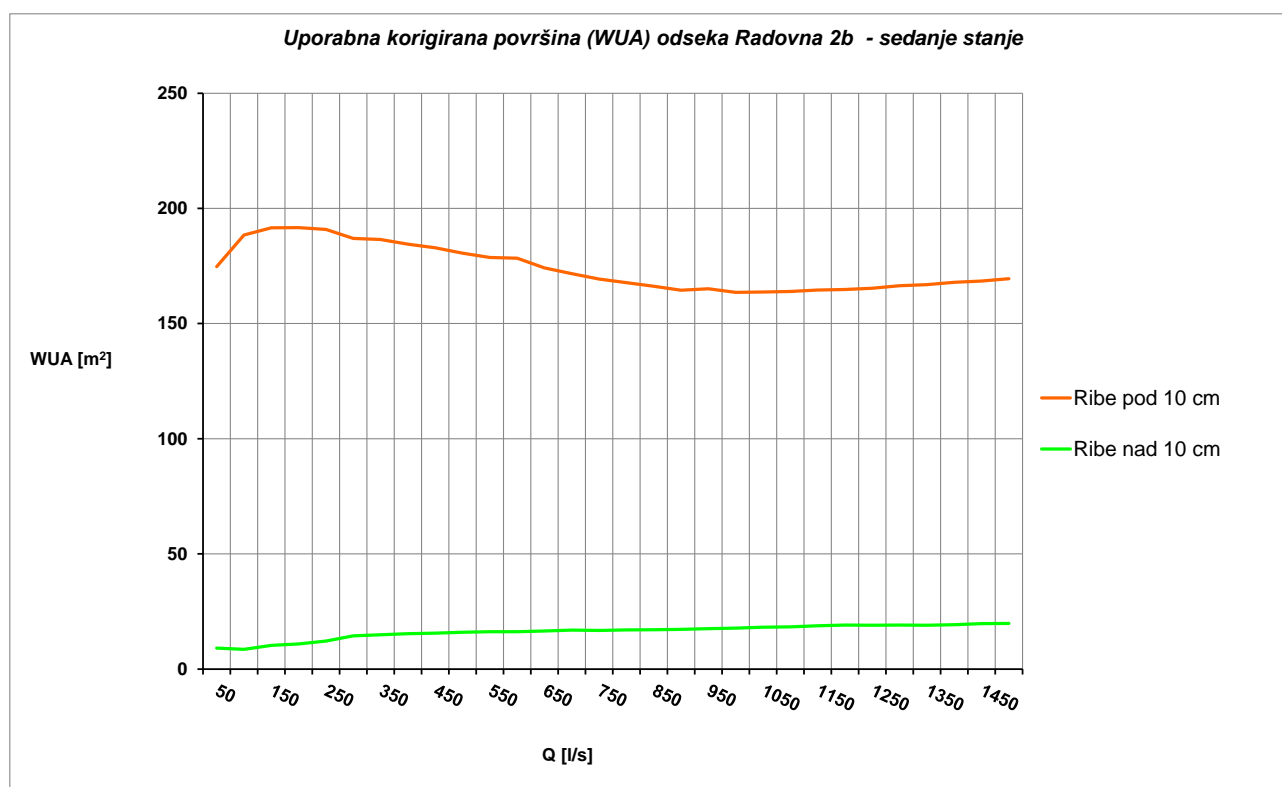
Odseka Radovna 1a in Radovna 1b sta naravna odseka brez obstoječih rab vode in sta izbrana kot referenčna odseka, kjer smo umerjali mehka pravila in nize.

Odsek Radovna 1b je pod vplivom odvzema vode za obratovanje male hidroelektrarne. Glede na rezultat habitatnega modeliranja na podlagi izračuna uporabne korigirane površine (WUA) ugotavljamo, da je primernost za ribe pod 10 cm velikosti pri pretokih okoli 900 l/s do 1100 l/s (Slika 58). Za ribe nad 10 cm ugotavljamo, da primernost narašča s pretokom. Slednje je zlasti posledica dejstva, da večjim ribam ustrezajo višje globine vode, ki pa se na tem odseku pojavijo šele pri višjih (srednjih) pretokih reke Radovne. Glede na skupno spremembo naraščanja in padanja obeh krivulj so primerne količine ohranjenega pretoka ( $Q_{es}$ ) okoli 1000 l/s do 1500 l/s.



Slika 58: Uporabna korigirana površina kot funkcija pretoka – odsek Radovna 1b. Grafični prikaz WUA za ribe pod 10 cm in nad 10 cm za sedanje stanje.

Enake ugotovitve kot za odsek Radovna 1b so tudi za odsek Radovna 2b (Slika 59), ki je prav tako odsek z obstoječo rabo vode za malo hidroelektrarno. Ugotavljamo, da je habitatna primernost za ribe velikosti nad 10 cm slabša kot na odseku Radovna 1a. Ta ugotovitev je posledica dejstva, da je odsek Radovna 1b gorvodni odsek in kot tak manj vodnat in z nižjimi gladinami vode. Glede na skupno spremembo naraščanja in padanja obeh krivulj se primerne količine ohranjenega pretoka ( $Q_{es}$ ) okoli 400 l/s.



Slika 59: Uporabna korigirana površina kot funkcija pretoka – odsek Radovna 2b. Grafični prikaz WUA za ribe pod 10 cm in nad 10 cm za sedanje stanje.

## 5.2. Analiza ukrepov in ureditev

Zaradi preveritve izvedbe možnih omilitvenih ukrepov za izboljšanje habitatne primernosti (Radovna 1b) in za preveritev predvidenih protierozijskih ukrepov (Radovna 1a) smo izvedli dodatno hidravlično in habitatno modeliranje z upoštevanjem predvidenih ukrepov.

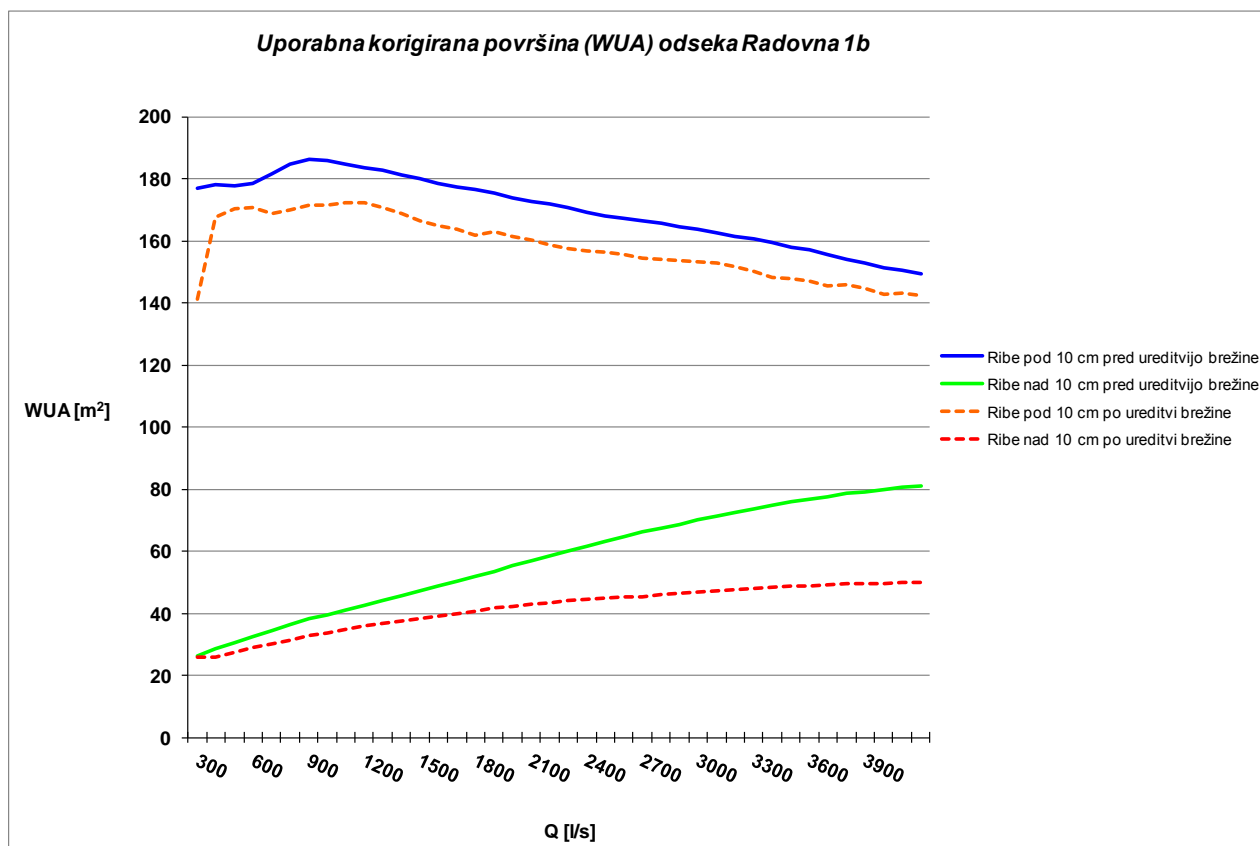
### 5.2.1. Odsek Radovna 1b

Leva brežina odseka je pod vplivom erozije, zato smo zaradi možne problematike stabilnosti leve brežine modelirali izvedbo utrditve leve brežine in ugotavljali spremembe hidroloških parametrov po izvedbi betoniranega zidu.

Na odseku Radovna 1b smo preverili vpliv umestitve okoli 50 m dolge betonirane utrditve leve brežine, ki ni izvedena sonaravno. Hidravlični model smo dopolnili z modeliranim zidom; posledično se je spremenila tudi hrapavost struge (zmanjšanje koeficienta hrapavosti). S hidravličnim modelom smo izvedli izračun hitrosti vodnega toka pri različnih pretokih (enako kot za sedanje stanje). Za potrebe modeliranja smo spremenili sloj skrivališč, ki se v območju utrditve po izvedbi le-te izgubijo.

Na sliki (Slika 55) je prikazana dejanska razporeditev potočnih postrvi, manjših od 10 cm, na odseku Radovna 1b na dan vzorčenja 25.10. 2012 in izračunana primernost habitatov za juvenilne stadije rib pri pretoku 1200 l/s. S slike je razvidno, da se za juvenilne ribe največji delež primernih habitatov pri obravnavanem pretoku nahaja ob brežinah, kjer je tok vode počasnejši in globina vode manjša. Dejanska porazdelitev rib v strugi Radovne se dobro ujema z izračunom habitatnega modela pri obravnavanem pretoku, ob uporabljenih mehkih pravilih habitatnega modela, ki so prilagojena preferencam populacije potočne postrvi, ki poseljuje reko Radovno.

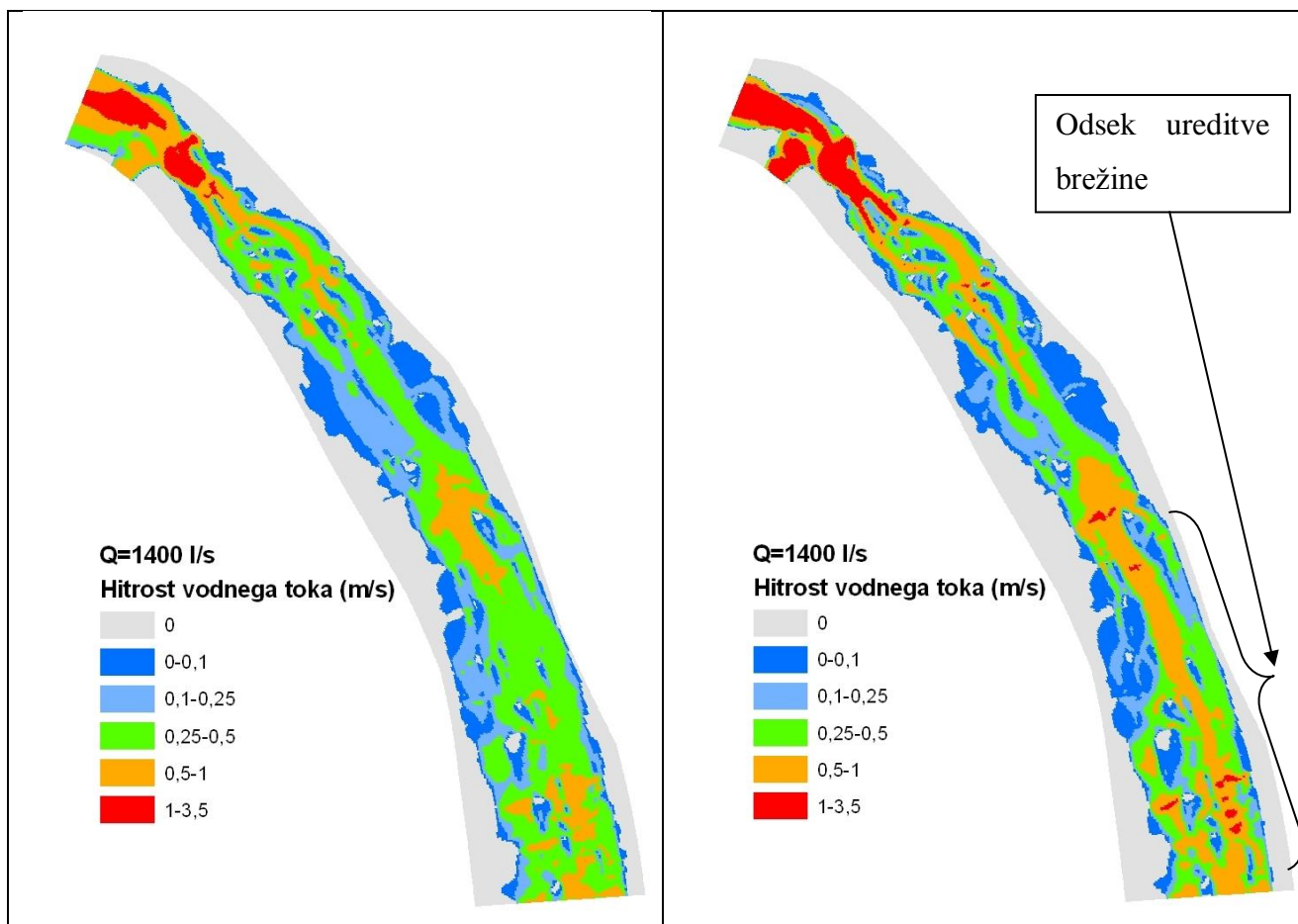
Iz grafične primerjave uporabne korigirane površine habitatov za ribe (WUA) na odseku Radovna 1b, za sedanje stanje in stanje po ureditvi brežine (Slika 60), je razvidno, da se je po modeliranju umestitve okoli 50 m dolge regulirane brežine, ki ni izvedena sonaravno, zmanjšala vrednost WUA, kar kaže na trend poslabšanja stanja habitatov za ribe (predvsem za velike ribe). Za primerjavo spremembe habitatov po regulaciji brežine Radovne smo izbrali dva velikostna razreda rib, in sicer ribe manjše od 10 cm ter ribe večje od 10 cm.



Slika 60: Uporabna korigirana površina kot funkcija pretoka – odsek Radovna 1b. Grafični prikaz WUA za ribe pod 10 cm in nad 10 cm pred izvedbo in po izvedbi utrjevanja brežine.

Primerjava sedanjega stanja s stanjem po izvedbi stabilizacije leve brežine pri pretoku  $Q = 1400$  l/s je pokazala, da bi se v primeru izvedbe stabilizacije brežine hitrosti vodnega toka povečale in gladine vode znižale na celotnem odseku (Slika 74).



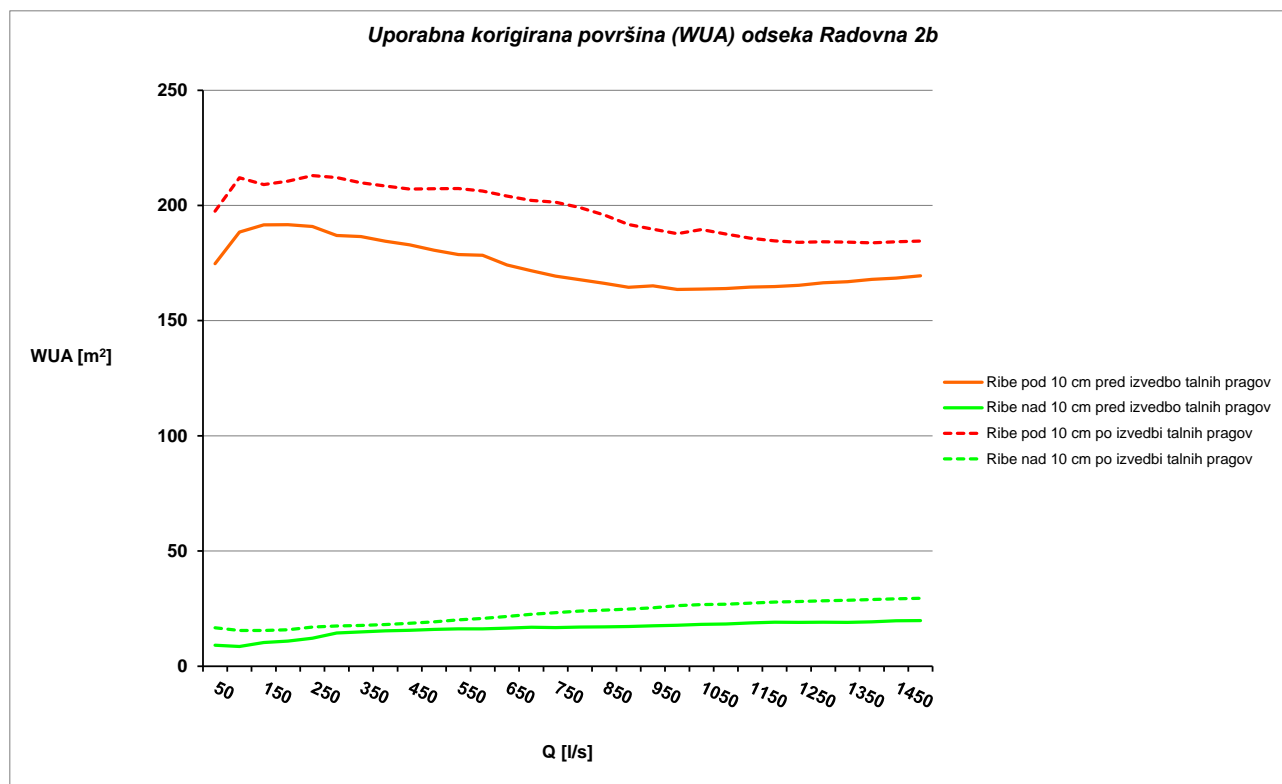


Slika 61: Grafična primerjava hitrosti vodnega toka (m/s) na odseku Radovna 1b pri obstoječem stanju (levo) in v primeru regulacije leve brežine na spodnji tretjini odseka (desno).

