



**Končno poročilo za raziskovalni projekt
št. V1-2142 v okviru Ciljnega raziskovalnega
programa «CRP 2021»**

**Raziskava zvezdogleda in platnice na reki Savi in pritokih
ter raziskava učinkovitosti ribjih stez/prehodov za vodne
organizme na spodnji Savi**

Mirna, september 2023

Raziskovalni projekt financirajo Javna agencija za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije (ARRS) in Ministrstvo za okolje in prostor (MOP) Republike Slovenije po pogodbi št. 2550-22-320002.

Naslov projekta: Raziskava zvezdogleda in platnice na reki Savi in pritokih ter raziskava učinkovitosti ribjih stez/prehodov za vodne organizme na spodnji Savi

Št. projekta: V1-2142

Izvajalca: Gorazd Urbanič – zasebni raziskovalec (G4U)



Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo
(UL-FGG)

Univerza v Ljubljani
Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo



Vodja projekta: Prof. dr. Gorazd Urbanič, univ. dipl. biol.

Avtorji: Prof. dr. Gorazd Urbanič, univ. dipl. biol.
Znan. sod. dr. Andrej Vidmar, univ. dipl. ing. grad.
Izr. prof. dr. Andrej Kryžanowski, univ. dipl. ing. grad.
Asist. dr. Mateja Klun, mag. inž. ok. grad.
Izr. prof. dr. Simon Rusjan, univ. dipl. inž. vod. in kom. inž.
Asist. dr. Klaudija Lebar, univ. dipl. inž. vod. in kom. inž.

Kraj in datum: Mirna, september 2023

KAZALO VSEBINE

1. UVOD	10
1.1 <i>Izhodišča in opredelitev problema</i>	10
1.2 <i>Organizacija raziskovalnega projekta</i>	11
1.3 <i>Pregled literature</i>	13
2. METODE IN MATERIAL	15
2.1 <i>Obstoječi podatki</i>	15
2.2 <i>Habitatske preference platnice in zvezdogleda</i>	15
2.3 <i>Hidravlične meritve</i>	17
2.3.1 Splošno	17
2.3.2 Raziskovalna oprema	17
2.3.3 Izvedba hidravličnih meritev	18
2.4 <i>Mezohabitatske preference zvezdogleda in platnice v velikih rekah</i>	25
2.5 <i>Razvoj metode vzorčenja rib z električno vlečno mrežo v rečnih akumulacijah</i>	25
2.6 <i>Razvoj metode vzorčenja rib ob bregu akumulacije</i>	29
2.6.1 Popis habitatov ob bregu akumulacije	29
2.6.2 Vzorčenje rib ob bregu akumulacij po metodi za habitat značilnega točkovnega vzorčenja	30
2.6.3 Ekološka analiza združb	34
2.7 <i>Razvoj metode vzorčenja rib v prehodu za vodne organizme</i>	35
2.7.1 Popis mezohabitatov v prehodu za vodne organizme	35
2.7.2 Vzorčenje rib v prehodu za vodne organizme po metodi za habitat značilnega elektroribolova in analiza podatkov	36
2.8 <i>Projektno stanje prehoda za vodne organizme HE Brežice</i>	39
2.8.1 Splošni opis	39
2.8.2 Način obratovanja vtočnega objekta	43
2.8.3 Izvedba kontrolnih meritev pretokov v sonaravnem delu PvZO	44
2.9 <i>Raziskave učinkovitosti omilitvenih ukrepov na spodnji Savi</i>	46
2.9.1 Splošno o prehodih za vodne organizme	46
2.9.2 Postavitev video nadzornega sistema v prehodu za vodne organizme HE Brežice	47
2.9.3 Preveritev prisotnosti platnice in zvezdogleda v prehodu za vodne organizme HE Brežice ob interventnem elektroizlovu	49
3. REZULTATI	50
3.1 <i>Habitatske preference rib</i>	50
3.2 <i>Hidravlične značilnosti reke Save in pritokov</i>	56
3.3 <i>Mezohabitatske preference rib v velikih rekah</i>	57
3.4 <i>Metodologija vzorčenja rib v akumulaciji z električno pridneno mrežo</i>	58
3.5 <i>Metodologija vzorčenja rib ob bregu akumulacije</i>	63
3.5.1 Obrežni habitat akumulacije	63
3.5.2 Ribe ob bregu akumulacije	70
3.6 <i>Metodologija vzorčenja rib v sonaravnem odseku prehoda za vodne organizme</i>	73
3.6.1 Mezohabitati sonaravnega odseka prehoda za vodne organizme	73
3.6.2 Ribe v mezohabitatih sonaravnega dela prehoda za vodne organizme	76
3.7 <i>Učinkovitost prehoda za vodne organizme</i>	79
3.7.1 Pretok vode, vodostaj in temperatura vode v kanalu PvZO HE BR	79
3.7.2 Optično sledenje dogodkov v kanalu PvZO HE BR	80
3.7.3 Splošne ugotovitve videonadzora	90
3.7.4 Servisiranje in nadzor delovanja opreme	91
3.8 <i>Platnica in zvezdogleda v prehodu za vodne organizme HE Brežice ob interventnem elektroizlovu</i>	91
3.9 <i>Diseminacija projekta</i>	93
4. RAZPRAVA	94
4.1 <i>Zvezdogled in platnica na območju akumulacije</i>	94
4.2 <i>Metodologije vzorčenja zvezdogleda in platnice v pretočnih akumulacijah</i>	95
4.3 <i>Prehod za vodne organizme</i>	96

4.4	<i>Priporočila za obratovanje prehoda za vodne organizme</i>	97
4.5	<i>Videonadzorni sistem - predlogi in izzivi za naprej</i>	99
5.	POVZETEK IN ZAKLJUČKI.....	100
6.	ZAHVALA.....	102
7.	VIRI.....	103
8.	PRILOGE.....	107

Priloga A. Hidravlične značilnosti reke Save in pritokov – meritve v letu 2022. (v elektronski obliki)

107

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1. Časovni načrt izvedbe projekta in izvajalci posameznih delovnih svežnjev (DS).....	12
Preglednica 2. Tipi habitata v vodi ob bregu akumulacije.....	29
Preglednica 3. Vzorčeni vodni habitati ob bregu akumulacije HE Brežice.	30
Preglednica 4. Mezohabitati z značilnim tipom toka in barvno šifro	36
Preglednica 5. Površina vzorčenih mezohabitatov.....	37
Preglednica 6. Režim pretokov na PzVO skozi letno obdobje	43
Preglednica 7. Delež variabilnosti združb rib pojasnjen s posamezno spremenljivko pokrovnosti tal in hidromorfoloških razmer. (SPP – skupne prispevne površine, NPP – neposredne prispevne površine, P - vrednost statistične značilnosti).....	50
Preglednica 8. Pojasnjevalna sposobnost (R^2) generaliziranih aditivnih modelov razvitih za zvezdogleda in platnico z uporabo različnih spremenljivk pokrovnosti tal (CLC), hidromorfoloških razmer (HM) in sestavljenih gradientov kanonične korespondenčne analize (CCA). V vseh primerih je vrednost statistične značilnosti modela – $P < 0.00001$	52
Preglednica 9. Rezultati hidravličnih meritev na spodnji Savi in pritokih	56
Preglednica 10. Tipi habitata v vodi ob bregu akumulacije HE Brežice septembra 2022.	64
Preglednica 11. PERMANOVA test vodnih habitatov ob bregu akumulacije HE Brežice in lokacije habitata ter njihove interakcije. Df—stopinje prostosti, R^2 – pojasnjena variabilnost, p—verjetnost statistične značilnosti na podlagi 9999 permutacij podatkov. NEK – Nuklearna elektrarna Krško.....	72
Preglednica 12. Klasifikacijska legenda dogodka (datoteka video zapisa)	83