Ker gre pri takšnem posegu za poslabšanje habitata za ribe, bo v primeru načrtovanja urejanja leve brežine kot omilitveni ukrep treba načrtovati sonaravno ureditev leve brežine, s katero se bo zmanjšalo pretočnost in zagotovilo ohranjanje skrivališč.

### 5.2.2. Odsek Radovna 2b

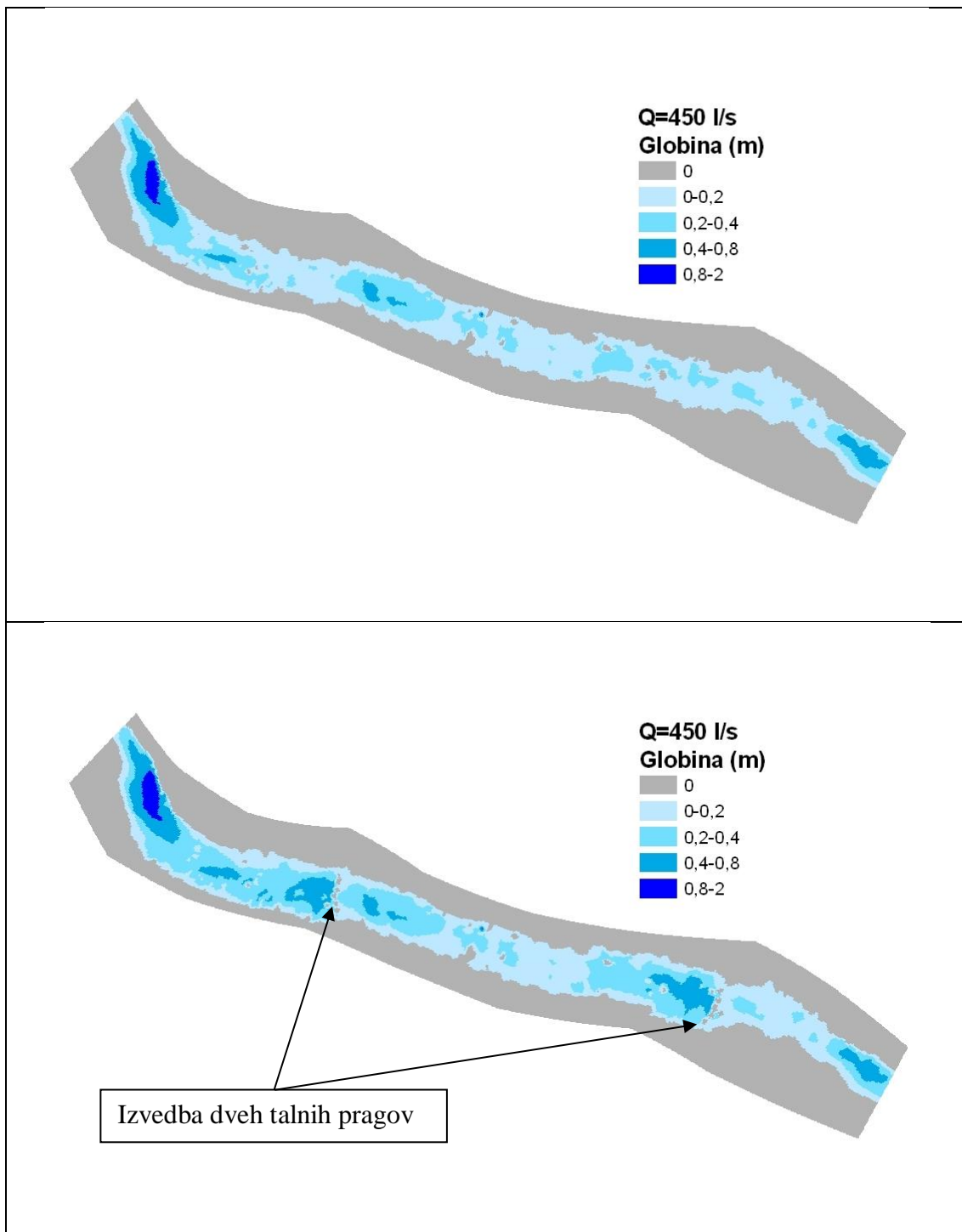
Na odseku Radovna 2b smo z namenom izboljšanja habitatne primernosti preverili vpliv umestitve dveh pragov s stopnjo 15 cm, ki bi bila po celotni širini struge izvedena sonaravno – v kombinaciji z manjšimi skalami samicami. Hidravlični model smo dopolnili z modeliranima prelivnima pragovoma in z vnosom skal samic. Sloja substratov in skrivališč se nista spreminjala. Rezultati hidravličnega modeliranja pri enaki seriji pretokov kot za sedanje stanje so pokazali spremembe predvsem v globinah vode. Primerjava uporabne korigirane površine habitata za ribe (WUA) na odseku Radovna 2b pred in po izvedbi prelivnih pragov (Slika 62) je pokazala pozitiven vpliv posega na WUA in s tem primernost habitatov za velike in male ribe.



Slika 62: Uporabna korigirana površina kot funkcija pretoka – odsek Radovna 2b. Grafični prikaz WUA za ribe pod 10 cm in nad 10 cm pred izvedbo in po izvedbi dveh talnih pragov v strugi.

Primerjava sedanjega stanja s stanjem po izvedbi dveh prelivnih pragov, obloženih s skalami, pri pretoku  $Q = 450$  l/s, je pokazala, da bi se v primeru izvedbe pragov globine vode povečale na daljšem odseku 2b (Slika 63). Največje povečanje globine vode bi bilo neposredno nad posameznim prelivnim pragom, dolgoročno pa je zaradi hidravličnih procesov mogoče pričakovati tudi tvorbo tolmuna dolvodno od prelivnih pragov.

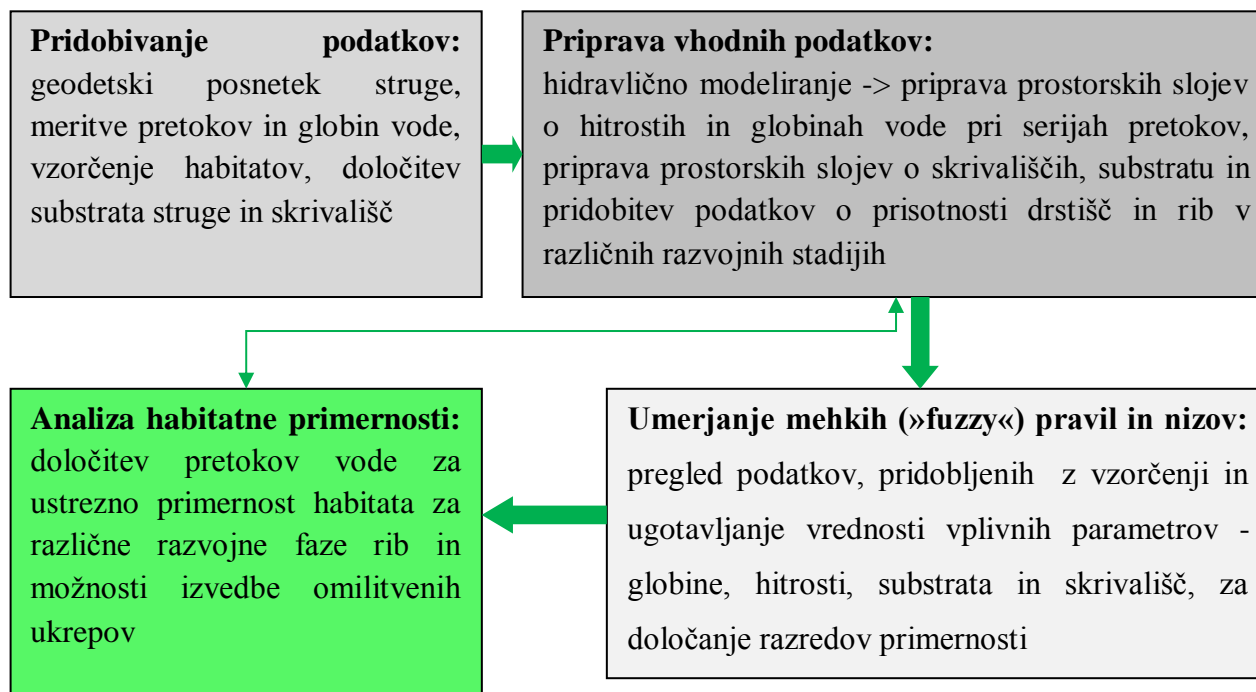
Glede na dodatne hidravlične izračune taki manjši ukrepi zanemarljivo vplivajo na pretočnost struge ob visokovodnih dogodkih. Zaradi pojava tolmunov tik pod pragovi je treba pragove ustrezno temeljiti.



Slika 63: Grafična primerjava globin vode (m) na odseku Radovna 2b pri obstoječem stanju (zgoraj) in v primeru regulacije leve brežine na spodnji tretjini odseka (spodaj).

### 5.3. Okvirni postopek izvedbe habitatnega modeliranja

Glavni del projekta je bila preveritev izdelanega postopka in aplikacija habitatnega modeliranja na testnih območjih ter določitev ustrezne metodologije (postopka) za izvedbo in analizo na drugih odsekih, zlasti na odsekih, kjer je mogoče umeščanje nove rabe vode v prostor ali kjer se želi doseči izboljšanje stanja pri obstoječih rabah vode. Na podlagi habitatnega modeliranja je mogoče določiti količine vode, ki jih je treba ohraniti v vodotoku ( $Q_{es}$ ) in omilitvene ukrepe, s katerimi se lahko izboljša habitatna primernost. Slika 64 prikazuje osnovni postopek pristopa k habitatnemu modeliranju z uporabo pravil mehke logike.



Slika 64: Prikaz osnovnega procesa za izvedbo habitatnega modeliranja s pristopom mehke (»fuzzy«) logike

Ne glede na to, da gre za prvi tovrsten izveden projekt v Sloveniji, je bilo mogoče na podlagi rezultatov tega ciljnega raziskovalnega projekta izdelati strokovne usmeritve za nadaljnje raziskave in konkretno habitatno modeliranje v prihodnosti. Za uporabo izdelanega pristopa pri ugotavljanje vpliva rabe vode in za načrtovanje ukrepov za izboljšanje habitatne primernosti v primeru že podeljenih vodnih pravic je na vplivnem odseku treba:

1. Zagotoviti vsaj dva hidromorfološko podobna odseka za izvedbo analize, ki ustrezno zajemata hidromorfološko stanje vplivnega odseka. En odsek se določi znotraj vplivnega območja načrtovanja, drugi kontrolni pa neposredno gor ali dolvodno od prvega odseka, kjer se ne načrtuje raba in tudi ni prisotna druga raba vode, pri kateri se jemlje voda iz osnovne struge. Praviloma se lahko kot drug kontrolni odsek uporablja referenčni odsek, določen v skladu s predpisi o vodah.
2. Izvesti dovolj podrobno geodetsko izmero izbranega odseka, pri čemer je treba zajeti bistvene hidromorfološke spremembe in karakteristike struge in brežin, ki vplivajo na tok in globino vode pri nižjih pretokih ( $sQ_{np}$ ).
3. Zagotoviti, da so pridobljeni podatki o upoštevanih parametrih prostorsko natančno zajeti. Zahtevan nivo natančnosti je pogojen predvsem s pričakovano natančnostjo izvedenega hidravličnega modeliranja. Če so na primer celice hidravličnega modela določene z

- velikostjo 10 cm, morajo biti tudi podatki o ostalih parametrih (substrat, skrivališča idr.) zajeti najmanj s to natančnostjo.
4. Za vodotoke, kjer je izrazit dvodimenzionalni tok (zožitve in razširitve struge, skale samice) je treba hidravlično modeliranje izvesti na podlagi dvo-dimenzionalnega numeričnega matematičnega modela.
  5. Določiti vsaj eno reprezentativno ribjo vrsto za analiziran odsek in izvesti vzorčenje kot podlago za pripravo preferenčnih krivulj za izbrane posamezne vplivne parametre. Preferenčne krivulje so tudi podlaga za določanje pravil in nizov mehke logike. Ker je ta projekt zagotovil preferenčne krivulje in mehka pravila za ribjo vrsto potočna postrv, se pri analizah, pri katerih se kot reprezentativna vrsta določi potočna postrv, lahko uporabijo rezultati tega projekta. Vseeno pa je treba zaradi verifikacije izvesti vsaj dve vzorčenji (vsaj vizualni cenzus) pri dveh različni pretokih.
  6. Pri analizah odsekov manjših vodotokov ali vodotokih z izrazito prodonosnostjo in erozijo se mora pridobivanje podatkov izvesti v kratkem času (med dvema visokovodnima dogodkoma). Namreč, pri takih vodotokih lahko prihaja do hitrih lokalnih sprememb morfologije in posledično drugačne hidromorfologije, kar lahko vpliva na pravilno umerjanje.
  7. Izdelati je treba preferenčne krivulje ter na podlagi izbranega modela vrednotenja in določanja habitatne primernosti določiti območje pretoka, ki zagotavlja habitatno primernost in to za različne razvojne stadije reprezentativne ribje vrste (npr. mladice in odrasle ribe) in vsaj za dve letni obdobji (vodnato in sušno obdobje).
  8. Na podlagi strokovne presoje stanja vodotoka, trenutnega stanja tehnike in habitatnega modeliranja se lahko določijo ustrezne količine ohranjenega pretoka vode oziroma predlagajo omilitveni ukrepi za izboljšanje habitatne primernosti. Merilo za določanje izboljšanja habitatne primernosti je upoštevanje vrednosti habitatne primernosti pri trenutnem stanju.

Rezultati habitatnega modeliranja po tej opravljeni fazi aplikativnih raziskav pri vpeljavi v prakso še ne morejo biti obvezujoči pri odločanju, so pa zelo dobra strokovna podlaga pri odločanju.

#### **5.4. Diseminacija ugotovitev in rezultatov projekta**

Z namenom predstavitve poteka izvajanja ciljnega raziskovalnega projekta širši zainteresirani javnosti smo po pridobitvi rezultatov habitatnega modeliranja:

1. v sodelovanju z Ministrstvom za kmetijstvo in okolje, Fakulteto za gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani in Agencijo RS za okolje smo se udeležili delavnice SEE Hydropower dne 28.03. 2012,
2. se s prispevkom in ustno predstavitvijo udeležili strokovnega srečanja, 23. Mišičevega vodarskega dne, ki je bil 06.12. 2013 v Mariboru
3. s posterjem (ob katerem smo odgovarjali na vprašanja) in s kratkim povzetkom rezultate predstavili na simpoziju European Geosciences Union (EGU) General Assembly 2013 na Dunaju (07. - 12.04. 2013),
4. izdali poljudni prispevek o izvajanju raziskovalnega projekta v reviji Ribič (september 2013).

## 6. Zaključek

Vse opravljeno raziskovalno delo je bilo načrtovano in izvedeno z usklajenim sodelovanjem obeh institucij, Fakultete za gradbeništvo in geodezijo - Katedre za mehaniko tekočin z laboratorijem in Zavoda za ribištvo Slovenije. Interdisciplinarno in interinstitucionalno sodelovanje je potekalo zelo uspešno, saj so se znanja iz obeh institucij povezovala in nadgrajevala, hkrati pa so se v slovenski prostor prenašale izkušnje iz držav alpskega sveta. Obveščanje zainteresiranih institucij in javnosti o ugotovitvah in rezultatih je potekalo preko dveh objav, sodelovanja na dveh konferencah in delavnici.

V začetni fazi projekta smo modificirali izbor testnih odsekov vodotoka, saj smo ugotovili, da Radovna s svojim prispevnim območjem izpolnjuje vse pogoje za izbiro ustreznih, raznolikih štirih odsekov. Zato so bile vse predvidene aktivnosti izvajane na štirih odsekih Radovne in ne na dveh odsekih Radovne in na dveh odsekih nekega drugega vodotoka z drugačnim vodozbornim prispevnim območjem, kot je bilo sprva načrtovano. Zamenjava testnih odsekov ni vplivala na količino načrtovanega dela in dosego zastavljenih ciljev, ugotovljena možnost analiz na več zaporednih odsekih istega vodotoka pa je dodala dodatne ugotovitve o spreminjanju merodajnih pretokov vzdolž vodotoka.

V začetni fazi smo pripravili vse podatke, ki so potrebni za vzpostavitev habitatnega modela. Na vseh odsekih smo popisali substrat in skrivališča za ribe. Pri hidravličnem modeliranju smo izvedli tudi umerjanje in verifikacijo. Izdelali smo preliminarne habitatne modele, ki vključujejo dejanske vhodne podatke (obravnava izbranih odsekov reke Radovne: podatki, pridobljeni s terenskimi meritvami, popisi, hidravličnim modeliranjem) in temeljijo na privzeti bazi pravil mehke logike (veljajo za pretežno nemško okolje). V nadaljevanju projekta je bil habitatni model umerjen (umerjanje preferenčnih krivulj ter pravil in nizov mehke logike), pri čemer so se upoštevali rezultati vseh vzorčenj rib. Izvedli smo tudi dodatno hidravlično in habitatno modeliranje dveh odsekov z obstoječo rabo vode, kjer smo predvideli bodoče stanje na podlagi načrtovanih ukrepov. Proti koncu projekta je bila izvedena primerjalna analiza rezultatov za sedanje in bodoče stanje glede izboljšanja oziroma poslabšanja habitatne primernosti. Ob zaključku projekta se je pripravil okvirni postopek za izvajanje analize habitatne primernosti za bodoče stvarne projekte.

Na podlagi *Podrobnejšega programa izvajanja projekta* smo izvajali aktivnosti v obsegu projekta. Bistvenih odstopanj od načrtovanega obsega projekta ni bilo, podcenjeno pa je bilo pridobivanje podatkov s terenskim vzorčenjem in meritvami, za katero je bilo potrebnega bistveno več časa in terenskega dela, kot je bilo predvidenega po programu. Namreč, vsi podatki, ki so potrebni za izvedbo habitatnega modeliranja, morajo biti prostorsko natančno pridobljeni, saj je pri analizi pomembno prekrivanje vrednosti posameznih vplivnih parametrov. V določeni točki analiziranega odseka vodotoka morajo biti pridobljeni podatki pravilni iz več uporabljenih slojev, kar pomeni, da ne sme prihajati do bistvenih prostorskih zamikov med posameznimi podatki. Tako se mora na primer tip substrata na terenu dejansko umestiti v prostorsko točko, kjer je ugotovljen na podlagi terenske raziskave.