KAZALO SLIK

Slika 1. Organiziranost projekta z delovnimi svežnji (DS) in njihova povezanost.....	12
Slika 2. Skica neposrednega prispevnega območja (oranžno) in skupnega prispevnega območja (oranžno in rumenon) mesta vzorčenja (označeno z rdečo) vodotoka (iz Pavlin, 2012).	16
Slika 3. Meritev hitrostnega profila z akustičnim merilcem na akumulaciji Brežice	18
Slika 4. Meritev hitrostnega profila z ročnim akustičnim merilcem.....	18
Slika 5. Lokacije merskih mest na reki Savi in pritokih	19
Slika 6. Lokacija 1: Savinja – Veliko Širje.....	19
Slika 7. Lokacija 2: Krka – Cerklje na Dolenjskem.....	20
Slika 8. Lokacija 3: Sotla - Rakovec	20
Slika 9. Lokacija 4: Mirna - Dolenji Boštanj.....	21
Slika 10. Lokacija 5: Sava - Sevnica brv	21
Slika 11. Lokacija 6: Sava – HE Blanca, ribja steza	22
Slika 12. Lokacija 7: Sava – HE Brežice, preusmeritvena pregrada	22
Slika 13. Lokacija 8: Sava – HE Brežice, potok Močnik	23
Slika 14. Lokacija 9: Sava – HE Krško, most čez Savo.....	23
Slika 15. Lokacija 10: Sava – Podgračeno	24
Slika 16. Vz dolžna in prečna razdelitev struge velikih rek na habitate. Številke označujejo različne mezohabitate. (Podgornik in Urbanič, 2015)	25
Slika 17. Odsek spodnje Save z označenima hidroelektrarnama (HE) in jedrsko elektrarno (NE) (vir ortofoto posnetka: Atlas okolja, 2022).....	26
Slika 18. Električna pridnena vlečna mreže E-KECE uporabljena pri elektro-izlovu v akumulaciji (foto: G. Urbanič).....	27
Slika 19. Lokacije vzorčnih odsekov v akumulaciji HE Brežice gorvodno od Nuklearne elektrarne Krško (vir ortofoto posnetka: Atlas okolja, 2022).	27
Slika 20. Lokacije vzorčnih odsekov v akumulaciji HE Brežice dolvodno od Nuklearne elektrarne Krško (vir ortofoto posnetka: Atlas okolja, 2022).	28
Slika 21. Lokacije mest (●) za vzorčenje rib ob bregu akumulacije HE Brežice-nad NEK (vir ortofoto posnetka: Atlas okolja, 2022).	31
Slika 22. Lokacije mest (●) za vzorčenje rib ob bregu akumulacije HE Brežice-pod NEK (vir ortofoto posnetka: Atlas okolja, 2022).	32
Slika 23. Lokacija prehoda za vodne organizme hidroelektrarne Brežice (PZVO HEBR) (vir ortofoto: Atlas okolja, 2023).....	35
Slika 24. Prehod za vodne organizme hidroelektrarne Brežice (PZVO HEBR) (vir ortofoto: Atlas okolja, 2023).....	35
Slika 25. Vzorceni mezohabitati (označeni s puščico) za preveritve prisotnosti zvezdogleda in platnice v prehodu za vodne organizme hidroelektrarne Brežice (vir ortofoto: Atlas okolja 2023)	37
Slika 26. Elektroizlov rib z brodenjem	38
Slika 27. Tloris tehničnega dela - vzeto iz IBE načrta gradbenih konstrukcij in drugi gradbeni načrti (IBRB-8G8019).	40
Slika 28. Detajl vtoka - vzeto iz IBE načrta gradbenih konstrukcij in drugi gradbeni načrti (IBRB-8G8027).	41
Slika 29. Navezava na prekatni del prehoda za vodne organizme - vzeto iz IBE načrta gradbenih konstrukcij in drugi gradbeni načrti (IBRB-8G8022).....	42
Slika 30. Prekatni del prehoda za vodne organizme in oznaka vmesnega vodoravnega počivališča....	43
Slika 31. Lokacije merskih profilov na sonaravnem delu PvZO.	45
Slika 32. Izvedba meritev z opremo Sontek z vrvnim upravljanjem.....	46
Slika 33. Izvedba meritev z opremo Sontek z ročnim upravljanjem.	46
Slika 34. Video nadzorni sistem na vtočnem kanalu ribje steze.....	48
Slika 35. Podvodni širokokotni HD kameri	48
Slika 36. Vodomer na lata in kamera.....	48
Slika 37. Dodatni reflektor za nočno snemanje.....	48

Slika 38. Princip določitve velikosti rib	48
Slika 39. Procesorski kontrolni merilnik	48
Slika 40. F1 x F2 diagram kanonične korespondenčne analize (CCA) z okoljskimi spremenljivkami (rdeče puščice) in vrstami rib (modri trikotniki); zvezdogled in platnica sta izpisana zeleno. Za šifre okoljskih spremenljivk glej preglednico 5.....	51
Slika 41. Vennov diagram porazdelitve skupne variabilnosti v razporeditvi združb rib Slovenije med tremi skupinami spremenljivk: naravne značilnosti, raba tal in hidromorfologija.....	52
Slika 42. Generalizirani aditivni modeli za platnico in zvezdogleda na podlagi gradienta 1. osi kanonične korespondenčne analize (CCA1-pokrovnost tal).	53
Slika 43. Generalizirani aditivni modeli za platnico in zvezdogleda na podlagi kmetijske rabe tal v skupnem prispevnem območju (SPP).....	53
Slika 44. Generalizirani aditivni modeli za platnico in zvezdogleda na podlagi urbane rabe tal v skupnem prispevnem območju (SPP).	54
Slika 45. Generalizirani aditivni modeli za platnico in zvezdogleda na podlagi kmetijske rabe tal v neposrednem prispevnem območju (NPP).	54
Slika 46. Generalizirani aditivni modeli za platnico in zvezdogleda na podlagi gradienta 2. osi kanonične korespondenčne analize (CCA2-hidromorfologija).	55
Slika 47. Generalizirani aditivni modeli za platnico in zvezdogleda na podlagi oddaljenosti od dolvodne pregrade.	55
Slika 48. Generalizirani aditivni modeli za platnico in zvezdogleda na podlagi indeksa morfoloških razmer.	56
Slika 49. Frekvenčna razporeditev podatkov o prisotnosti zvezdogleda v mezohabitatih velikih rek. .	57
Slika 50. Povprečna številčnost/ha (\log_{10}) zvezdogleda v mezohabitatih velikih rek.....	57
Slika 51. Frekvenčna razporeditev podatkov o prisotnosti platnice v mezohabitatih velikih rek.....	58
Slika 52. Povprečna številčnost/ha (\log_{10}) platnice v mezohabitatih velikih rek.....	58
Slika 53. Relativna številčnost (CPUE) rib ulovljenih z električno pridneno mrežo v akumulaciji HE Brežice nad in pod Nuklearno elektrarno Krško (NEK) junija 2022.	59
Slika 54. Platnica (<i>Rutilus virgo</i>) ujeta na območju akumulacije HE Brežice (foto: G. Urbanič).	60
Slika 55. Zvezdogled (<i>Romanogobio uranoscopus</i>) ujet na območju akumulacije HE Brežice, fotografiran od strani (a) in od zgoraj (b) (foto: G. Urbanič).	60
Slika 56. Frekvenčni histogram dolžinskih razredov rib ulovljenih z električno pridneno mrežo v akumulaciji HE Brežice junija 2022.....	61
Slika 57. Povezava med številom vrst ulovljenih na dnu akumulacije in oddaljenostjo od gorvodne pregrade v akumulaciji HE Brežice junija 2022 (N = 25).....	61
Slika 58. Lokacija (označeno z modro) ujetih primerkov zvezdogleda (<i>Romanogobio uranoscopus</i>) na območju akumulacije HE Brežice.	62
Slika 59. Frekvenčni histogram dolžinskih razredov osebkov zvezdogleda (<i>Romanogobio uranoscopus</i>) ulovljenih z električno pridneno mrežo v akumulaciji HE Brežice junija 2022.	62
Slika 60. Lokacije (označeno z zeleno) ujetih primerkov platnice (<i>Rutilus virgo</i>) na območju akumulacije HE Brežice.....	63
Slika 61. Frekvenčni histogram dolžinskih razredov osebkov platnice (<i>Rutilus virgo</i>) ulovljenih z električno pridneno mrežo v akumulaciji HE Brežice junija 2022.	63
Slika 62. Obrežni habitati akumulacije HE Brežice-nad Nuklearno elektrarno Krško. Habitat v vodi ob bregu akumulacije so označeni v sredini (tretji z leve in tretji z desne). Za barvne kode habitatov v vodi glej preglednico 10.	64
Slika 63. Obrežni habitati akumulacije HE Brežice- delno nad in delno pod Nuklearno elektrarno Krško. Habitat v vodi ob bregu akumulacije so označeni v sredini (tretji z leve in tretji z desne). Za barvne kode habitatov v vodi glej preglednico 10.	67
Slika 64. Obrežni habitati akumulacije HE Brežice-pod Nuklearno elektrarno Krško. Habitat v vodi ob bregu akumulacije so označeni v sredini (tretji z leve in tretji z desne). Za barvne kode habitatov v vodi glej preglednico 10.	68

Slika 65. Povprečna relativna številčnost ulovljenih vrst rib (CPUE) in standardna napaka (SE) z uporabo metode za habitat značilnega točkovnega vzorčenja rib (HS-PASE) ob bregu akumulacije HE Brežice septembra 2022.	71
Slika 66. Frekvenčni histogram dolžinskih razredov rib ulovljenih po metodi za habitat značilnega točkovnega vzorčenja (HS-PASE) rib ob bregu akumulacije HE Brežice septembra 2022.	71
Slika 67. Ordinacijski diagram nemetričnega multidimenzionalnega skaliranja (NMS1 x NMS2) na podlagi združbe rib akumulacije HE Brežice. Simboli označujejo habitate ob bregu akumulacije: potopljeni makrofiti (◇), kamnito neobraslo dno (+), prodnato neobraslo dno (▲), živi deli kopenskih rastlin (■); faktor stresa (stress) = 0,18.	72
Slika 68. Mezohabitat brzica v prehodu za vodne organizme hidroelektrarne Brežice julija 2023.	74
Slika 69. Mezohabitat brzica-tek v prehodu za vodne organizme hidroelektrarne Brežice julija 2023.	74
Slika 70. Mezohabitat tek v prehodu za vodne organizme hidroelektrarne Brežice julija 2023.	75
Slika 71. Mezohabitat tek-tolmun v prehodu za vodne organizme hidroelektrarne Brežice julija 2023.	75
Slika 72. Mezohabitat tolmun v prehodu za vodne organizme hidroelektrarne Brežice julija 2023. ...	75
Slika 73. Vegetacija prodišč s kategorijama trstičje in zelnata vegetacija v prehodu za vodne organizme hidroelektrarne Brežice julija 2023.	75
Slika 74. Mezohabitati sonaravnega odseka prehoda za vodne organizme hidroelektrarne Brežice julija 2023.	76
Slika 75. Za mezohabitat značilna povprečna številčnost vrst rib v sonaravnem odseku prehoda za vodne organizme hidroelektrarne Brežice julija 2023.	77
Slika 76. Povpračna številčnost (osebkov/ha) (modro) in standardna napaka (oranžno) v mezohabitatih prehoda za vodne organizme hidroelektrarne Brežice julija 2023.	77
Slika 77. Povprečna vrstna pestrost (modro) in standardna napaka (oranžno) v mezohabitatih prehoda za vodne organizme hidroelektrarne Brežice julija 2023.	78
Slika 78. Frekvenčni histogram dolžinskih razredov osebkov platnice (<i>Rutilus virgo</i>) ulovljenih v prehodu za vodne organizme HE Brežice julija 2023.	78
Slika 79. Platnica ulovljena v prehodu za vodne organizme hidroelektrarne Brežice.	78
Slika 80. Beloplavuti globoček ulovljen v prehodu za vodne organizme hidroelektrarne.	79
Slika 81. Navadni globoček ulovljen v prehodu za vodne organizme hidroelektrarne Brežice.	79
Slika 82. Temperatura vode in spreminjanje vodostaja na tehničnem delu prehoda za vodne organizme HE Brežice od 7.3.2023 do 6.7.2023.	79
Slika 83. Namestitev belega ozadja za doseg večjega kontrasta pri video zajemu.	82
Slika 84. Klasifikacijska legenda dogodka.	82
Slika 85. Pridnena riba od 23.5.2022 do 26.5.2022 se pojavi na 343 dogodkih.	83
Slika 86. Pridnena riba, pohra.	84
Slika 87. Rdečeoka in zelenike.	84
Slika 88. Klen.	85
Slika 89. Androga.	85
Slika 90. Plavje, drugo.	86
Slika 91. Zelenika.	86
Slika 92. Pisanka.	87
Slika 93. Som.	87
Slika 94. Glava soma.	88
Slika 95. Ščuka.	88
Slika 96. Vidra (z ribo v gobcu).	89
Slika 97. Bober.	89
Slika 98. Del odseka – “brzica” prehoda za vodne organizme HE Brežice dne 1.10.2022. Vir: https://www.ribiska-druzina-brezice.si/obvestila/izlov-ribje-steze-he-brezice-2022 (pridobljeno 16.3.2023).	92
Slika 99. Del odseka – “tolmun” prehoda za vodne organizme HE Brežice dne 8.10.2022 ob interventnem izlovu rib RD Brežice (foto: G. Urbanič).	92
Slika 100. Del odseka – “brzica” prehoda za vodne organizme HE Brežice dne 8.10.2022 (foto: G. Urbanič).	92

Slika 101. Kopičenje plavja pred vtočnim objektom v PvZO.	98
Slika 102. Deflektor na vtoku v ribjo stezo na jezu Ambrož na Ljubljanici	98

1. UVOD

1.1 Izhodišča in opredelitev problema

Slovenija je v svojih strateških dokumentih opredelila, da bo do leta 2050 podnebno nevtralna in na podnebne razmere odporna družba na temeljih trajnostnega razvoja. V tem kontekstu je potrebno izpostaviti pridobivanje energije iz obnovljivih virov ob sočasnem ohranjanju narave. Kot prednostno je navedena učinkovitost ravnanja z energijo, z upoštevanjem načela podnebne pravičnosti. Ključni razvojni problem, ki ga je potrebno razrešiti je v tem, da je zagotovljena raba obnovljivih virov energije in kako zadostiti razvojnim ciljem, vendar na način, da se sočasno ohranjajo vsi elementi zdravega naravnega okolja. Z deležem rabe obnovljivih virov, ki predstavlja manj kot 22% deleža v bruto končni rabi energije Slovenija ne dosega kriterija, ki je bil postavljen za letno ciljno vrednostjo 25% v 2020. Prav tako pri proizvodnji električne energije ta cilj (39,3%) z dejanskim deležem okoli 33% ni dosežen. Kot spodbuda za razvoj proizvodnje električne energije iz OVE so na voljo finančne spodbude v okviru podporne sheme, kot tudi posebna zakonska podlaga v podporo izgradnji HE na spodnji Savi (ZPKEPS, UL RS 87/11, 25/14, 50/14, 67/17 in 65/20). NEPN kot ciljno vrednost za leto 2030 določa vsaj 27% delež obnovljivih virov v bruto končni rabi energije oziroma 43% delež v sektorju proizvodnje električne energije. Tudi dolgoročno pričakujemo še nadaljnje povečevanje deležev proizvodnje električne energije iz obnovljivih virov, pri čemer se v ciljnem letu 2050 pričakuje najmanj 80% delež obnovljivih virov v bruto končni rabi električne energije. Izkoriščanje vodne energije ima v Sloveniji prednost v tehnologijah pred drugimi viri in tudi omogočajo vključevanje ostalih obnovljivih virov v elektroenergetski sistem, kot zagotavljanje sistemskih storitev. Hidroenergetiki je v strateških dokumentih tudi dodeljena vloga v širšem kontekstu upravljanja z vodami. V temu kontekstu so projekti izgradnje hidroelektrarn mišljeni kot večnamenski, kjer predstavlja energetska raba zgolj enega od ciljev, ki jih rešujemo s tovrstnimi projekti. Prav na primeru izgradnje verige HE na spodnji Savi je, ob izrabi vodnega potenciala, izpostavljen cilj zagotavljanje poplavalne varnosti, kot ohranjanje bivanjskih pogojev za združbe, ki naseljujejo ta prostor.