Ugotavljamo, da je treba geodetski posnetek struge in brežin analiziranih odsekov vodotokov posneti zelo natančno, saj gre pri habitatnem modeliranju zlasti za analizo nizkih pretokov in globin vode, ki zelo variirajo. Prve geodetske meritve, ki smo jih izvedli, niso bile zadovoljive in je bilo

treba za izdelavo hidravličnih modelov izvesti dodatne meritve geodetskih točk, zlasti v območjih skal samic in bolj grobega sedimenta (premer proda, ki je večji od 20 cm). Prav tako je bilo treba za potrebe verifikacijskih podatkov pri umerjanju habitatnega modela izvesti dodatno vzorčenje z elektroizlovom rib in z opazovanjem z brežin (vizualni cenzusi).

Ob zaključku izvajanja projekta lahko povzamemo, da bodo rezultati, ki smo jih pridobili z izvajanjem projekta, v prihodnosti lahko podlaga za odločanje o novem umeščanju rab vode in pri načrtovanju omilitvenih ukrepov za potočno postrv pri različnih posegih v vodotoke oziroma za izboljšanje habitatne primernosti. Rezultati tega projekta so prvi tovrstni aplikativni poskus habitatnega modeliranja v Sloveniji, zato bi bilo nujno nadaljevati z začetim delom in razvojem metode. Habitatno modeliranje, ki predstavlja objektivni pristop k vrednotenju vplivov rabe vode in načrtovanju urejanja vodotokov, bi bilo treba v prihodnosti razširiti na različne tipe vodotokov in posledično na druge reprezentativne vrste rib.

## 7. Literatura

- Cunjak, R.A., Power, G., 1986. Winter Habitat Utilization by Stream Resident Brook Trout (*Salvelinus fontinalis*) and Brown Trout (*Salmo trutta*). Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 1986, 43(10): 1970-1981, 10.1139/f86-242
- Fausch, K.D., R.J., 1981. Competition Between Brook Trout (*Salvelinus fontinalis*) and Brown Trout (*Salmo trutta*) for Positions in a Michigan Stream. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 1981, 38(10): 1220-1227, 10.1139/f81-164.
- Hearn, W.E., Kynard, B.E. 1986. Habitat utilization and behavioural interaction of juvenile Atlantic salmon (*Salmo salar*) and rainbow trout (*S. gairdneri*) in tributaries of the White River of Vermont. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 43, pp. 1988-1998.
- Heggenes, J., 1988. Physical Habitat Selection by Brown Trout (*Salmo trutta*) in Riverine Systems. Nordic Journal of Freshwater Research No. 64, p 74-90, 1988.2 tab, 66 ref.
- Heggenes, J., 1994. Physical habitat selection by brown trout (*Salmo trutta*) and atlantic salmon (*S. salar*) in spatially and temporally heterogeneous streams: implications for hydraulic modelling. Proc. Of the first international simposium on habitat hydraulics Norv. Inst. Of Technology, Trondheim, Norway, 12 – 30.
- Jia, Y., Wang, S.S.Y., 2001. CCHE2D: Two-dimensional Hydrodynamic and Sediment Transport Model for Unsteady Open Channel Flow Over Loose Bed. NCCHE Technical Report. NCCHE-TR-2001-01.
- Konar, M., Mikula, K., Podgornik, S., Honsig-Erlenburg, W., Tavčar, T., Lorenz, E., Ramšak, L., Snoj, A., Bravničar, J., Lewitschnig, H., 2013. Karafish - Höhenverbreitung der Bachforelle und Vorkommen der Koppe in den Karawanken; Razširjenost potočne postrvi v Karavankah v odvisnosti od nadmorske višine in navzočnost kaplja. AKL, Abteilung 8, Kompetenzzentrum für Umwelt, Wasser und Naturschutz in Zavod za Ribištvo Slovenije, Klagenfurt am Wörthersee
- Mortensen, E., 1977. Density-dependent mortality of trout fry (*Salmo trutta* L.) and its relationship to the management of small streams. Journal of Fish Biology, Volume 11, Issue 6, pages 613–617, December 1977
- Nielsen, G., 1986. Dispersion of brown trout (*Salmo trutta* L.) in relation to stream cover and water depth. Polskie Archiwum Hydrobiologii/Polish Archives of Hydrobiology. Vol. 33, no. 3-4, pp. 475-488. 1986.
- Povž M., Sket B., 1990. Naše sladkovodne ribe., Mladinska knjiga. Ljubljana.
- Rojko, A., 2002. Položajno vodenje nelinearnih mehanizmov z uporabo mehke logike. Doktorska disertacija, Maribor, 120 f.
- Schneider, M., 1999. Field study and use of the simulation model CASIMIR for fish habitat forecasting in Brenno river. Proceedings, Ecohydraulics, Salt Lake City
- Schneider, M., Noack, M., Gebler, T., Kopecki, I., 2010. Handbook for the Habitat Simulation Model CASiMiR.

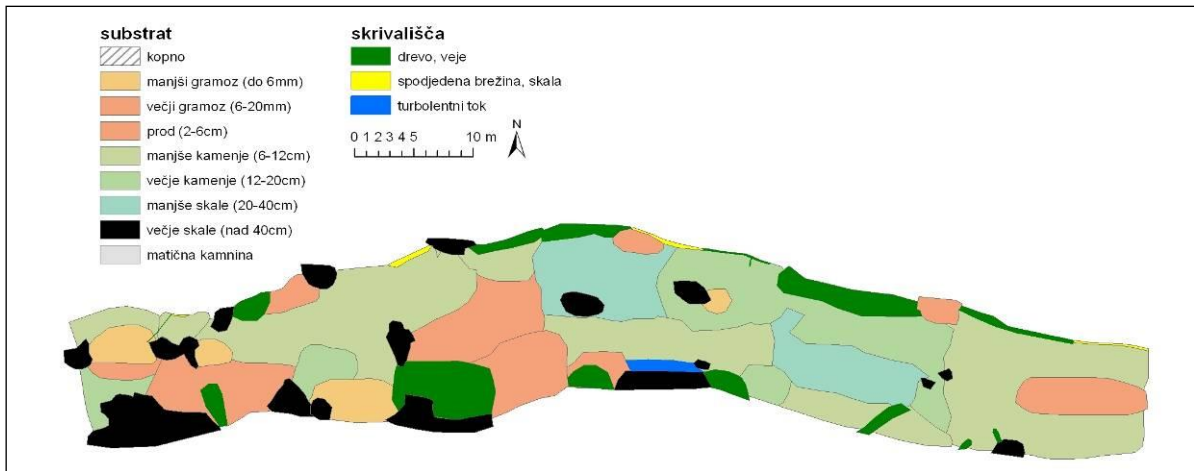


- Vismara, R., Azzellino, A., Bosi, R., Crosa, G. and Gentili, G., 2001. Habitat suitability curves for brown trout (*Salmo trutta fario* L.) in the River Adda, Northern Italy: comparing univariate and multivariate approaches. *Regul. Rivers: Res. Mgmt.*, 17: 37–50
- Zhang, Y, Jia, Y., and Wang, S.S.Y., 2011. Development and Application of GIS Module in NCCHE Modeling System. *World Environmental and Water Resources Congress 2011*, pp. 1934-1942.

## Priloge

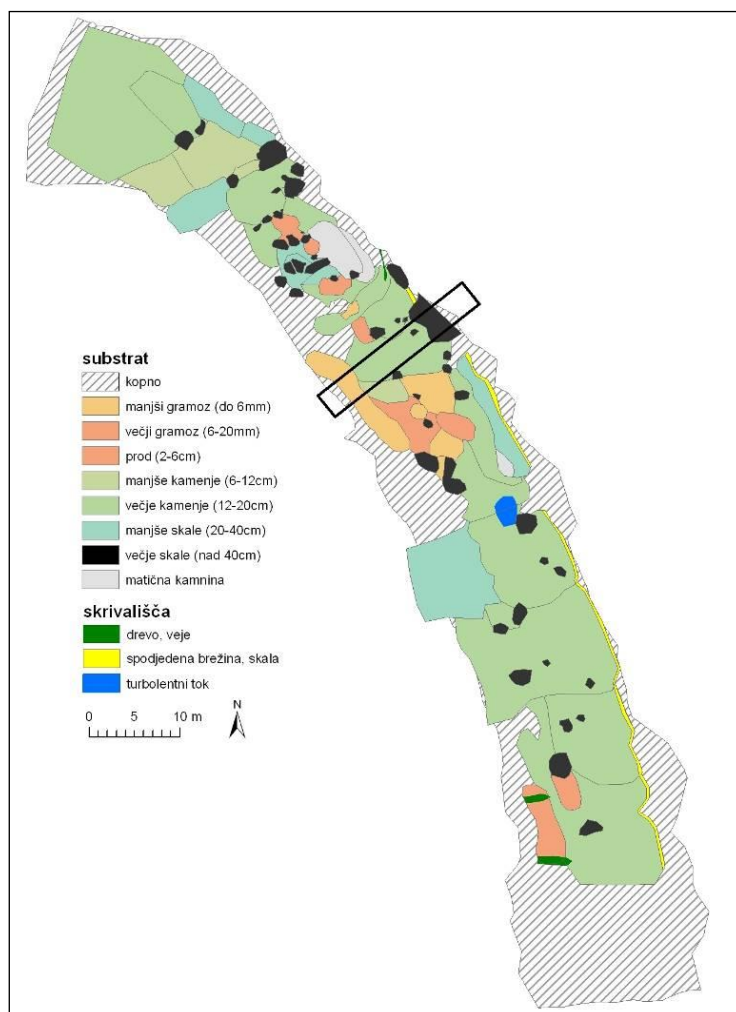
### PRILOGA A: Substrat in skrivališča za ribe

#### Priloga A.1: Radovna 1a

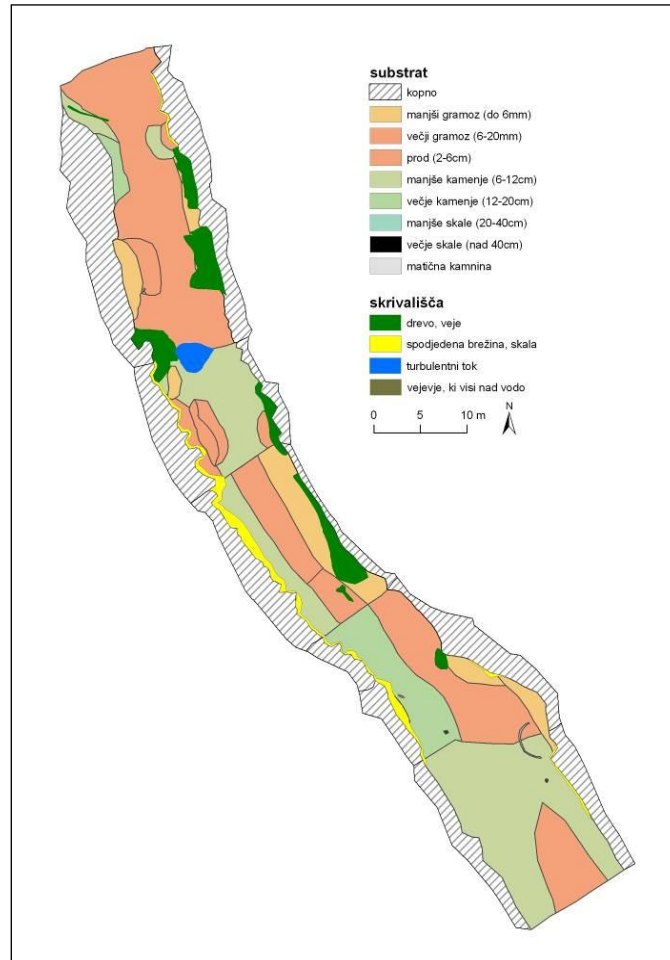


Slika 65: Substrat in skrivališča na odseku Radovna 1a.

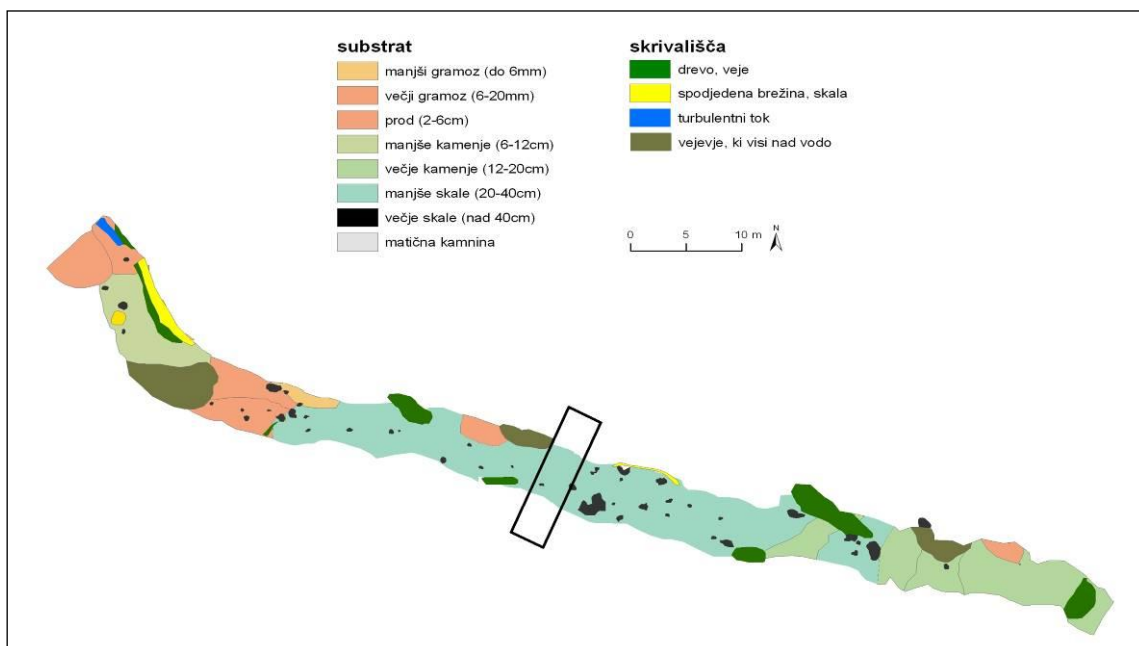
#### Priloga A.2: Radovna 1b



Slika 66: Substrat in skrivališča na odseku Radovna 1b.

**Priloga A.3: Radovna 2a**

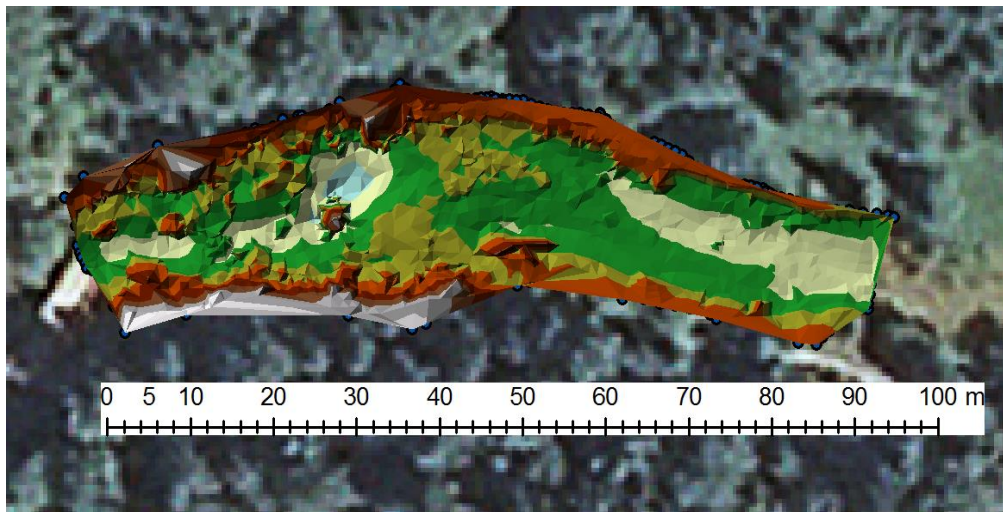
Slika 67: Substrat in skrivališča na odseku Radovna 2a.

**Priloga A.4: Radovna 2b**

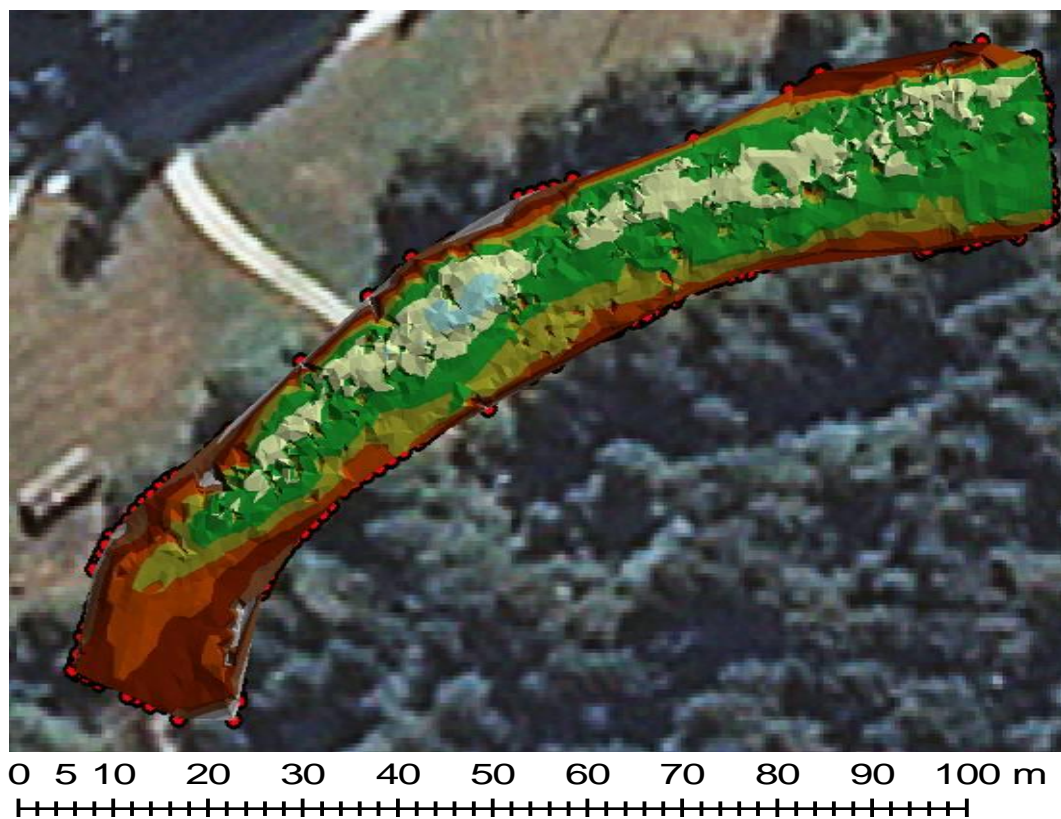
Slika 68: Substrat in skrivališča na odseku Radovna 2b.