Narava v Sloveniji je med bogatejšimi v Evropski uniji. Več kot polovico Slovenije predstavljajo območja posebnega pomena (56 % - Natura 2000, zavarovana območja, naravne vrednote, ...) in 355 območij Nature 2000 pokriva dobrih 37 % ozemlja države Slovenije. V okviru Nature 2000 v Sloveniji varujemo 205 živalskih in 27 rastlinskih vrst (vrste Nature 2000) ter 60 tipičnih naravnih okolij (habitatni tipi Nature 2000), kar predstavlja nekaj več kot 10 % vseh vrst in tipičnih naravnih okolij (habitatnih tipov) Nature 2000 v EU. V okviru nature v Sloveniji varujemo tudi zvezdogleda (*Romanogobio uranoscopus*) in platnico (*Rutilus virgo*). Izvajanje Direktive o habitatih vključuje tudi redno spremljanje (in poročanje Evropski uniji) stanja določenih vrst rib, zlasti ugotavljanje doseganja ciljev Direktive o habitatih. Kratkoročni cilj je zagotoviti podatke o prisotnosti in dinamiki populacij ciljnih vrst rib na najpomembnejših območjih za ohranjanje prosto živečih vrst rib in njihovih habitatov v Sloveniji. Dolgoročni cilj za namene izvajanja Direktive o habitatih je redno pridobivanje primerljivih podatkov o stanju populacij zlasti vrst iz Prilog II in IV na katerih sta tudi platnica in zvezdogled.

Namen tega Ciljnega raziskovalnega projekta (CRP) je pridobiti vse potrebne relevantne podatke o zvezdogledu in platnici: zbrati vse relevantne obstoječe podatke, preveriti te podatke na terenu, s terenskim delom pridobiti nove podatke, ki jih je treba vključiti v razvoj metodologije za raziskavo zvezdogleda in platnice na Savi in pritokih, kot tudi na območju elektrarn. Vežano na hidroelektrarne pa se bo analiziral tudi vpliv učinkovitosti obstoječih ukrepov na spodnji Savi (prehodi za vodne organizme) z izvedbo hidravličnih meritev in analiz delovanja objektov, kot tudi vpeljava inovativnih tehnik sledenja migracije vodnih organizmov. Prehodi za vodne organizme so umetno zgrajeni objekti z namenom premostitve višinske razlike na delu vodotoka, ki je pregrajen in zajezen. Cilj takšnih objektov je, da se umiri vodni tok in s tem omogoči prehod vodnim organizmom. Velikokrat se zgodi, da je seveda zasnova teoretično ustrezna, a v praksi pa se pokažejo določene pomanjkljivosti. Problemi nastanejo, ko obstajajo točke oziroma mesta oteženega prehoda s premočnim vodnim tokom.

Podobno analogijo bi lahko prikazali pri navadnih stopnicah. Če bi bila samo ena od stopnic dvakrat ali trikrat višja kot ostale, bi takšne stopnice izgubile svojo osnovno funkcijo, kot naprava za premagovanje višinske razlike. Na ribjih stezah, je pa takšna mesta oteženega in onemogočenega prehajanja, možno tehnično diagnosticirati zgolj s hidrometričnimi meritvami. Vodni tok je kompleksen in specifičen fizikalni pojav, z njim se ukvarja hidrometrija, ki je del vede hidrologije in zahteva strokovnjake s praktičnimi večletnimi izkušnjami. Namen projekta je, da poda izhodišča za izvajanje potrebnih hidrometričnih meritev, kdaj, kje in kako. Rezultat projekta bi bila pridobljena praktična znanja, da se bodo lahko določila potrebna merska mesta, načini in metode izvajanja hidrometričnih meritev. Pridobljena znanja bo možno aplicirati na vseh podobnih objektih, za potrebe ugotavljanja učinkovitosti delovanja prehodov za vodne organizme.

Cilji raziskovalnega projekta so:

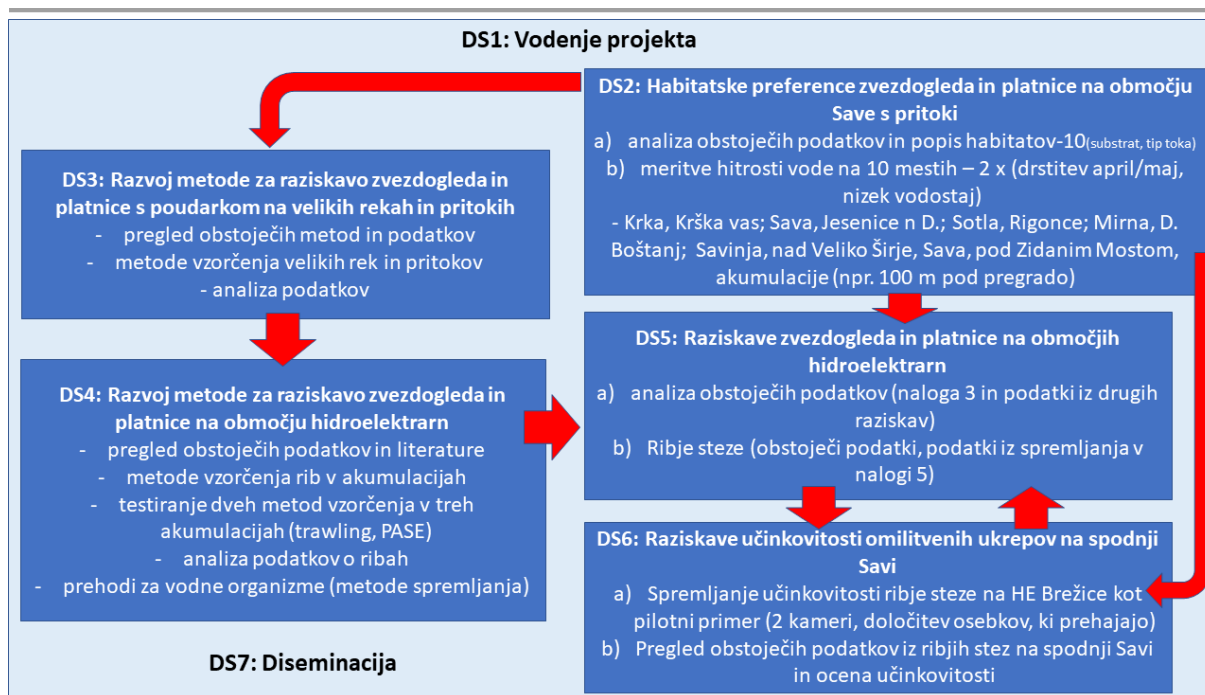
- raziskava populacije zvezdogleda in platnice na Savi in pritokih;
- razvoj metode za raziskavo zvezdogleda in platnice;
- razvoj metode za raziskavo zvezdogleda in platnice v območjih hidroelektrarn;
- raziskava zvezdogleda in platnice na območjih hidroelektrarn na Savi;
- raziskave učinkovitosti omilitvenih ukrepov na Spodnji Savi (ribje steze, prehodi za ribje organizme itd.).

1.2 Organizacija raziskovalnega projekta

Raziskovalni projekt je organiziran v sedem delovnih svežnjev (DS), ki so medsebojno povezani (slika 1):

- 1) DS 1: Vodenje projekta
- 2) DS 2: Habitatske preference zvezdogleda in platnice na območju Save s pritoki
- 3) DS 3: Razvoj metode za raziskavo zvezdogleda in platnice s poudarkom na velikih rekah in pritokih
- 4) DS 4: Razvoj metode za raziskavo zvezdogleda in platnice na območju hidroelektrarn
- 5) DS 5: Raziskave zvezdogleda in platnice na območjih hidroelektrarn
- 6) DS 6: Raziskave učinkovitosti omilitvenih ukrepov na spodnji Savi
- 7) DS 7: Diseminacija

Projekt izvajamo dve leti in sicer od 1.10.2021 do 30.9.2023. Časovni načrt izvedbe nalog in izvajalci posameznih delovnih svežnjev (DS) so prikazani v preglednici 1. Glede na časovni načrt projekta v tem delnem poročilu predstavljamo delne vsebine za delovne svežnje 2, 3, 4, 6 in 7.



Slika 1. Organiziranost projekta z delovnimi svežnji (DS) in njihova povezanost.

Preglednica 1. Časovni načrt izvedbe projekta in izvajalci posameznih delovnih svežnjev (DS)

Delovni sveženj/trimesečje	1. leto				2. leto			
	1-3	4-6	7-9	10-12	13-15	16-18	19-21	22-24
DS1 Vodenje projekta	G ₄ U							
DS2 Habitatske preference zvezdogleda in platnice na območju Save s pritoki	G ₄ U, UL-FGG							
DS3 Razvoj metode za raziskavo zvezdogleda in platnice s poudarkom na velikih rekah in pritokih			G ₄ U					
DS4 Razvoj metode za raziskavo zvezdogleda in platnice na območju hidroelektrarn		G ₄ U						
DS5 Raziskave zvezdogleda in platnice na območjih hidroelektrarn					G ₄ U			
DS6 Raziskave učinkovitosti omilitvenih ukrepov na spodnji Savi		UL-FGG						
DS7 Diseminacija	G ₄ U, UL-FGG							

 G₄U – Gorazd Urbanič – zasebni raziskovalec, UL-FGG – Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo.

1.3 Pregled literature

Zvezdogled in platnica sta vrsti donavskega porečja (Kottelat in Freyhof 2007). Za Slovenijo je navedeno, da vrsti vsaj delno naseljujeta iste vodotoke; platnico najdemo v vseh vodotokih donavskega porečja, največje populacije pa so v porečju Ljubljanice, spodnjem toku Save, Mirni, Krki in Kolpi (Povž in Sket 1990, Podgornik in sod. 2012), medtem ko zvezdogled naseljuje Savo ter spodnje odseke nekaterih njenih večjih pritokov (Sore, Ljubljanice, Savinje, Mirne, Krke, Kolpe), naravni odsek struge Drave in Muro. Čeprav naseljujeta iste vodotoke, se vrsti po podatkih iz literature biološko in ekološko razlikujeta. Zvezdogled je majhna riba (10-15 cm), ki živi samotarsko v brzicah manjših ter dnu velikih hitrotekočih rek (reofilna vrsta) s kamnitim in prodnatim dnom. Pojavlja se v pasu mreine in lipana (Mrakovčič in sod. 2006), kjer so hitrosti vodnega toka večje od 0,7m/s. Mlajši osebki imajo rajši počasnejši tok vode in obalne habitate s peščenim dnom (Bless 1997). Drsti se v plitvih habitatih z zelo hitrim tokom (okoli 1 m/s). Drst poteka na peščenih ali prodnatih tleh izlivnih delov potokov, kjer je voda plitva in hitro tekoča. Samica odloži ikre na kamenje ali na pesek, redkeje tudi na vodno rastlinje (Povž in Sket 1990, Mrakovčič in sod. 2006). Drst poteka maja in junija. Ogrožajo ga hidroregulacije in onesnaženje vode, na katero je najbolj občutljiv med vsemi globočki. Platnica je precej večja riba (do 60 cm), ki živi v zmerno hitro tekočih srednje velikih do velikih vodotokih. V času drsti zahaja tudi v manjše vodotoke s potopljenim vodnim rastlinjem in/ali prodnatim dnom. Tudi takrat ji ustreza hitrejši vodni tok. Drsti se aprila do maja v pritokih in rečnih rokavih, ikre običajno odlaga na rastlinje ali na dno. Platnica se hrani z vodnim rastlinjem in z vodnimi nevretenčarji. Platnica je prisotna tudi v mestoma zelo počasi tekočih rekah (Ljubljanica, Krka, Kolpa), po podatkih iz Ukrajine je prisotna v rekah s hitrostjo vodnega toka 0,1 m/s (Talabishka s sod. 2015). Čeprav obstaja precej navedb o ekoloških značilnostih obeh vrst vključno s habitatom, ki ga vrsti poseljujeta, so podatki o ekoloških preferencah platnice in zvezdogleda v literaturi osnovane na opažanjih in pogosto navedene v splošnih (favniističnih) knjigah o ribah (npr. Povž in Sket 1990, Dušling in sod. 2004, Mrakovčič in sod. 2006, Kottelat in Freyhof 2007, Čaleta in sod. 2015). Nekatere navedene ekološke značilnosti vrst so včasih nasprotujoče; npr. Čaleta in sod. (2015) navajajo, da platnica potuje do 150 km, medtem ko Dušling in sod. (2004) navajajo, da platnica potuje na kratke razdalje, kar je lahko posledica regionalnih razlik ali lokalnih opažanj. Po našem vedenju ni objavljenih raziskav, kjer bi ugotavljali povezave med združbami rib v katerih sta prisotni platnica in/ali zvezdogled ter naravnimi in antropogenimi okoljskimi dejavniki, ki ključno vplivajo na njuno prisotnost in številčnost. Čeprav so bili tekom različnih spremljanj stanja v Sloveniji (monitoringov) pridobljeni številni podatki, še ni bilo narejene analize podatkov, na podlagi katerih bi se lahko določilo habitatske preference pod vplivom naravnih (velikost vodotoka, temperatura, pretok) in antropogenih dejavnikov (npr. prečni objekti, raba zemljišč, hidromorfološka spremenjenost) ter ugotovilo kakšne habitate vrsti naseljujeta, katere preferirata in kje sta vrstni prisotni vendar v združbi rib zaradi naravnih značilnosti subdominantni ali redki. Ribe se odzivajo na lokalne in regionalne okoljske dejavnike, pri čemer se odzivi posameznih vrst razlikujejo (Pont in sod. 2011, Knehtl in sod. 2021). Pont in sod. (2011) so z uporabo modela lokalnih in regionalnih dejavnikov pravilno napovedali pojavljanja oz. prisotnosti večine od preverjenih vrst rib, vendar platnice in zvezdogleda niso upoštevali. Ugotovitve modelov so pomembne za določitev optimalnih in suboptimalnih habitatov za posamezno vrsto ter z vidika vrednotenja stanja populacij. Določitev izhodiščnih razmer za posamezno vrsto (npr. demografske značilnosti populacij) za posamezen vodotok oz. njegov odsek je ključna za ugotavljanje stanja, saj se v nadaljnjih raziskavah/vrednotenjih ugotovitve primerjajo z izhodiščnimi vrednostmi. Z vidika vrednotenja ekološkega stanja voda v Sloveniji je bilo določeno, katere vrste so značilne za posamezne ribje tipe in kje v Sloveniji so ribji tipi prisotni. Določene so bil tudi za tip značilne ekološke preference združb rib (Podgornik in Urbanič 2011, 2012, 2014, 2015, 2016, Urbanič in Podgornik 2017).