**PRILOGA B: Vzpostavitev hidravličnega modela**

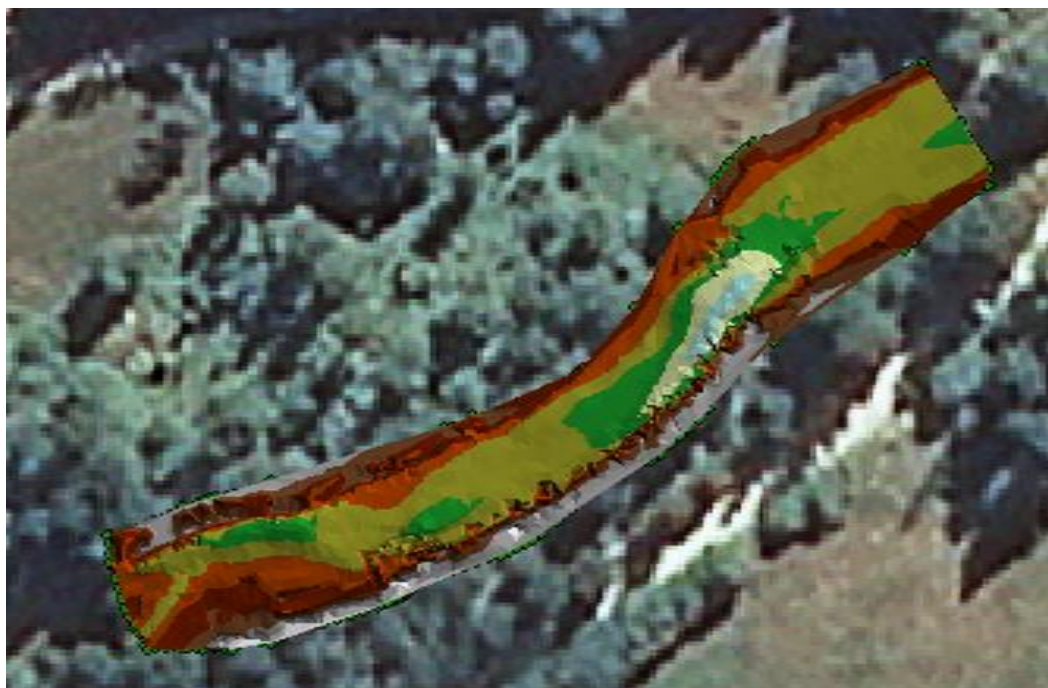
*Priloga B.1: Model batimetrije struge*



*Slika 69: Model batimetrije za odsek Radovna 1a*

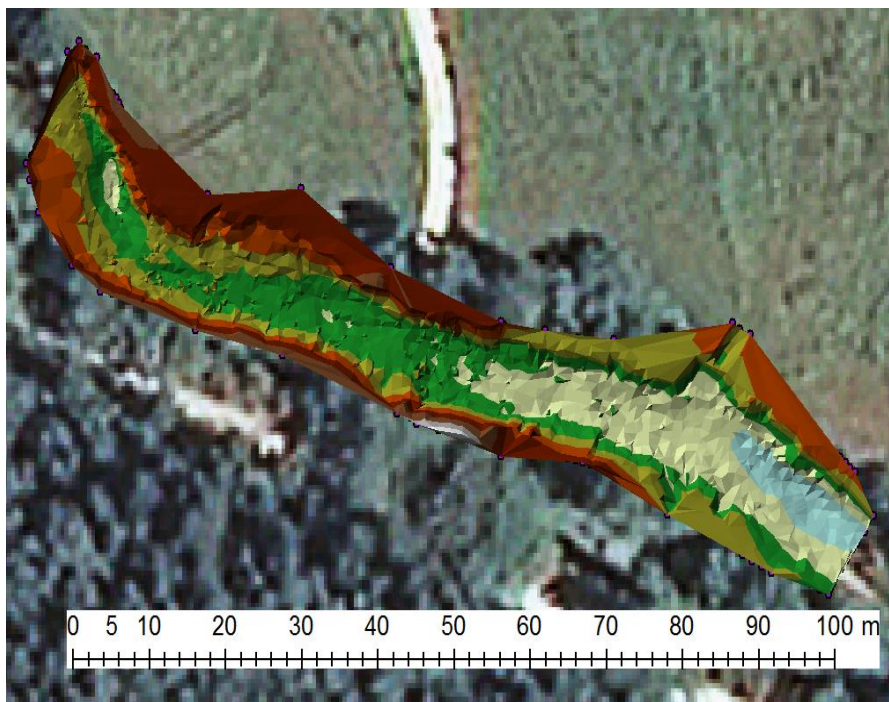


*Slika 70: Model batimetrije za odsek Radovna 1b*



0 5 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 m

*Slika 71: Model batimetrije za odsek Radovna 2a*



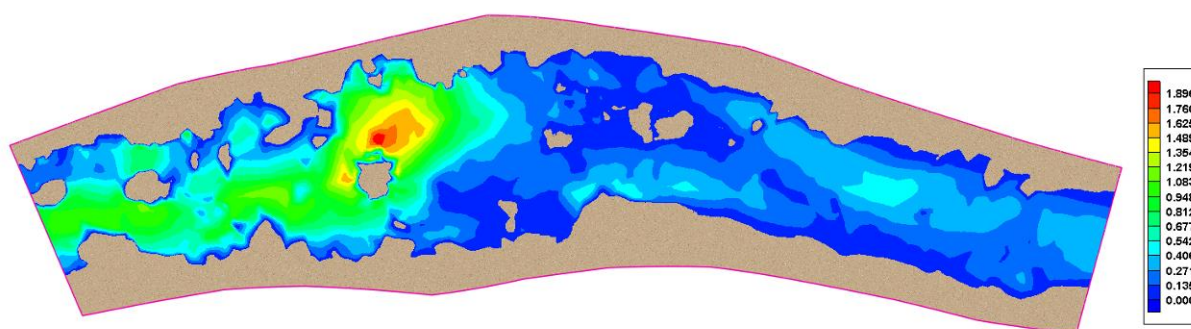
0 5 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 m

*Slika 72: Model batimetrije za odsek Radovna 2b*

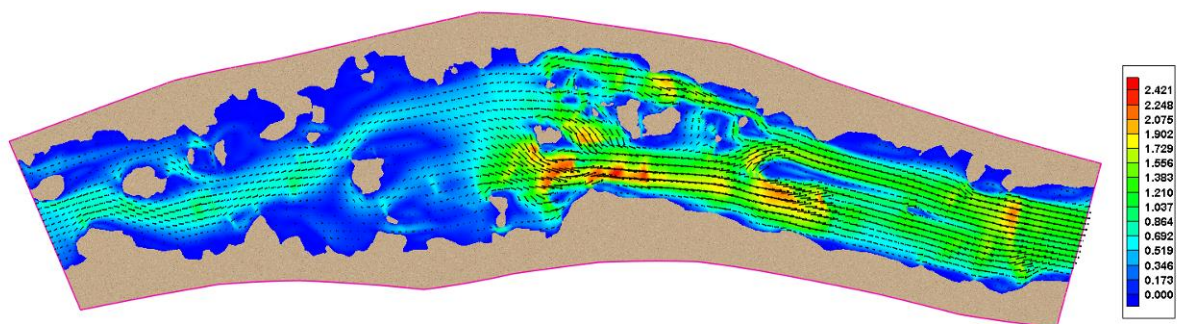
**Priloga B.2: Preliminarni rezultati hidravličnega modela**

Preglednica 9: Vrednosti pretokov, ki so bili določeni kot gorvodni robni pogoj v preliminarnih hidravličnih modelih.

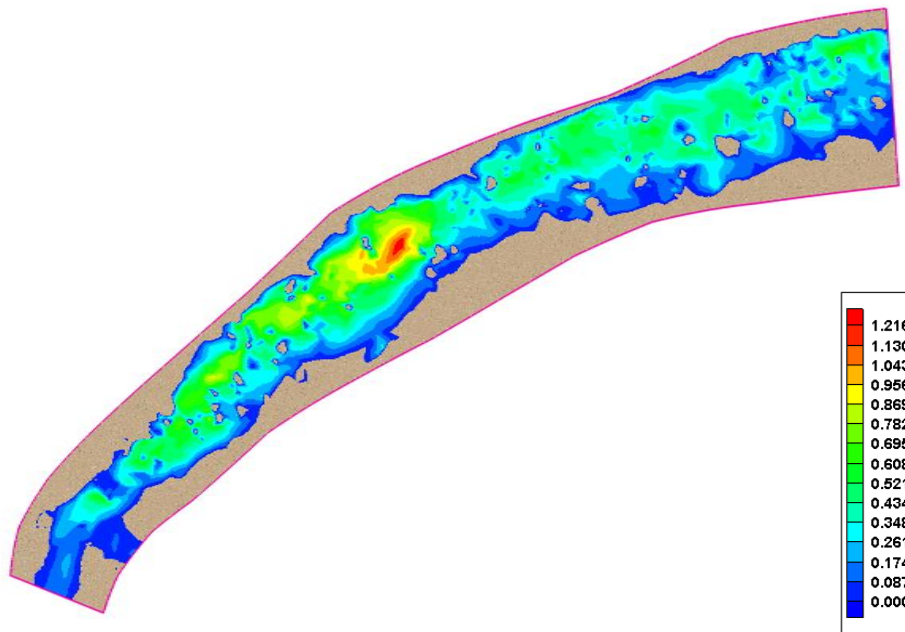
<i>Odsek</i>	<i>Pretok</i>
Radovna 1a (Pri Debelem kamnu)	2,0 m <sup>3</sup> /s
Radovna 1b (mHE Gorje)	1,5 m <sup>3</sup> /s
Radovna 2a (Gola Peč)	1,4 m <sup>3</sup> /s
Radovna 2b (mHE Klemenak)	0,3 m <sup>3</sup> /s



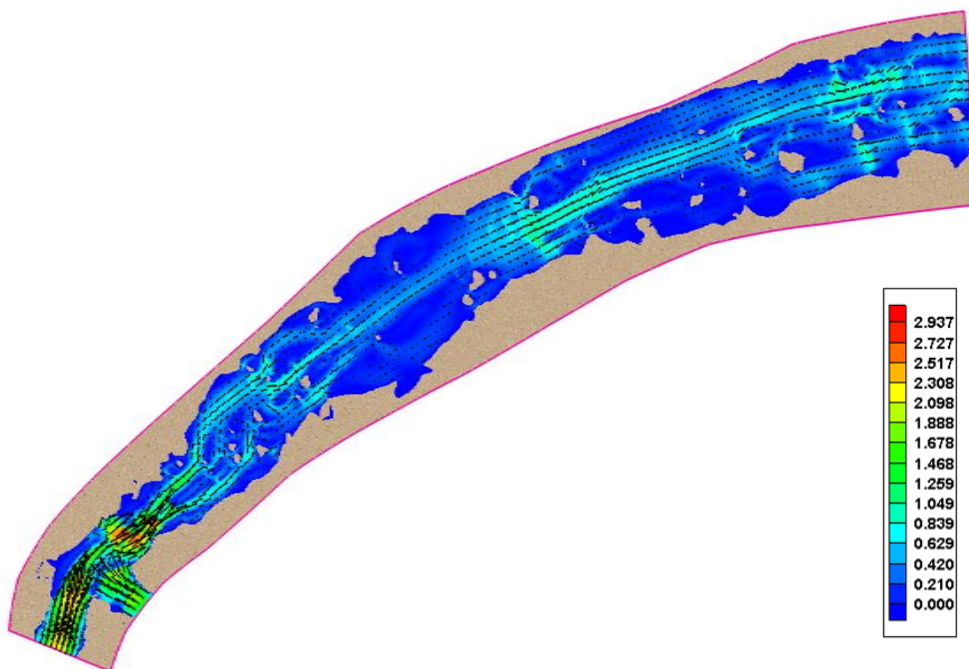
Slika 73: Preliminarni rezultati hidravličnega modela Radovna 1a: globine [m]



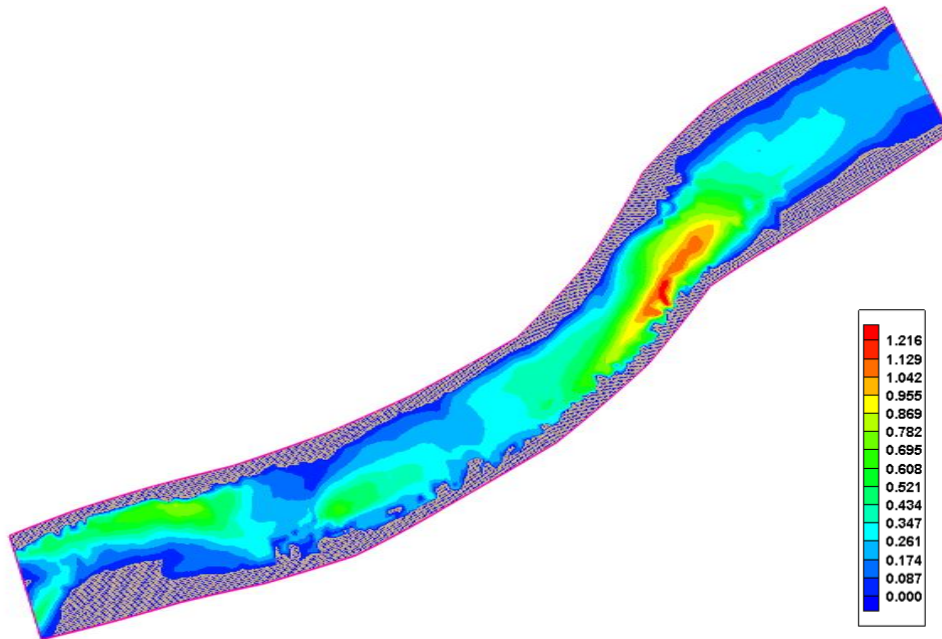
Slika 74: Preliminarni rezultati hidravličnega modela Radovna 1a: hitrostno polje [m/s]



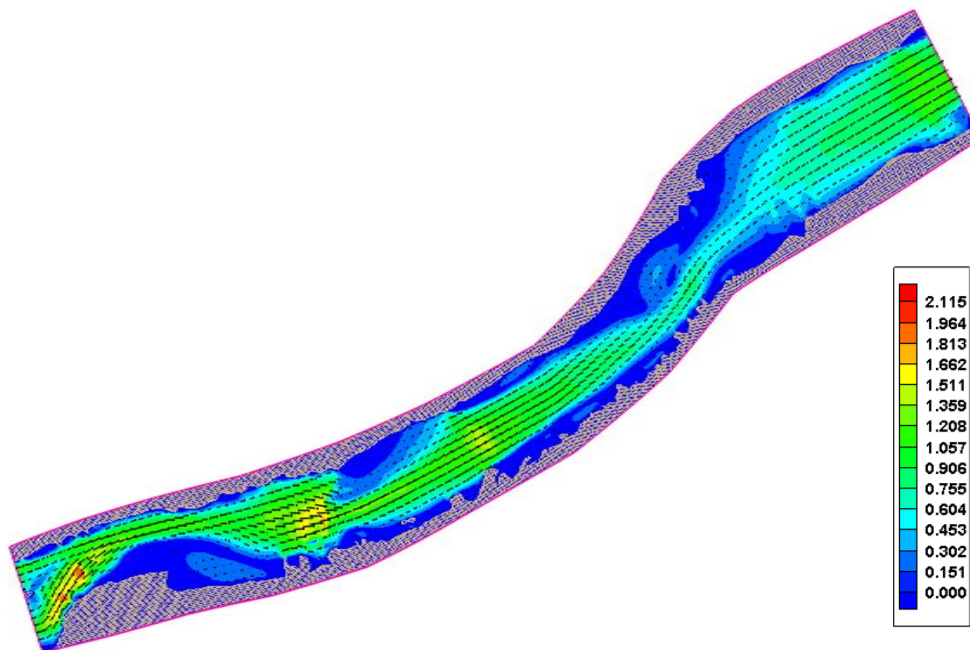
Slika 75: Preliminarni rezultati hidravličnega modela Radovna Ib: globine [m]



Slika 76: Preliminarni rezultati hidravličnega modela Radovna Ib: hitrostno polje [m/s]

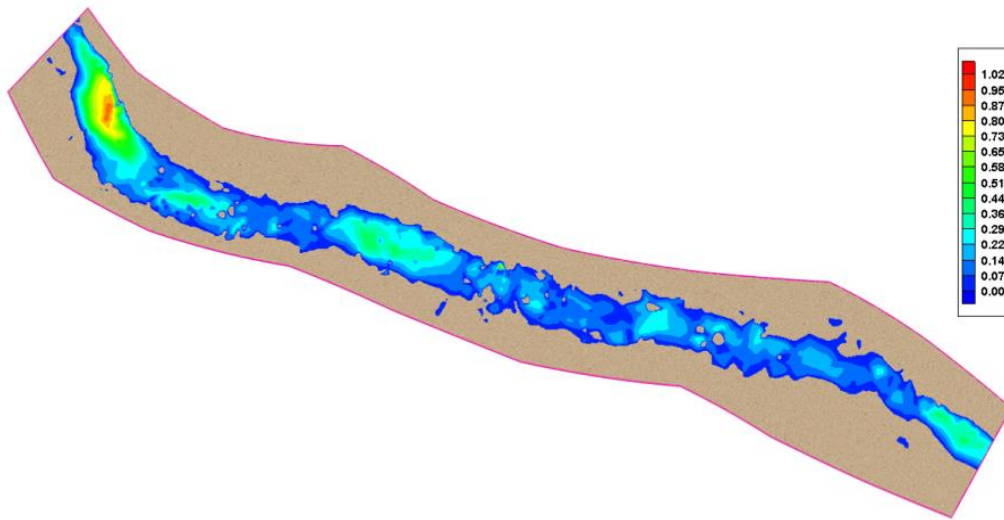


Slika 77: Preliminarni rezultati hidravličnega modela Radovna 2a: globine [m]