Za ugotavljanje stanja ohranjenosti populacij ciljnih vrst znotraj Natura 2000 območij je predlagana ocenitev 3 parametrov: prostorske razširjenosti vrste, številčnosti populacije in demografske strukture populacije (starostna struktura in njihovi deleži) (Cowx in sod. 2003). Ugotoviti je treba metode vzorčenja s katerimi pridobimo reprezentativne podatke o prisotnosti in številčnosti osebkov posamezne vrste (platnica, zvezdogled) ter njeni starostni strukturi. V prebrodljivih vodotokih je

metoda elektroribolova z brodenjem (EN 14011:2003) ustreza, saj lahko s kvantitativnim vzorčenjem in totalnim izlovom ugotovimo številčnost in starostno strukturo prisotnih vrst. Teže je ustrezne podatke pridobiti v neprebrotljivih vodotokih (velike reke, pretočne akumulacije). V velikih rekah se najpogosteje se uporablja metoda elektroribolova s čolnom, s katero lahko pridobimo ustrezne podatke do globine vode 2 m (Zajicek in Wolter 2018). Z izgradnjo hidroelektrarne za prečnim objektom običajno nastane zajezev. V zajezenem delu se poveča globina vode, spremeni se hitrost vodnega toka, ki se pogosto upočasni, kar vpliva tudi na strukturo substrata dna akumulacije ter vodne organizme. S povečano globino vode, spremenjenim substratom in zmanjšano hitrostjo vodotoka se spremenijo tudi razmere za vzorčenje rib. Metode vzorčenja, ki so bile ustrezne v naravnih vodotokih, pogosto postanejo neustrezne. V stoječih vodah se pogosto uporablja metoda ribolova z zabodnimi mrežami (EN 14757:2015) v kombinaciji z elektroribolovom v priobalnem delu. Ta metoda vzorčenja se uporablja tudi v Sloveniji v povezavi z metodologijo vrednotenja ekološkega stanja jezer (Podgornik in sod. 2016, Urbanič in Podgornik 2017, 2018). Večina hidroelektrarn na spodnji Savi je pretočnega tipa, kar pomeni, da reke dobijo značaj počasi tekoče velike reke. Ugotovljeno je bilo, da je metoda elektroribolova s čolnom ustreza za vrednotenje ekološkega stanja, vendar ni zadostna za ugotavljanje številčnosti redkih rib, migrirajočih vrst in vrst rib iz dodatka Habitatne direktive (Zajicek in Wolter 2018). Isti avtorji predlagajo, da se v velikih globokih rekah za "Natura2000" vrste rib uporablja poleg elektroribolova še druge metode vzorčenja npr. vlečna mreža, driftna mreža, zabodne mreže, s katerimi lahko ustreznejo zajamemo vrste, ki živijo na dnu (bentivorne vrste) ali v predelih struge z globino > 2m. S primerjavo dodatnih metod vzorčenja so največjo največjo učinkovitost ugotovili z uporabo vlečnih mrež. Ustreznost vlečnih mrež za ulov pridnenih (bentoških) in migrirajočih vrst (tudi platnice) so ugotovili tudi na akumulacijah reke Drave (Honsing-Erlenburg in sod. 2008) in reki Donavi (Szalóky in sod. 2021).

Prehodi za vodne organizme so umetno zgrajeni objekti z namenom premostitve višinske razlike na delu vodotoka, ki je pregrajen in zajezen. Cilj takšnih objektov je, da se umiri vodni tok in s tem omogoči prehod vodnim organizmom. Velikokrat se zgodi, da je seveda zasnova teoretično ustreza, a v praksi pa se pokažejo določene pomanjkljivosti. Problemi nastanejo, ko obstajajo točke oziroma mesta oteženega prehoda s premočnim vodnim tokom. Podobno analogijo bi lahko prikazali pri navadnih stopnicah. Če bi bila samo ena od stopnic dvakrat ali trikrat višja kot ostale, bi takšne stopnice izgubile svojo osnovno funkcijo, kot naprava za premagovanje višinske razlike. Na ribjih stezah, je pa takšna mesta oteženega in onemogočenega prehajanja, možno tehnično diagnosticirati zgolj s hidrometričnimi meritvami. Vodni tok je kompleksen in specifičen fizikalni pojav, z njim se ukvarja hidrometrija, ki je del vede hidrologije in zahteva strokovnjake s praktičnimi večletnimi izkušnjami. Namen projekta je, da poda izhodišča za izvajanje potrebnih hidrometričnih meritev: kdaj je izkazana potreba, kje so ovire pri prehodu organizmov in kako izvesti meritve, da dobimo relevantne informacije za analizo učinkovitosti delovanja prehodov za vodne organizme. Rezultat projekta bi bila pridobljena praktična znanja, da se bodo lahko določila potrebna merska mesta, načini in metode izvajanja hidrometričnih meritev. Pri tem bi izpostavili, da je ključnega pomena poznavanje hitrostnega polja od katerega je odvisna plavalna sposobnost ciljnih vrst pri prehodu za vodne organizme. Pridobljena znanja bo možno aplicirati na vseh podobnih objektih, za potrebe ugotavljanja učinkovitosti delovanja prehodov za vodne organizme. Pri realizaciji projekta se bomo navezali na izkušnje pridobljene v sklopu LIFE projekta Ljublanica povezuje (LIFEIONAT/SI/I42). V okviru projekta je bila vzpostavljena prehodnost za migracijo ciljnih ribjih vrst (sulec, platnica in blistavec) iz Save v Ljublanico, ki spadajo med ogrožene vrste reke Ljubljanice. V okviru projekta je bila vpeljana metoda neinvazivnega monitoringa prehodnosti rib in vodnih organizmov čez ribje steze. Metodologija temelji na video zajemu organizmov, ki prehajajo preko ribje steze z možnostjo prepoznavanja vrst in števila prehodov organizmov v določenem časovnem obdobju.