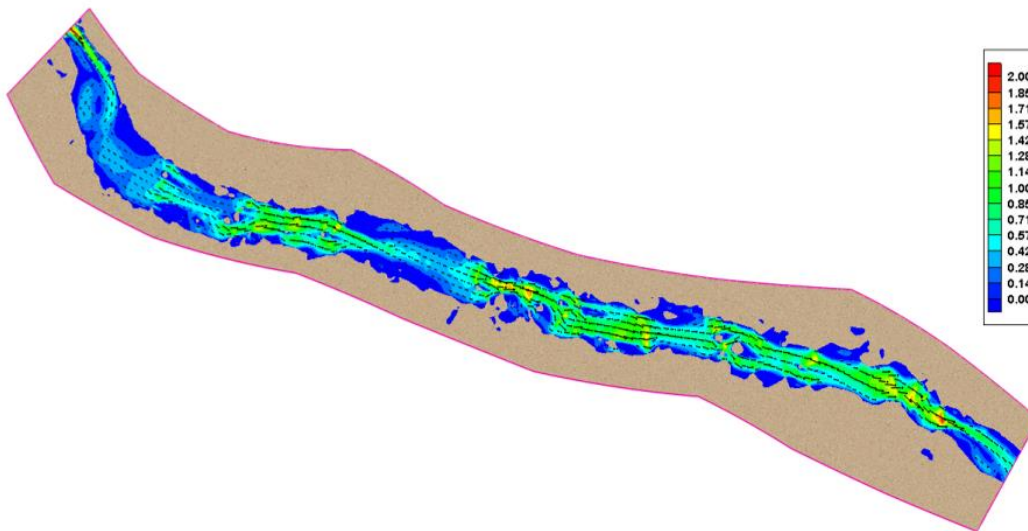


Slika 78: Preliminarni rezultati hidravličnega modela Radovna 2a: hitrostno polje [m/s]

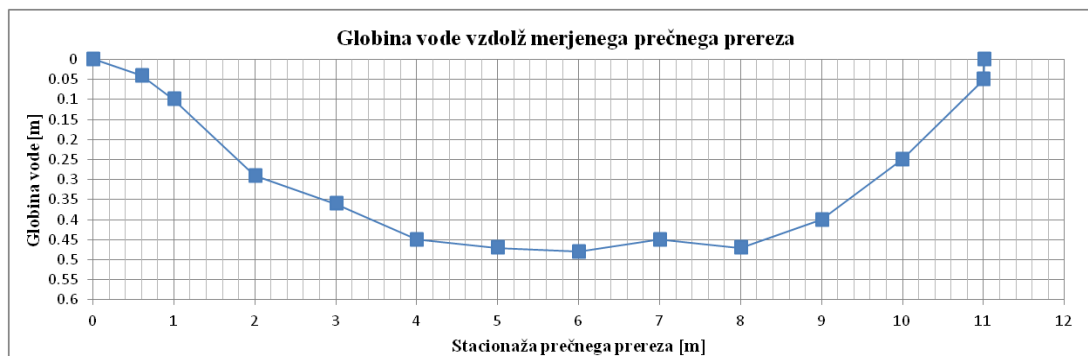




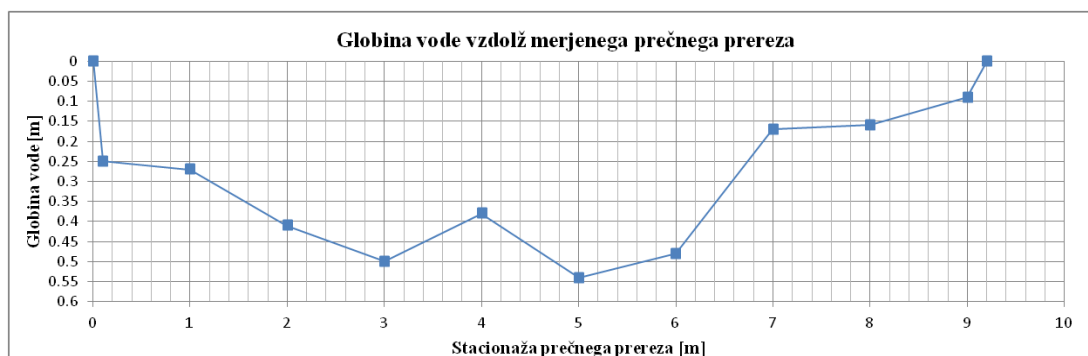
Slika 79: Preliminarni rezultati hidravličnega modela Radovna 2b: globine [m]



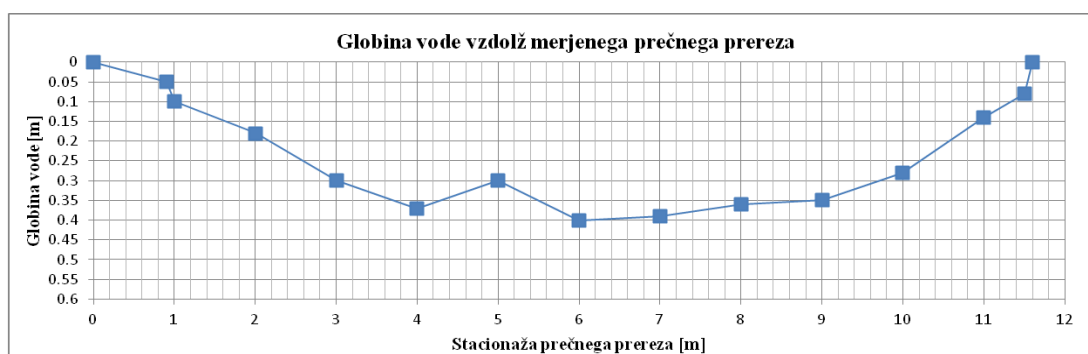
Slika 80: Preliminarni rezultati hidravličnega modela Radovna 2b: hitrostno polje [m/s]

**Priloga B.3: Izmerjeni vodostaji za umerjanje modela**

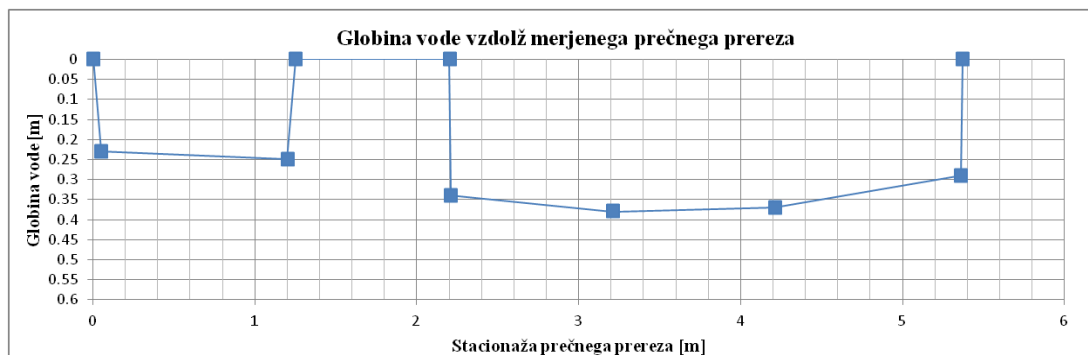
Slika 81: Izmerjeni vodostaji v izbranem prečnem prerezu na odseku Radovna 1a (08. 06. 2012)



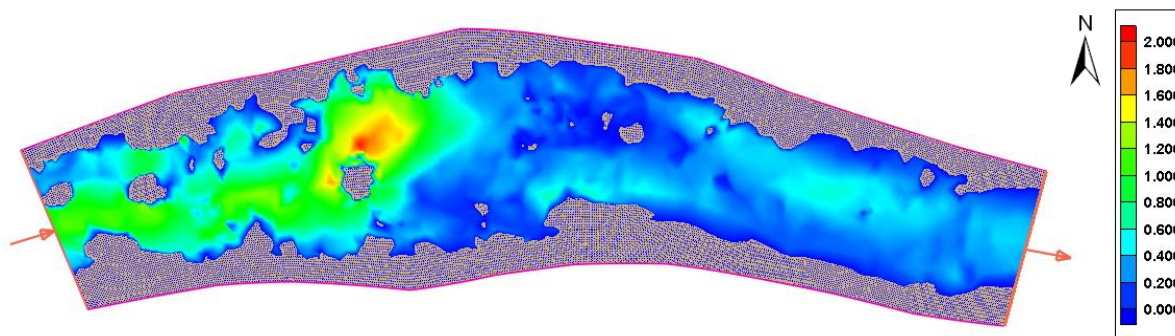
Slika 82: Izmerjeni vodostaji v izbranem prečnem prerezu na odseku Radovna 1b (08. 06. 2012)



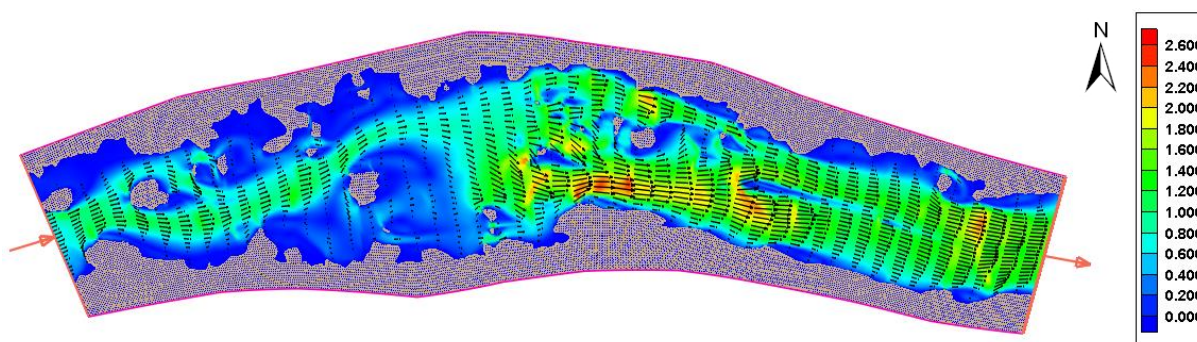
Slika 83: Izmerjeni vodostaji v izbranem prečnem prerezu na odseku Radovna 2a (08. 06. 2012)



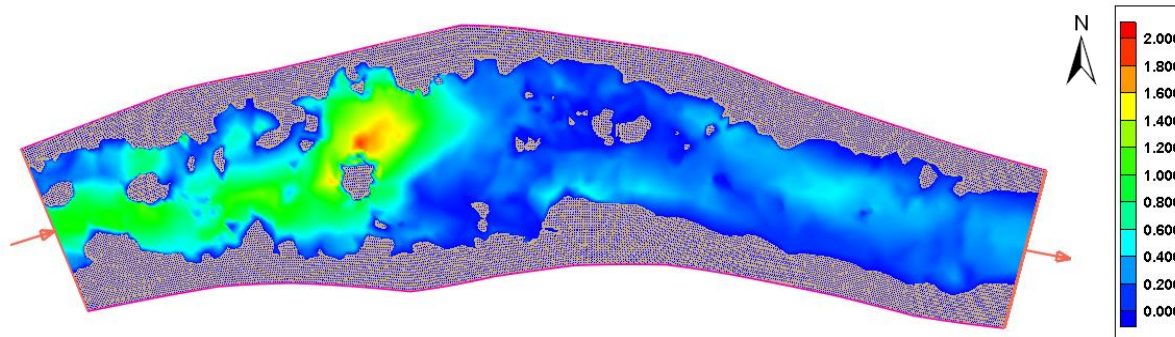
Slika 84: Izmerjeni vodostaji v izbranem prečnem prerezu na odseku Radovna 2b (08. 06. 2012)

**PRILOGA C: Merjene hidrološke situacije - rezultati hidravličnega modela***Priloga C.1: Radovna 1a*

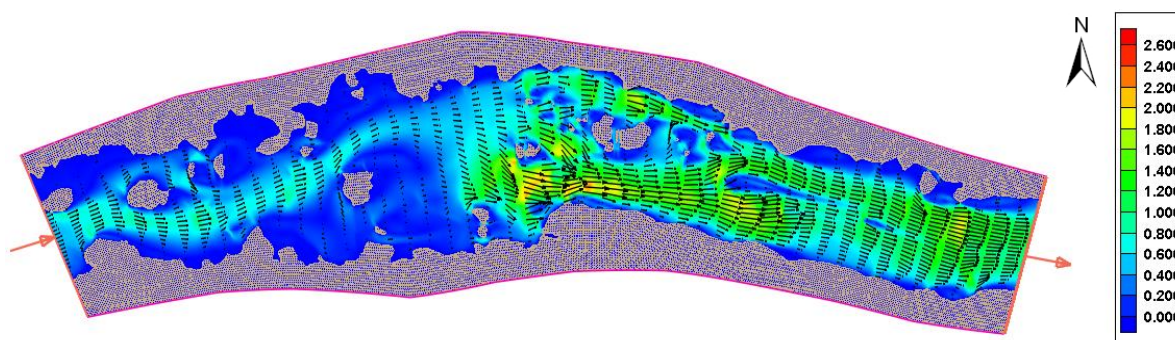
Slika 85: Rezultati hidravličnega modela Radovna 1a – razmere 08. 06. 2012: globine [m]



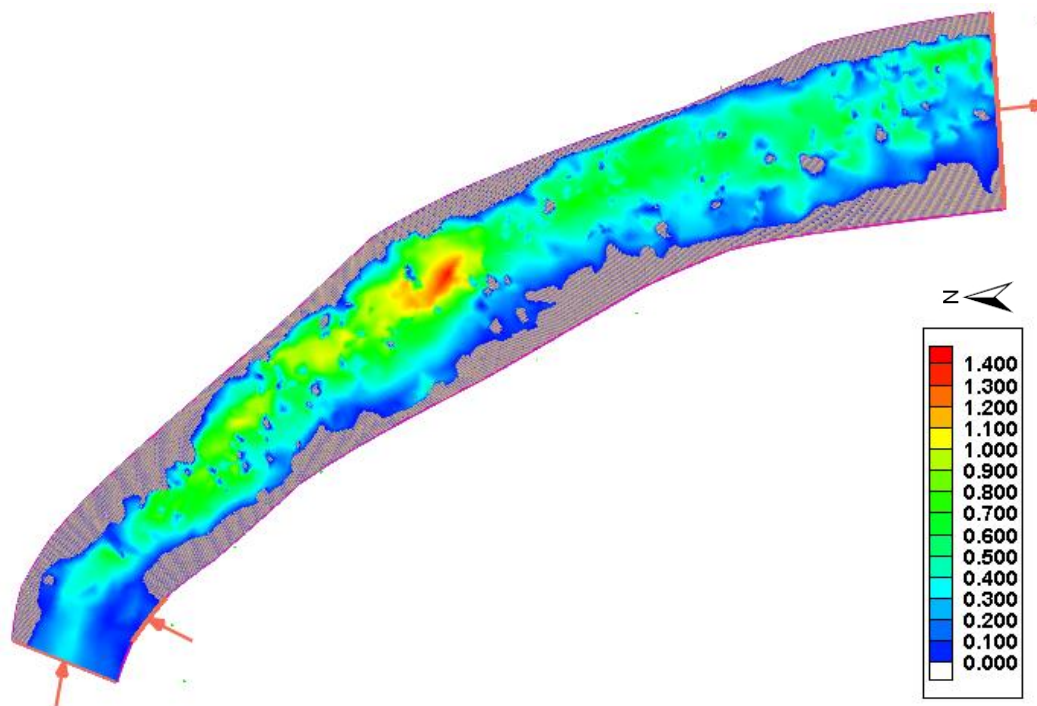
Slika 86: Rezultati hidravličnega modela Radovna 1a – razmere 08. 06. 2012: hitrostno polje [m/s]



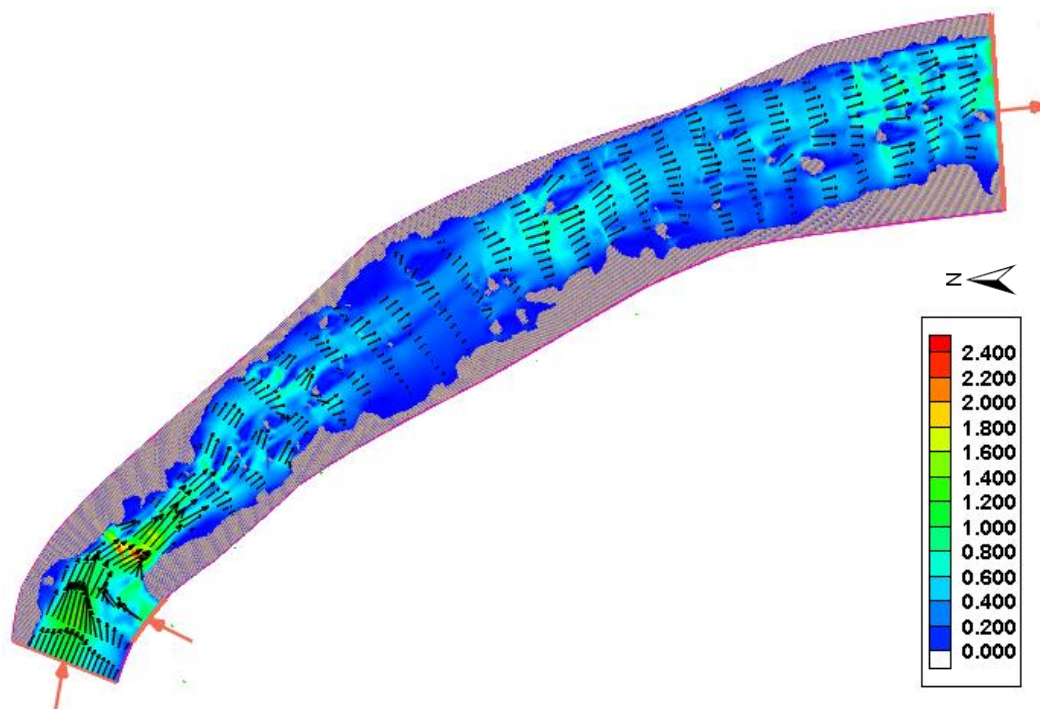
Slika 87: Rezultati hidravličnega modela Radovna 1a – razmere 05. 09. 2012: globine [m]