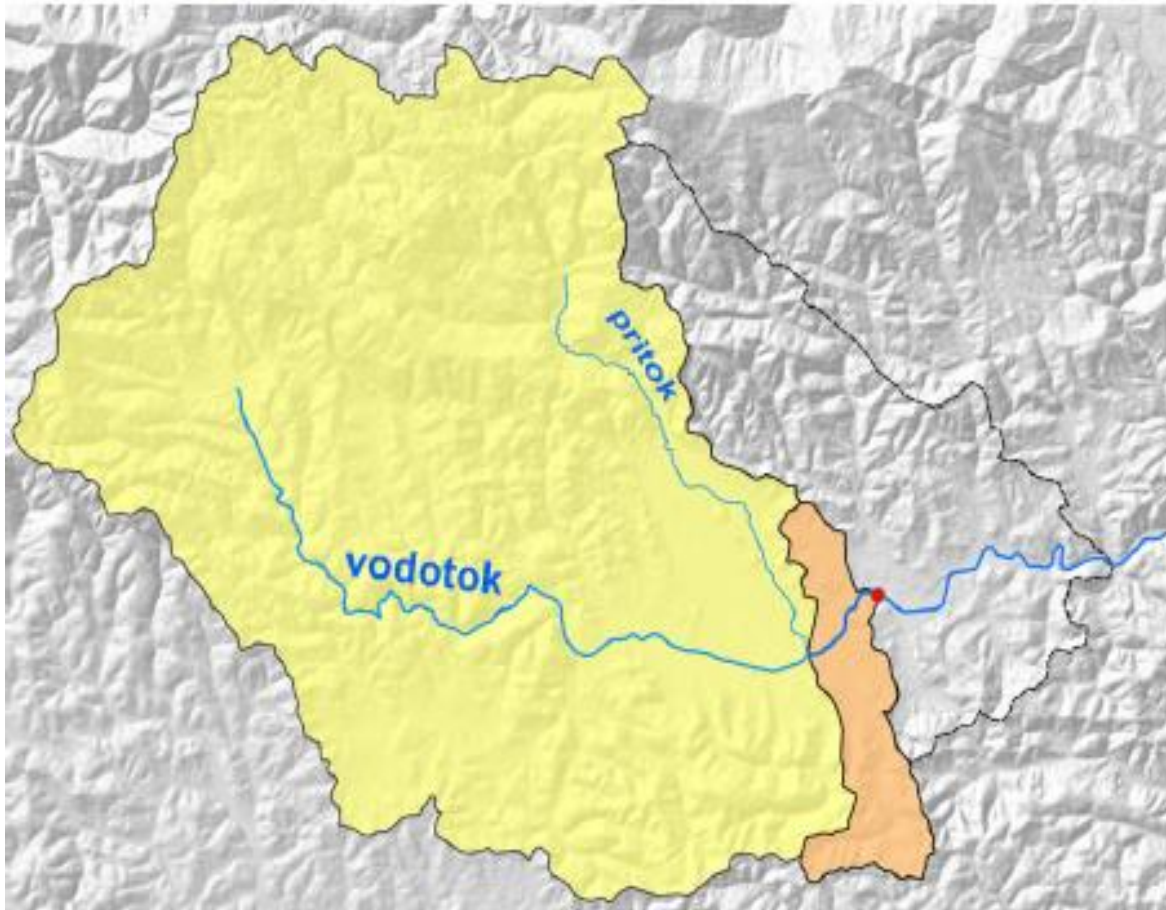
2. METODE IN MATERIAL

2.1 Obstoječi podatki

Podatke o združbah rib s prisotno platnico in/ali zvezdogledom v Sloveniji smo pridobili iz obstoječih monitoringov stanja voda in/ali vrst ter raziskav npr. monitoring ekološkega stanja voda na podlagi rib (ARSO 2021), monitoring Natura2000 ribjih vrst (ZZRS 2021), monitoring ribjih združb na območju hidroelektrarn in pritokov pred in po izgradnji (HESS; npr. Šumer in sod. 2004), raziskav razvoja metod vrednotenja ekološkega stanja in upravljanja voda (IzVRS, npr. Podgornik in Urbanič 2011, 2012, 2014, 2015, 2017, Urbanič in Podgornik 2017, Urbanič in sod. 2018). Podatke o značilnostih okoljskih dejavnikov (npr. raba zemljišč, hidromorfološke obremenitve) na posameznih odsekih vodotokov, kjer so vzorčene ribe, smo pridobili z obstoječih slojev z GIS analizami (EEA 2012, Urbanič in sod. 2018). GIS analize smo izvedli s programskim orodjem QGIS (QGIS.org, 2021).

2.2 Habitatske preference platnice in zvezdogleda

Določitev habitatskih preferenc in širine habitatske valence posameznih vrst je ključno za razumevanje optimalnih in suboptimalnih habitatov za posamezno vrsto ter z vidika vrednotenja stanja populacij. S poznavanjem habitatskih preferenc ciljne vrste smo ugotavljali preference posamezne vrste glede na izbrane okoljske spremenljivke. Habitatske preference vrste v kombinaciji z naravnimi značilnostmi vodotoka predstavljajo izhodišče za ugotavljanje stanja. Izhodišče je pomembno, saj se v nadaljnjih raziskavah/vrednotenjih ugotovitve primerjajo z izhodiščnimi vrednostmi oz. izhodiščnim stanjem. V predhodnih raziskavi smo ugotovili (Knehtl in sod. 2021), da so za ribe v velikih rekah pomembne tako regionalne kot lokalne spremenljivke, zato smo pri razvoju modelov habitatskih preferenc zvezdogleda (*Romanogobio uranoscopus*) in platnice (*Rutilus virgo*) upoštevali obe skupini spremenljivk. V analizi smo upoštevali spremenljivke hidromorfoloških razmer in rabe tal in sicer, oddaljenost prečnega objekta od dolvodnega prečnega objekta (Urbanič in sod. 2018), oddaljenost prečnega objekta od gorvodnega prečnega objekta (Urbanič in sod. 2018), dolžina prostega odseka (Urbanič in sod. 2018), indeks morfoloških razmer (HM5) (Urbanič in sod. 2018), indeks hidrološke kakovosti-razred (HLM) (Tavzes in Urbanič 2009, Urbanič 2014, Urbanič in sod. 2018) in parametre pokrovnosti tal po Corine land Cover (EEA, 2012); delež naravnih površin v skupnem prispevnem območju (SPP), delež naravnih površin v neposrednem prispevnem območju (NPP), delež kmetijskih površin v SPP, delež kmetijskih površin v NPP, delež urbanih površin v SPP in delež urbanih površin v NPP. Kot (NPP) smo določili del območja SPP gorvodno od mesta vzorčenja do priključitve pomembnejšega vodotoka (prispevno območje $>10 \text{ km}^2$) oz. kraškega izvira (prispevno območje $>10 \text{ km}^2$) (slika 2). V primeru vzorčnih mest s prispevnim območjem $< 10 \text{ km}^2$, smo upoštevali, da je NPP enak SPP.



Slika 2. Skica neposrednega prispevnega območja (oranžno) in skupnega prispevnega območja (oranžno in rumenon) mesta vzorčenja (označeno z rdečo) vodotoka (iz Pavlin, 2012).

Z razvojem modelov na podlagi lokalnih in regionalnih dejavnikov, ki odražajo naravne in antropogene značilnosti, so razviti modeli primerni za ugotavljanje pojavljanja oz. prisotnosti zvezdogleda in platnice v velikih rekah vključno s Savo s pritoki glede na trenutne habitatske značilnosti. Pri razvoju modelov smo upoštevali tudi prisotnost in številčnost drugih vrst rib, ki lahko pomembno vplivajo na prisotnost in številčnost posamezne ciljne vrste. Najprej smo analizirali odnose med združbami rib v katerih sta prisotna tudi platnica in zvezdogled ter spremenljivkami rabe tal (Corine Land Cover) in hidromorfoloških značilnosti. Uporabili smo kanonično korespondenčno analizo (CCA) v programskem paketu CANOCO 5 (Lepš in Šmilauer 2003). Podatke o številčnosti ribjih vrst (taksonov) smo pretvorili z logaritemsko funkcijo ($\ln(x+1)$) in uporabili možnost »downweighting of rare species«. Parametre oddaljenost od dolvodnega prečnega objekta, oddaljenost od gorvodnega prečnega objekta in dolžino prostega odseka smo transformirali z logaritemsko funkcijo ($\log(x+1)$) in te podatke uporabili v nadaljnjih analizah. Pri kanonični korespondenčni analizi (CCA) smo uporabili možnost izbiranja spremenljivk (forward selection). Rezultate CCA smo uporabili za ugotavljanje habitatskih preferenc zvezdogleda in platnice v vodotokih v Sloveniji. Za obe vrsti smo izvedli tudi modeliranje spreminjanja številčnosti obeh vrst glede na izbrano spremenljivko rabe tal, hidromorfoloških razmer in vrednosti sestavljenih gradientov dobljenih s 1. osjo CCA in 2. osjo CCA. Modeliranje smo izvedli z uporabo generaliziranih aditivnih modelov (GAM) z eno neodvisno spremenljivko v programskem paketu CANOCO 5.