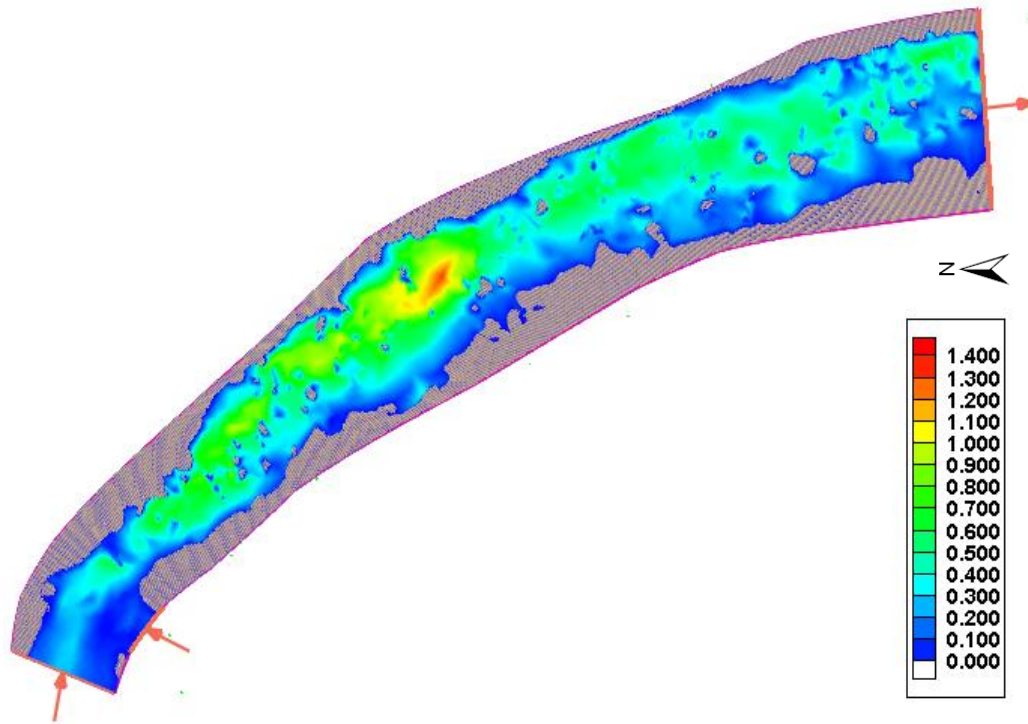
Slika 88: Rezultati hidravličnega modela Radovna 1a – razmere 05. 09. 2012: hitrostno polje [m/s]

**Priloga C.2: Radovna 1b**

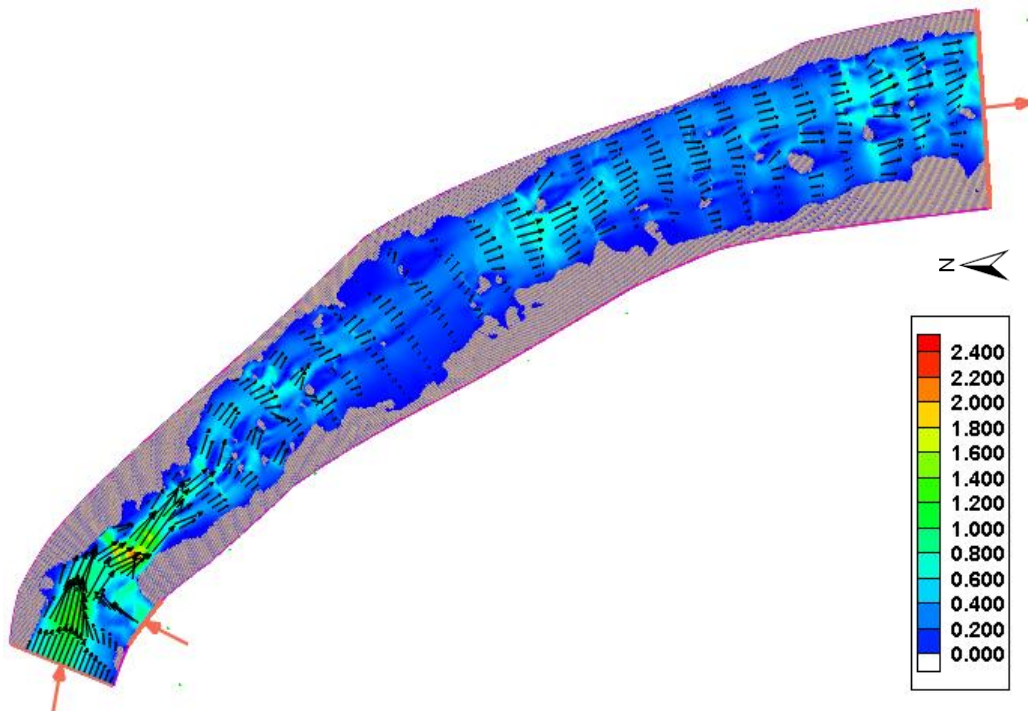
Slika 89: Rezultati hidravličnega modela Radovna 1b – razmere 08. 06. 2012: globine [m]



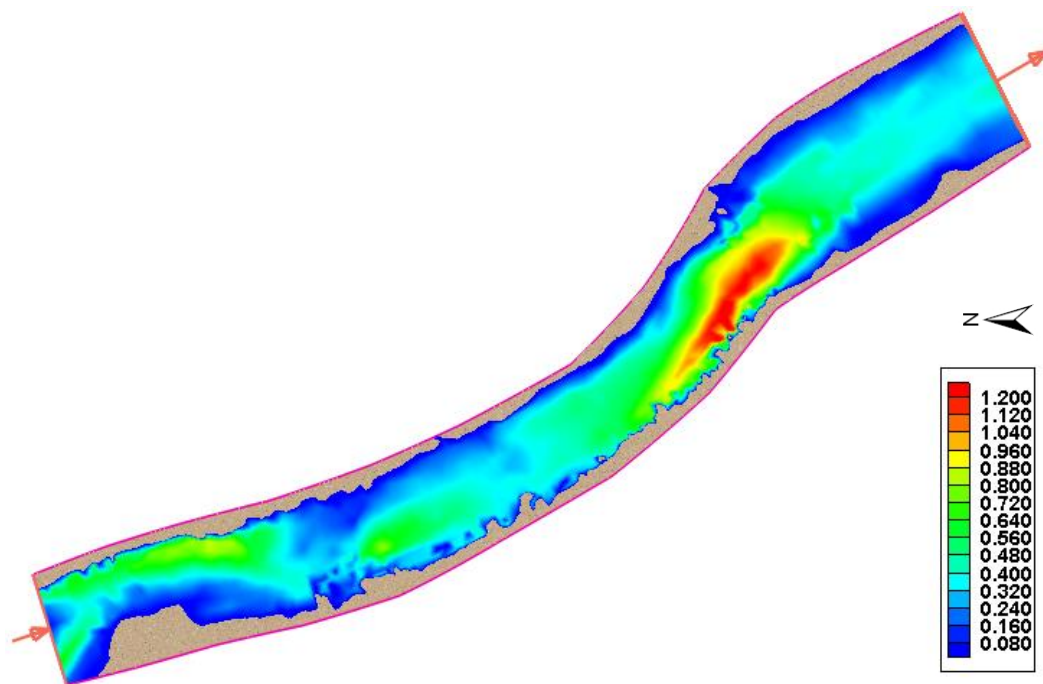
Slika 90: Rezultati hidravličnega modela Radovna 1b – razmere 08. 06. 2012: hitrostno polje [m/s]



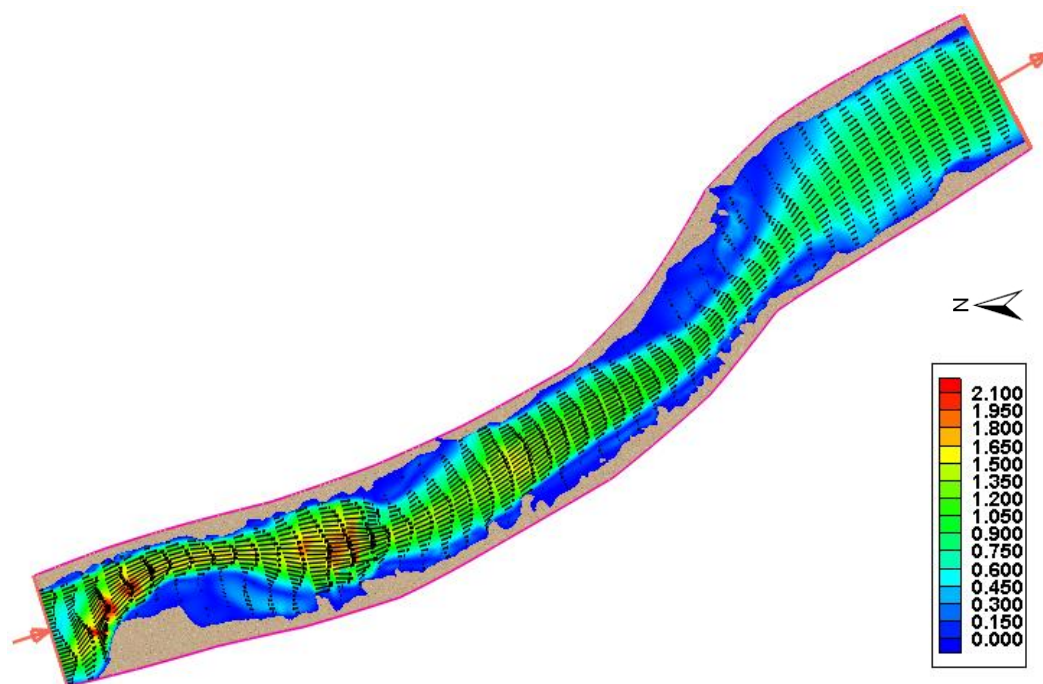
Slika 91: Rezultati hidravličnega modela Radovna 1b – razmere 05. 09. 2012: globine [m]



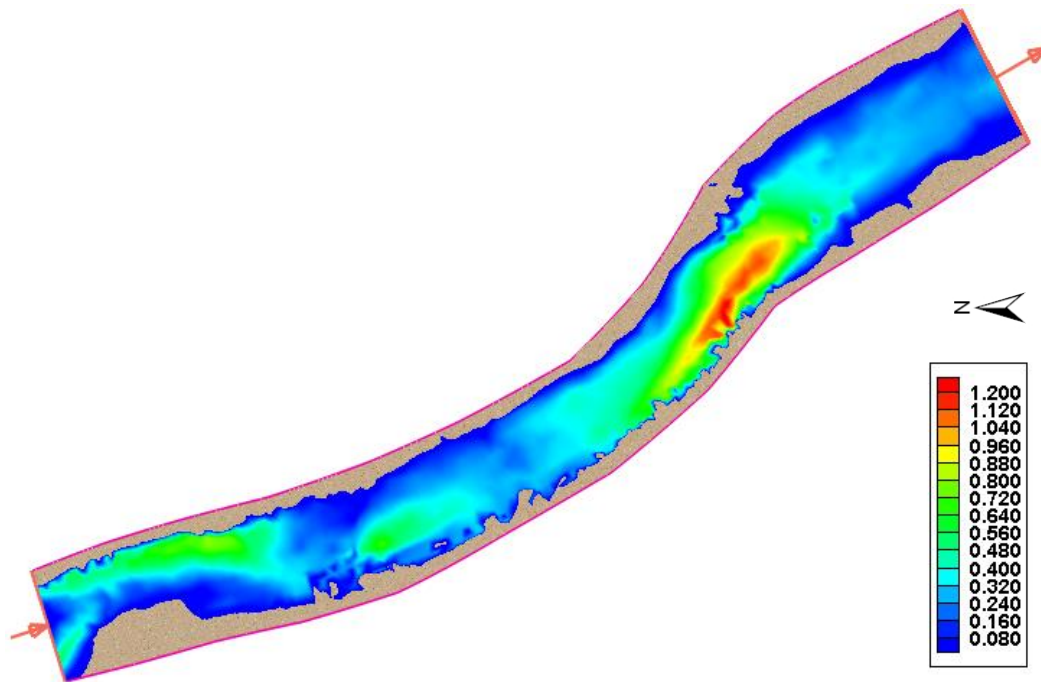
Slika 92: Rezultati hidravličnega modela Radovna 1b – razmere 05. 09. 2012: hitrostno polje [m/s]

*Priloga C.3: Radovna 2a*

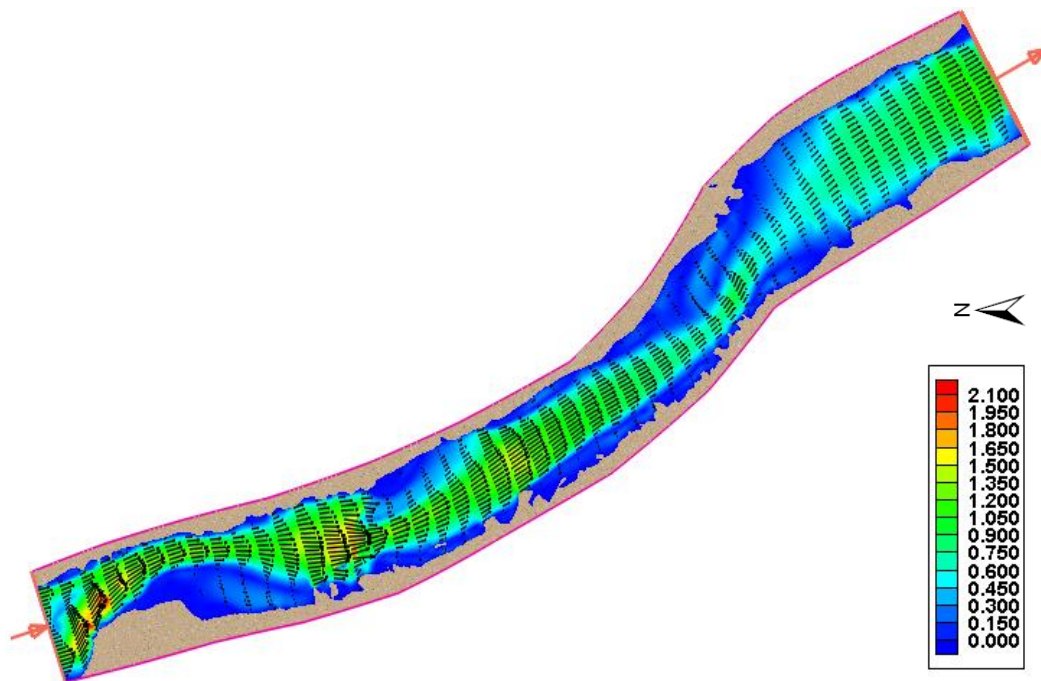
Slika 93: Rezultati hidravličnega modela Radovna 2a – razmere 08. 06. 2012: globine [m]



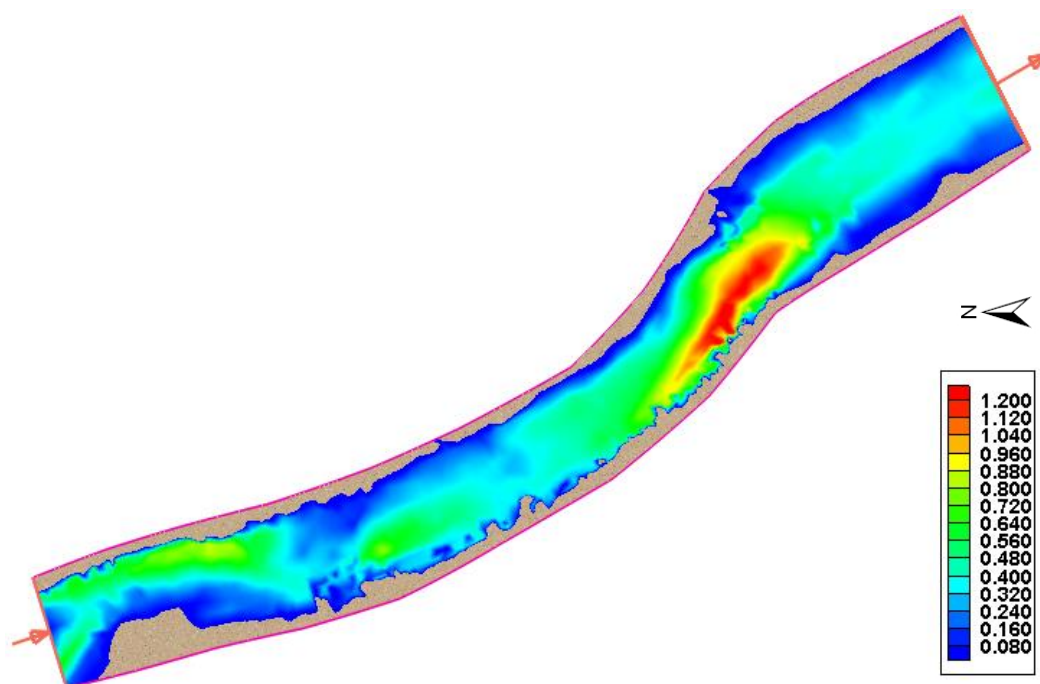
Slika 94: Rezultati hidravličnega modela Radovna 2a – razmere 08. 06. 2012: hitrostno polje [m/s]



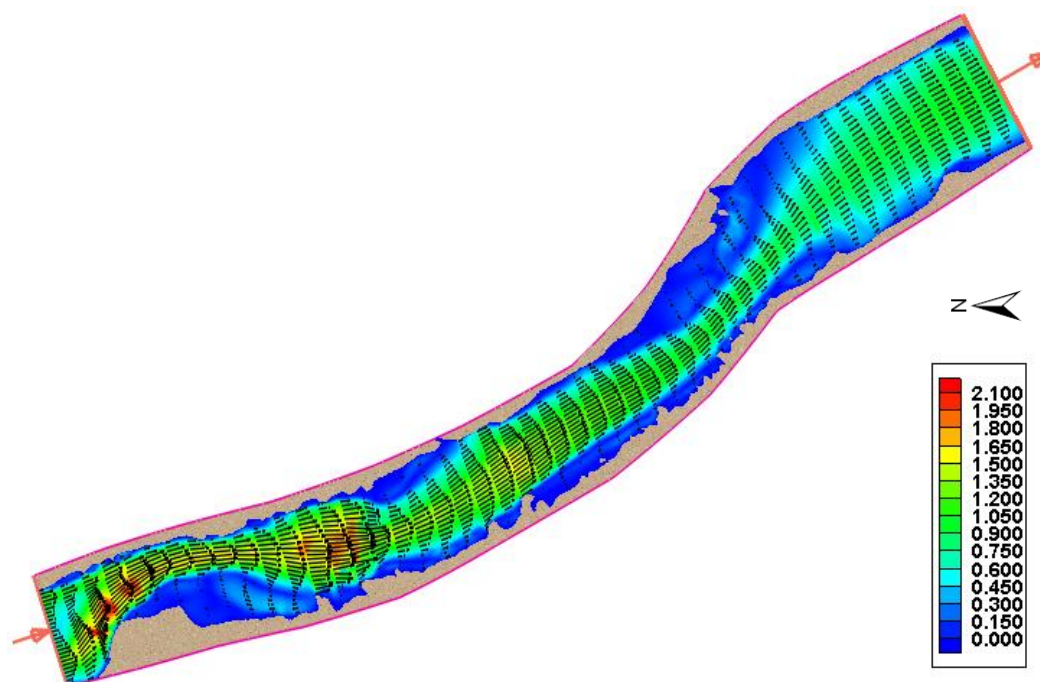
Slika 95: Rezultati hidravličnega modela Radovna 2a – razmere 05. 09. 2012: globine [m]



Slika 96: Rezultati hidravličnega modela Radovna 2a – razmere 05. 09. 2012: hitrostno polje [m/s]

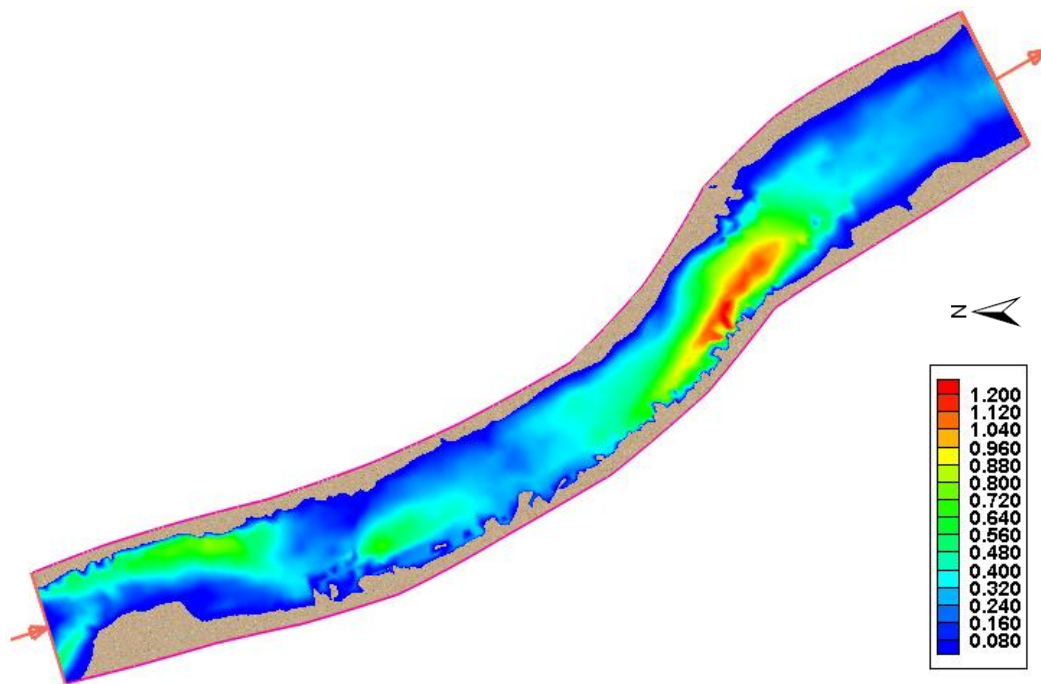
*Priloga C.4: Radovna 2b*

Slika 97: Rezultati hidravličnega modela Radovna 2a – razmere 08. 06. 2012: globine [m]

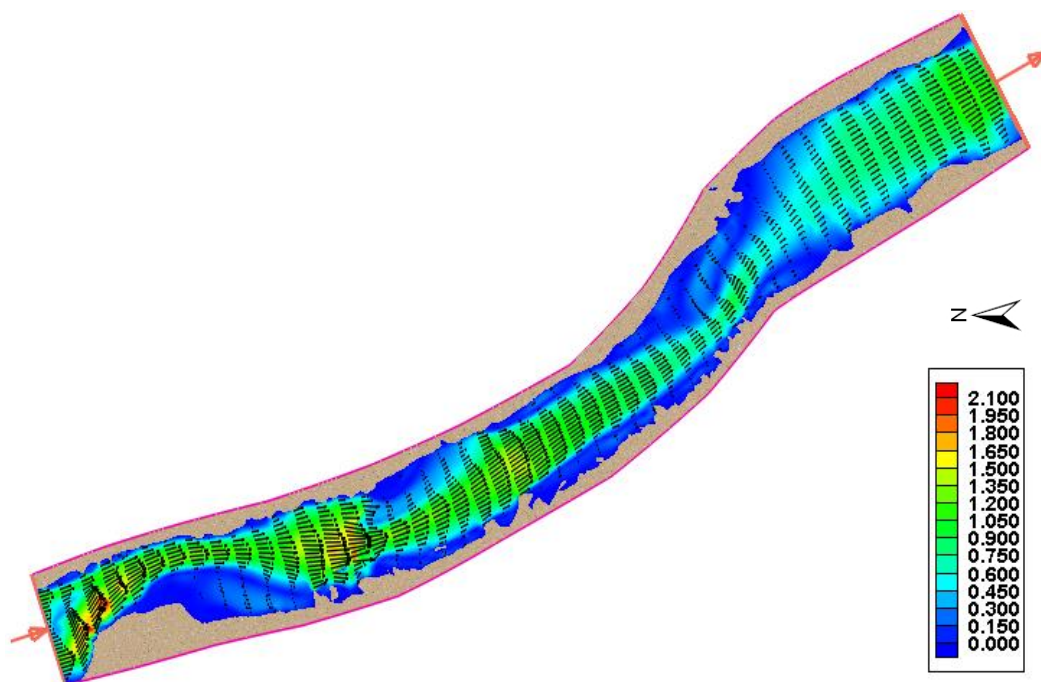


Slika 98: Rezultati hidravličnega modela Radovna 2a – razmere 08. 06. 2012: hitrostno polje [m/s]

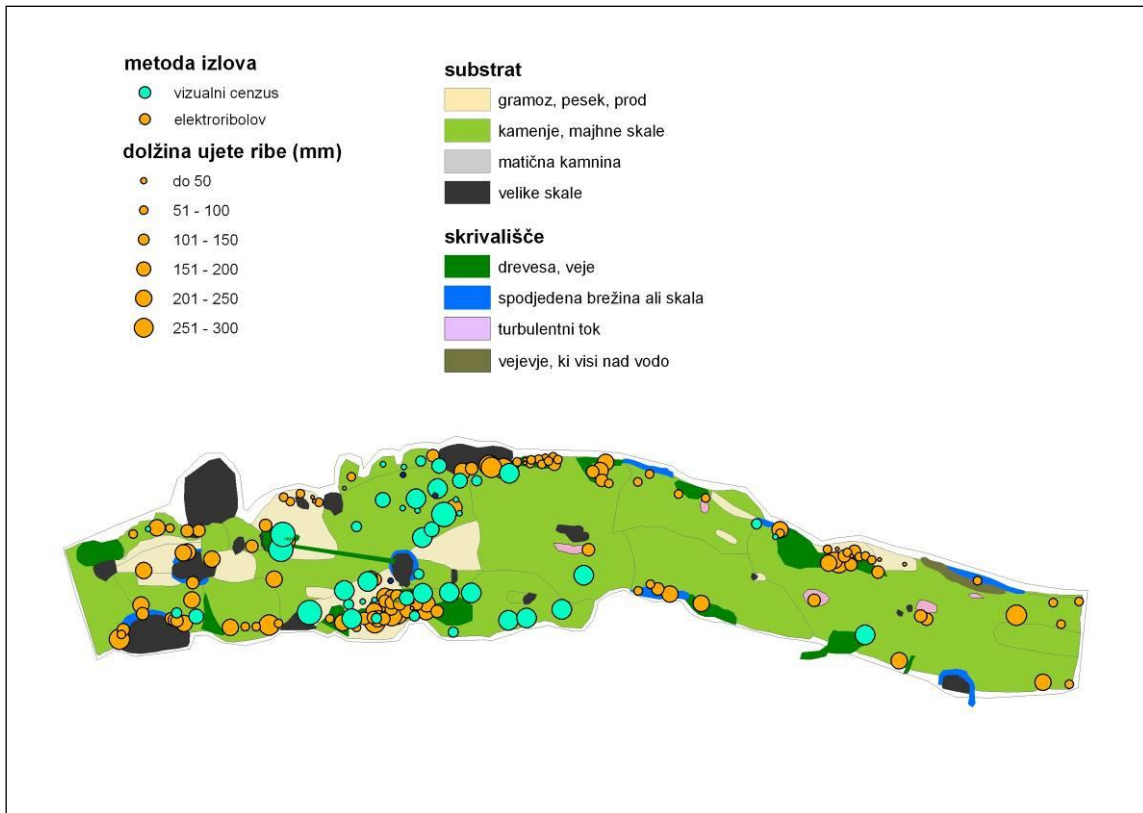




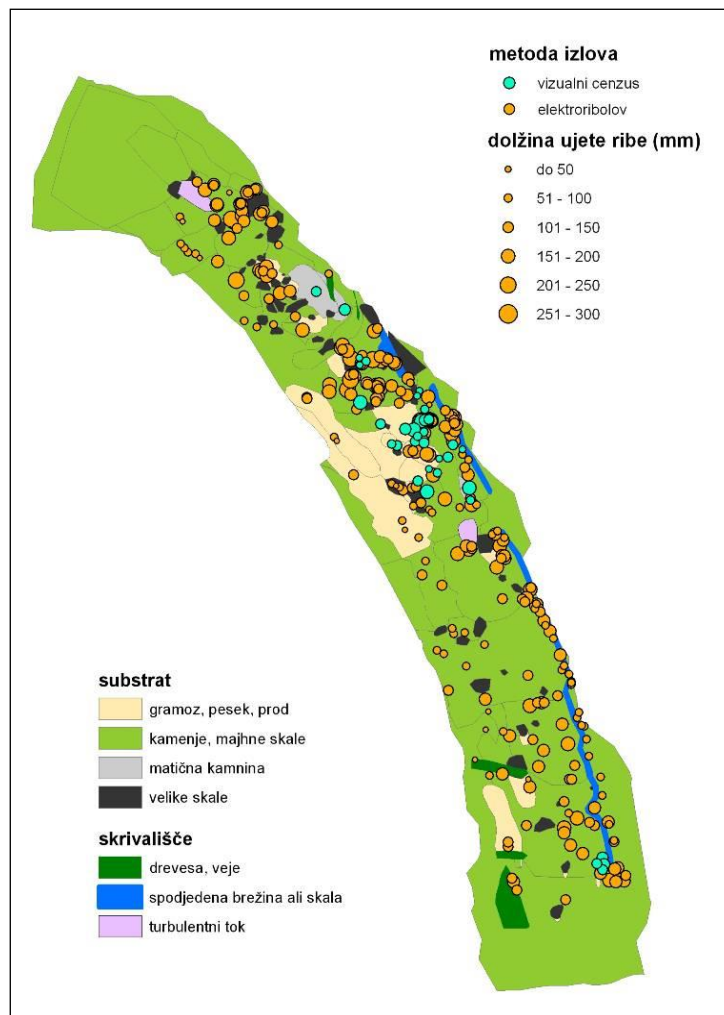
Slika 99: Rezultati hidravličnega modela Radovna 2a – razmere 05. 09. 2012: globine [m]



Slika 100: Rezultati hidravličnega modela Radovna 2a – razmere 05. 09. 2012: hitrostno polje [m/s]

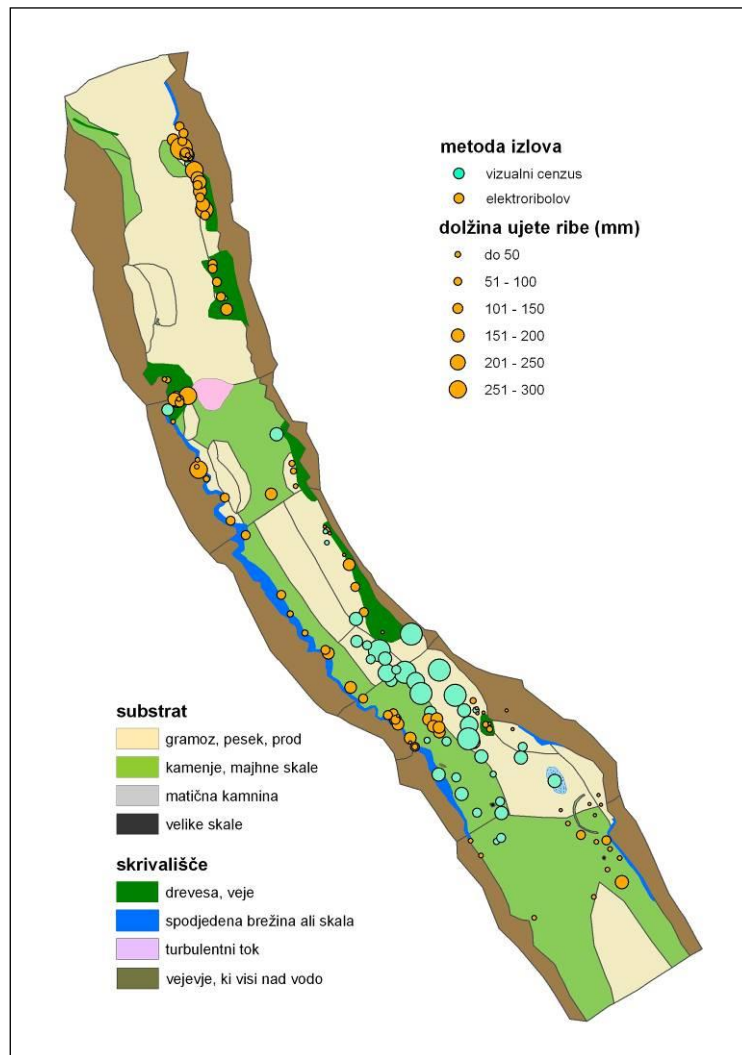
**PRILOGA D: Grafični prikaz rezultatov vzorčenja rib****Priloga D.1: Radovna 1a**

Slika 101: Prikaz položaja rib in njihove velikosti v prvem vzorčenju na odseku Radovna 1a (08. 06. 2012).

**Priloga D.2: Radovna 1b**

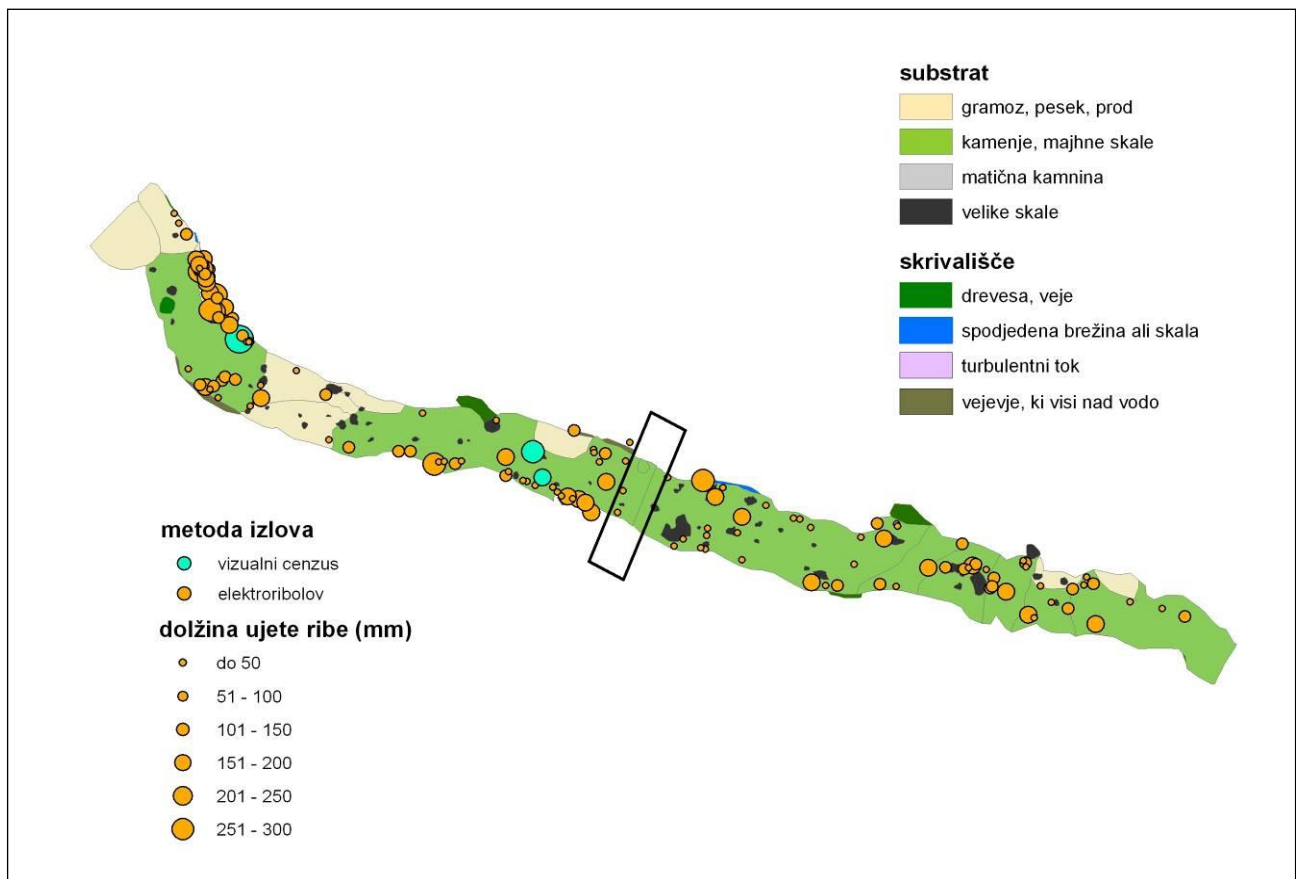
Slika 102:

Prikaz položaja rib in njihove velikosti v prvem vzorčenju na odseku Radovna 1b (08. 06. 2012).

**Priloga D.3: Radovna 2a**

Slika 103:

Prikaz položaja rib in njihove velikosti v prvem vzorčenju na odseku Radovna 2a (08. 06. 2012).

**Priloga D.4: Radovna 2b**

Slika 104: Prikaz položaja rib in njihove velikosti v prvem vzorčenju na odseku Radovna 2b (08. 06. 2012).

**PRILOGA E: Nabor rezultatov hidravličnega modeliranja***Preglednica 10: Gorvodni in dolvodni robni pogoji nabora rezultatov hidravličnih modelov*

Odsek Št.	Radovna 1a		Radovna 1b		Radovna 2a		Radovna 2b	
	Q [m <sup>3</sup> /s]	Π [m]	Q [m <sup>3</sup> /s]	Π [m]	Q [m <sup>3</sup> /s]	Π [m]	Q [m <sup>3</sup> /s]	Π [m]
1	0,3	659,05	0,3	631,43	0,2	676,61	0,05	686,76
2	0,4	659,07	0,4	631,44	0,3	676,64	0,10	686,78
3	0,5	659,09	0,5	631,46	0,4	676,66	0,15	686,80
4	0,6	659,11	0,6	631,47	0,5	676,68	0,20	686,81
5	0,7	659,13	0,7	631,48	0,6	676,70	0,25	686,83
6	0,8	659,15	0,8	631,50	0,7	676,71	0,30	686,84
7	0,9	659,17	0,9	631,51	0,8	676,73	0,35	686,85
8	1,0	659,19	1,0	631,52	0,9	676,74	0,40	686,86
9	1,1	659,21	1,1	631,53	1,0	676,75	0,45	686,87
10	1,2	659,23	1,2	631,55	1,1	676,77	0,50	686,88
11	1,3	659,24	1,3	631,56	1,2	676,78	0,55	686,89
12	1,4	659,25	1,4	631,57	1,3	676,79	0,60	686,90
13	1,5	659,26	1,5	631,58	1,4	676,80	0,65	686,90
14	1,6	659,27	1,6	631,59	1,5	676,81	0,70	686,91
15	1,7	659,28	1,7	631,60	1,6	676,82	0,75	686,92
16	1,8	659,29	1,8	631,61	1,7	676,83	0,80	686,93
17	1,9	659,30	1,9	631,62	1,8	676,84	0,85	686,93
18	2,0	659,31	2,0	631,63	1,9	676,85	0,90	686,94
19	2,1	659,32	2,1	631,64	2,0	676,86	0,95	686,95
20	2,2	659,33	2,2	631,65	2,1	676,87	1,00	686,95
21	2,3	659,34	2,3	631,656	2,2	676,875	1,05	686,96
22	2,4	659,35	2,4	631,665	2,3	676,884	1,10	686,97
23	2,5	659,36	2,5	631,67	2,4	676,89	1,15	686,97
24	2,6	659,37	2,6	631,68	2,5	676,90	1,20	686,98
25	2,7	659,38	2,7	631,69	2,6	676,91	1,25	686,98
26	2,8	659,39	2,8	631,701	2,7	676,916	1,30	686,99
27	2,9	659,40	2,9	631,71	2,8	676,92	1,35	686,99
28	3,0	659,41	3,0	631,72	2,9	676,93	1,40	687,00
29	3,1	659,417	3,1	631,728			1,45	687,00
30	3,2	659,424	3,2	631,737			1,50	687,01
31	3,3	659,431	3,3	631,746				
32	3,4	659,438	3,4	631,755				
33	3,5	659,445	3,5	631,762				
34	3,6	659,452	3,6	631,768				
35	3,7	659,459	3,7	631,774				
36	3,8	659,466	3,8	631,78				
37	3,9	659,473	3,9	631,786				
38	4,0	659,48	4,0	631,792				
39			4,1	631,798				
40			4,2	631,804				

Q - pretok (zgornji robni pogoj);

Π - absolutna višinska kota vodne gladine (spodnji robni pogoj)

**PRILOGA F: Navodila za habitatno modeliranje s programom CASiMiR**

1. Pri vzpostavljanju modela je treba paziti na:
  - Pri "regional settings pod settings/control panel" morajo biti kot ločilo nastavljena pika, ne vejica
  - Imena fajlov, map naj bodo brez presledkov in posebnih znakov, imena naj bodo čim krajša
2. Uvoz ortofoto za podlago:
  - ukaz **Add data**, gremo do mape z GIF datotekami in jih uvozimo
  - označimo vse ortofoto datoteke in gremo na **New Group Layer** da zmanjšamo nepreglednost slojev, združimo ortofoto sloje v skupen skupinski sloj
3. Izdelava Geodatabaze
  - gremo v okno **ArcCatalog** (gremo v želeno mapo) -> **New -> File Geodatabase**, kjer naredimo novo **gdb** datoteko, npr. **Radovna\_1a.gdb**
4. Uvoz orodja Casimir-Tools-Release
  - zaženemo **CasimirArctoolsReg.bat** (privzeto se nahaja v mapi **Install**)
  - v oknu **ArcToolbox** desniklik -> **Add Toolbox**, poiščemo mapo z **CASIMIR-Tools-Release** in jo potrdimo
5. Priprava sloja s podatki o hidravličnih rezultatih (globine, hitrosti vode itd.) za različne pretoke
  - ukaz: **ArcToolbox \ CASiMiR-Tools-Release \ Import \ Import IJ-ordered Points to Polygons**
  - pod **File Type** izberemo **Import IJ-ordered point data (Ljubljana)** in pod **Input files** vnesemo vse datoteke, ki smo jih pripravili v CCHE2D. V CCHE2D za vsak pretok izvozimo izračunane rezultate v **txt obliki**, ki jih urejeno poimenujemo, npr. **1a\_q300.txt** je zapis rezultatov za odsek Radovna\_1a pri pretoku 300 l/s.
  - za preglednejše nadaljnje delo, v polju "input file" uredimo datoteke naraščajoče po pretoku
  - pod **Output polygon feature class** gremo v datoteko **Radovna\_1a.gdb** v kateri naredimo pod opcijo **Feature Class** novo ime za datoteko v kateri se bodo skupaj združili hidravlični rezultati za analizirane pretoke, npr poimenujemo jo **Hidrav\_rez**
  - V **Layers** dodamo **Hidrav\_rez** iz **Radovna\_1a.gdb** in malo pregledamo tabelo in rezultate (sloj **Hidrav\_rez** desniklik -> **Open Attribute Table**)
6. Analiza prekrivanja slojev (Hidrav\_rez.shp, substrat.shp in skrivalisca.shp)
  - Dodamo sloja shp za skrivališča in substrat, ki sta poligonska in določata podatke o skrivališčih in substratu
  - Ukaz: **ArcToolbox \ Analysis Tools \ Overlay \ Intersect**, dodamo vse tri shp in določimo v **Radovna\_1a.gdb** ime za novo datoteko, npr. **Hidr\_sub\_skriv**, ki združuje vse vhodne podatke. Območje se obreže, tako da preostane območje, ki ima podatke za vs etri vhodne poligonske sloje

## 7. Prepis podatkov o substratu in skrivališčih

- Za analizo potrebujemo stolpce **SUBSTRDOM** in **cov**, če jih še nimamo v skupnem sloju iz prejšnje točke, ju naredimo: **Open Attribute Table -> Options -> Add Field -> (Name) SUBSTRDOM** (tipa **Short Integer**) in še en stolpec (Name) **cov** (tipa **Text**)
- Za stolpec SUBSTRDOM prepisemo vrednosti v razredih od 1 – 10 (od org. materiala in matične kamnine (razred 1) preko naraščanja velikosti zrn (pesek, proda, kamenje) do končnih večjih skal (razred 10))
- Ponavadi določimo skrivališča s številkami (imamo že npr. stolpec **Cover**), v sloju **cov** pa združimo več skrivališč enakega tipa v skupno skupino, ki jih poimenujemo s črkami. Da to naredimo pri določanju vrednosti stolpca **cov** uporabimo **Field Calculator -> Load**, odkljukamo **Advanced** in dodamo logični script **\*.cal** ali pa ga sami naredimo v tekstovnem polju npr.:

```

covOut = "A"
CoverCode = [index_1] Initialize variable. //določimo kateri stolpec se bere
If CoverCode = 0 Then
covOut = "A"
ElseIf (CoverCode = 3 or CoverCode = 4 or CoverCode = 5) Then
covOut = "C"
ElseIf CoverCode = 6 Then
covOut = "D"
ElseIf CoverCode = 8 Then
covOut = "B"
ElseIf CoverCode = 9 Then
covOut = "E"
End If

```

Tabela z določenimi razredi, ki smo jih uporabili na Radovni

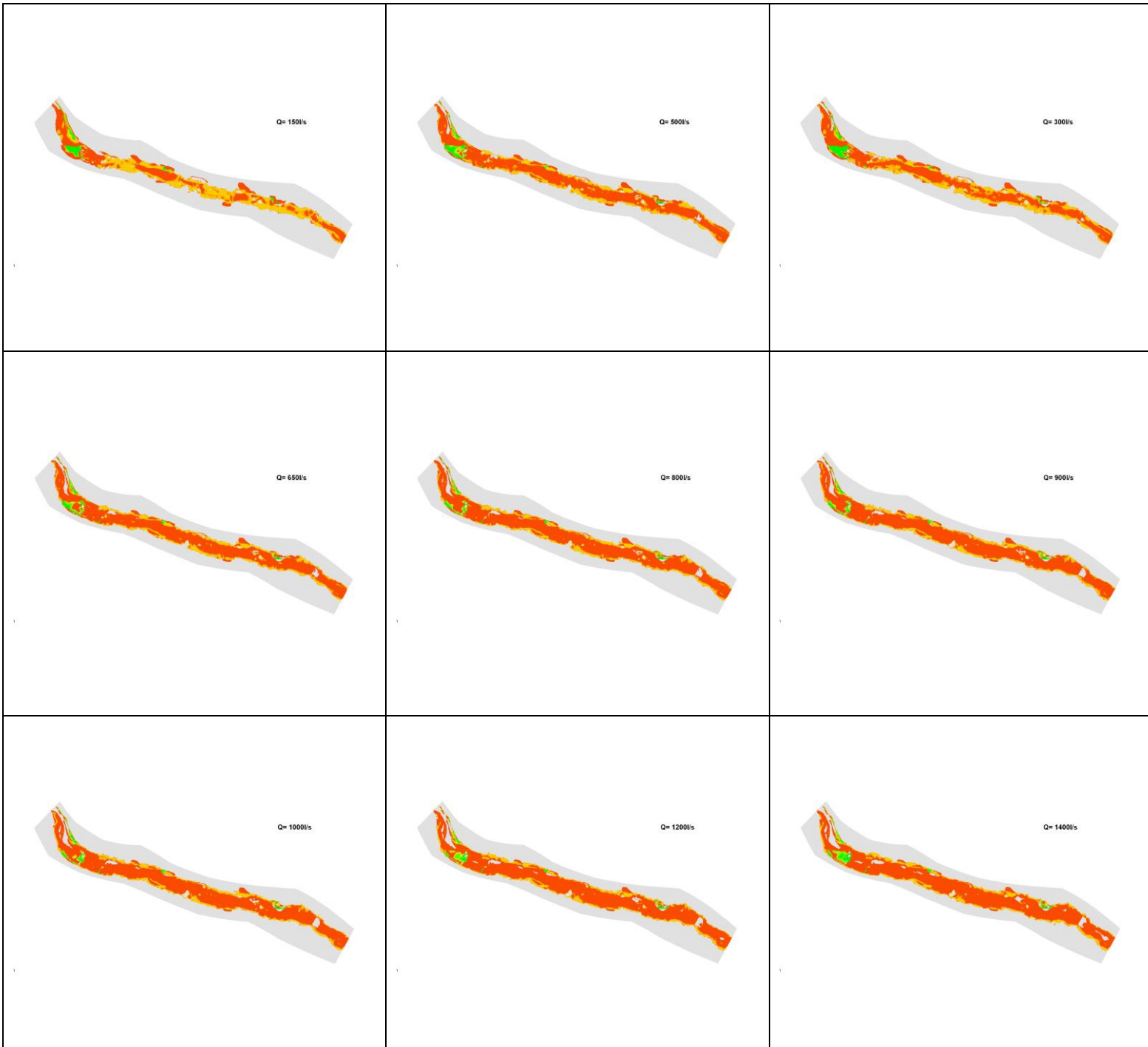
Naziv skrivališča	Index	Cov (razredi)
no cover/ni skrivališča	0	A
submerged macrophytes/ potopljeni makrofiti	1	-
stones, dead material/kamenje, detrit	2	-
Roots/ korenine	3	C
woody debris/ leseno plavje	4	C
branches wet/ mokro vejevje	5	C
branches dry/ suho vejevje	6	D
floating macrophytes/ plavajoči makrofiti	7	-
Turbulences/ turbulenca	8	B
undercut banks/ spodjedene brežine	9	E
Overhanging Grass/ viseča trava	10	-

- V drugo vnosno polje še vpišemo **covOut** (da se določi katera spremenljivka določa vrednosti iz prejšnje kode, kjer je rezultat **covOut**)



## 8. Analiza habitatne primernosti

- **ArcToolbox \ CASIMIR-Tools-Release \ SI Calculator \ Batch Calculate SI**, v polje Input table uvozimo **Hidr\_sub\_skriv**, v polje Fuzzy rules/sets uvozimo pripravljeno datoteko **\*.cas** (tekstovna datoteka), izberemo kako se bodo poimenovali stolpci (prevideno je "si\_", v posameznih stolpcih pa se dodaja zaporedna številka) v oknu Output table določimo še ime nove datoteke z rezultati (dobimo samo tabelo), ki jo določimo znotraj že prej izdelane **\*.gdb** datoteke
- Za izračun rezultatov izberemo še opcijo **Scaling** v vnosnem polju "**Scaling of output crisp value**" pod sklopom "**Fuzzy system parameters**", tako dosežemo da so rezultati SI od 0 -1
- Za pregled rezultatov se na **Hidr\_sub\_skriv** z desniklokom -> Joins and Relates -> Join Data:
- Izberemo **Join attributes from a table**, izberemo kateri stolpec iz sloja je povezovalni (npr. **OBJECT\_ID**), izberemo tabelo rezultatov in označimo povezovalni stolpec (npr. **OBJECT\_ID**, ki se ustvari s postopkom iz prejšnje alineje)

**Rezultati habitatnega modela*****Priloga F.1: Radovna 1a, potočna postrv 100 mm in manjše***

Slika 105: Prikaz rezultatov habitatnega modeliranja pri različnih pretokih na odseku Radovna 1a.

**PRILOGA G: Udeležba na simpoziju EGU General Assembly 2013*****Priloga G.1: Povzetek prispevka, predstavljenega na simpoziju EGU General Assembly 2013***

Geophysical Research Abstracts  
Vol. 15, EGU2013-3081-1, 2013  
EGU General Assembly 2013  
© Author(s) 2013. CC Attribution 3.0 License.

**Habitat modeling for brown trout population in alpine region of Slovenia with focus on determination of preference functions, fuzzy rules and fuzzy sets**

Saso Santl (1), Masa Carf (2), Tanja Preseren (1), and Aljaz Jenic (2)

(1) University of Ljubljana, Faculty of Civil and Geodetic Engineering, Ljubljana, Slovenia (saso.santl@fgg.uni-lj.si), (2) Fisheries Research Institute of Slovenia, Ljubljana, Slovenia (aljaz.jenic@zzrs.si)

Water withdrawals and consequently reduction of discharges in river streams for different water uses (hydro power, irrigation, etc.) usually impoverish habitat suitability for naturally present river fish fauna. In Slovenia reduction of suitable habitats resulting from water abstractions frequently impacts local brown trout (*Salmo trutta*) populations. This is the reason for establishment of habitat modeling which can qualitatively and quantitatively support decision making for determination of the environmental flow and other mitigation measures. Paper introduces applied methodology for habitat modeling where input data preparation and elaboration with required accuracy has to be considered. For model development four (4) representative and heterogeneous sampling sites were chosen. Two (2) sampling sections were located within the sections with small hydropower plants and were considered as sections affected by water abstractions. The other two (2) sampling sections were chosen where there are no existing water abstractions. Precise bathymetric mapping for chosen river sections has been performed. Topographic data and series of discharge and water level measurements enabled establishment of calibrated hydraulic models, which provide data on water velocities and depths for analyzed discharges. Brief field measurements were also performed to gather required data on dominant and subdominant substrate size and cover type. Since the accuracy of fish distribution on small scale is very important for habitat modeling, a fish sampling method had to be selected and modified for existing river microhabitats. The brown trout specimen's locations were collected with two (2) different sampling methods. A method of riverbank observation which is suitable for adult fish in pools and a method of electro fishing for locating small fish and fish in riffles or hiding in cover. Ecological and habitat requirements for fish species vary regarding different fish populations as well as eco and hydro morphological types of streams. Therefore, if habitat modeling for brown trout in Slovenia should be applied, it is necessary to determine preference requirements for the locally present brown trout populations. For efficient determination of applied preference functions and linked fuzzy sets/rules, beside expert determination, calibration according to field sampling must also be performed. After this final step a model is prepared for the analysis to support decision making in the field of environmental flow and other mitigation measures determination.

Priloga G.2: Prikaz posterja, predstavljenega na simpoziju EGU General Assembly 2013

**Habitat Modeling for Brown Trout Population in Alpine Region of Slovenia with Focus on Determination of Preference Functions, Fuzzy Rules and Fuzzy Sets**

### Theoretical background

**Concept**

**Fuzzy sets**

**Morphology/Hydraulics**

**Expert knowledge/ fuzzy rules**

IF Water depth „High“ AND Flow velocity „Medium“ AND Substrate size „High“ THEN Suitability „Very High“

IF Water depth „Medium“ AND Flow velocity „Medium“ AND Substrate size „High“ THEN Suitability „High“

**Habitat suitability**

Other relevant habitat parameters (e.g. cover, pool types, portion of gravel fractions)

Quantitative prediction of flow and morphology impacts on fish, invertebrates and macrophytes.

---

**Area of field study application**

**Radovna river characteristics:**

- Alpine region river
- Snow-rain regime
- Length = 30 km
- Catchment area: F = 140 km<sup>2</sup>
- Mean annual flow: Q<sub>avg</sub> = 8 m<sup>3</sup>/s

**Scheme of 4 selected river sections:**

- 1 A, 1 B – no water abstraction
- 2 A, 2 B – water abstraction
- Length of river section: 100 m

**Brown trout (*Salmo trutta fario* Linnaeus, 1758):**  
The target fish species in Radovna river.

### Habitat modelling

**Data acquisition**

**Input data preparation**

**Fuzzy sets and rules calibration**

Fish	Category	Depth (m)	Velocity (m/s)	Substrate type	Fish cover	Suitability
Fish 1	M	0.4	0.3	S	C	M
Fish 2	M	0.3	0.2	S	C	M
Fish n	S	0.2	0.1	S	A	H

**Application**

Analysis for determination of Environmental Flow (seasonal, fish development stage etc.)

Process of planning of mitigation measures (bank restoration, big rock insertion, pool design etc.) acquires modifications of input data

Project is supported by:  
 REPUBLIC OF SLOVENIA  
 MINISTRY OF AGRICULTURE AND THE ENVIRONMENT &  
 Slovenian Research Agency

Saso Santl<sup>(1)</sup>, Masa Carf<sup>(2)</sup>, Tanja Preseren<sup>(1)</sup>, Aljaz Jenic<sup>(2)</sup>, Sarno Podgornik<sup>(2)</sup>, Franci Steinman<sup>(1)</sup>  
 (1) University of Ljubljana, Faculty of Civil and Geodetic Engineering, Ljubljana, Slovenia (saso.santl@fgg.uni-lj.si),  
 (2) Fisheries Research Institute of Slovenia, Ljubljana, Slovenia (aljaz.jenic@zrzs.si)