Ugotavljali smo tudi, koliko variabilnosti združb rib je povezanih s skupinami spremenljivk in ne le s posameznimi spremenljivkami. Kadar imamo dve skupini ali več skupin spremenljivk, s katerimi pojasnjujemo variabilnost združbe organizmov, lahko za to uporabimo metodo delne kanonične

korespondenčne analize (pCCA) (Borcard in sod., 1992; Økland in Eilertsen, 1994). Za porazdelitev variabilnosti združbe rib smo uporabili tri skupine spremenljivk in sicer raba tal, hidromorfologija in naravne značilnosti. V skupino naravne značilnosti smo uvrstili spremenljivke pripadnosti hidroekoregiji (Urbanič 2008). Uporabili smo naslednje hidroekoregije: Alpe, Dinaridi, Panonska nižina in Padska nižina, ki smo jih za potrebe analize binarno kodirali in dobili tri neodvisne spremenljivke. Z analizo pCCA smo pojasnjeno variabilnost združbe rib razdelili na t. i. presečni del in disjunktni del. Presečni del pojasnjene variabilnosti smo statistično značilno ($P < 0,05$) pojasnili z dvema obravnavanima skupinama spremenljivk ali več obravnavanimi skupinami spremenljivk. Disjunktni del pojasnjene variabilnosti združbe rib smo statistično značilno ($P < 0,05$) pojasnili le s posamezno od obravnavanih skupin spremenljivk. pCCA smo izvedli v programskem paketu CANOCO 5 (Lepš in Šmilauer 2003).

2.3 Hidravlične meritve

2.3.1 Splošno

Pri migraciji rib je ključnega pomena, da so zagotovljeni ustrezni pogoji, ki omogočajo posameznimi vrstam prehodnost po rečni strugi. V prvi vrsti morajo biti izpolnjeni hidravlični pogoji, ki ustrezajo plavalnim sposobnostim vrstam, ki migrirajo vzdolž toka. Ključnega pomena je hitrost vodnega toka, ki ustreza plavalnim sposobnostim posamezni ribji vrsti. Značilnosti naravnega vodnega toka so posamezni lokalni pojavi (tolmuni z umirjenim tokom, brzice, prelive, ...), ki so posledica ovir v vodnem toku, ki pa pomagajo vodnim organizmom pri prehodu posameznih rečnih odsekov. Ta spreminjajoči hidravlični režim omogoča, da se vodni organizmi premikajo vzdolž vodnega toka glede na plavalne sposobnosti posamezne vrste. Zato je za preučevanje prehodnosti posameznih rečnih odsekov za vodne organizme ključnega pomena poznavanje hitrostnega polja. S konvencionalnimi metodami (hidrometrijska krilca) je identifikacija hitrostnega polja na določenem odseku v praksi težko izvedljiva, da pa so meritve izvedene v dovolj kratkem časovnem koraku, ki je dovolj reprezentativen za identifikacijo hitrostnega polja, pa s konvencionalno opremo ni mogoče doseči.

2.3.2 Raziskovalna oprema

V raziskovalnem projektu uporabljamo mersko opremo, ki pomeni najmodernejšo razpoložljivo tehnologijo v svetu, ki temelji na akustičnih merilcih s pomočjo Dopplerjevega principa (točkovnega, linijskega in prostorskega) zajema meritev hitrosti in omogoča kreiranje 3D hitrostnega polja. Merska oprema omogoča kreiranje hitrostnega polja po posameznih profilih v realnem času, kar je bistvenega pomena za preučevanja hidravličnih pogojev v času migracije vodnih organizmov vzdolž vodotoka oz. na ribjih stezah. Za ta namen uporabljamo različno mersko opremo, glede na velikost vodotoka in čas izvajanja meritev:

- za določitev hitrostnega profila na večjih vodotokih uporabljamo akustični Doppler 3D merilec River Surveyor (Sontec), ki je nameščen na posebnem plovilu in se na manjših vodotokih upravlja z potezno vrvjo ali pa s čolnom na večjih vodotokih (slika 3);
- za določitev hitrostnega profila na manjših vodotokih uporabljamo akustični Doppler 2D (3D) merilec Flow Tracker (Sontec) (slika 4);



Slika 3. Meritev hitrostnega profila z akustičnim merilcem na akumulaciji Brežice



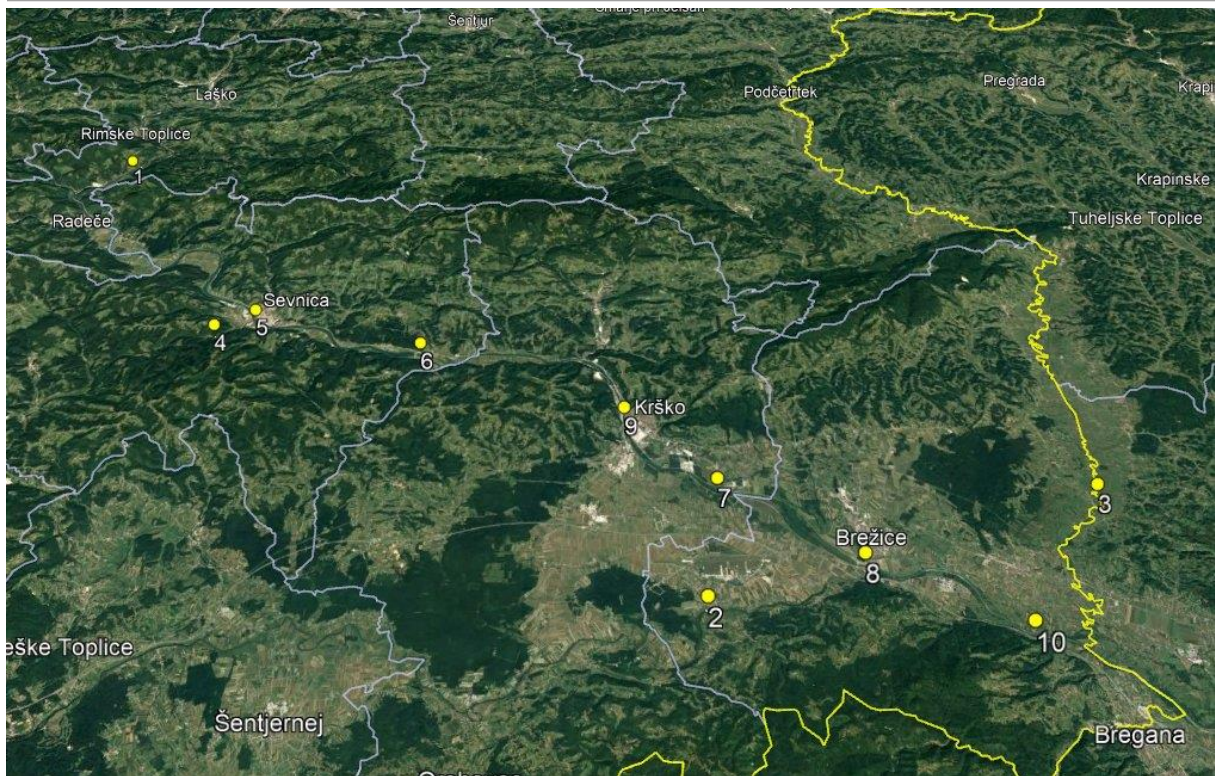
Slika 4. Meritev hitrostnega profila z ročnim akustičnim merilcem

Rezultat meritev je hitrostno polje v posameznem rečnem profilu kar je bistvenega pomena za preučevanje načina prehoda vodnih organizmov glede na plavalne sposobnosti na posameznih rečnih odsekih.

2.3.3 Izvedba hidravličnih meritev

Po programu se meritve se izvajajo v času drsti in nizkih pretokov, najkasneje do aprila meseca v vsakem koledarskem letu trajanja projekta. Območje izvajanja meritev je omejeno na odsek spodnje Save s pritoki: Savinja, Mirna in Krka. Na tem območju so bila opredeljeno naslednja merska mesta (slike 5-15):

- 1.** Savinja – Veliko Širje
- 2.** Krka – Cerklje na Dolenjskem
- 3.** Sotla – Rakovec
- 4.** Mirna – Dolenji Boštanj
- 5.** Sava – Sevnica
- 6.** Sava – HE Arto-Blanca
- 7.** Sava – Akumulacija HE Brežice
- 8.** Sava – HE Brežice
- 9.** Sava – HE Krško
- 10.** Sava – Podgračeno



Slika 5. Lokacije merskih mest na reki Savi in pritokih



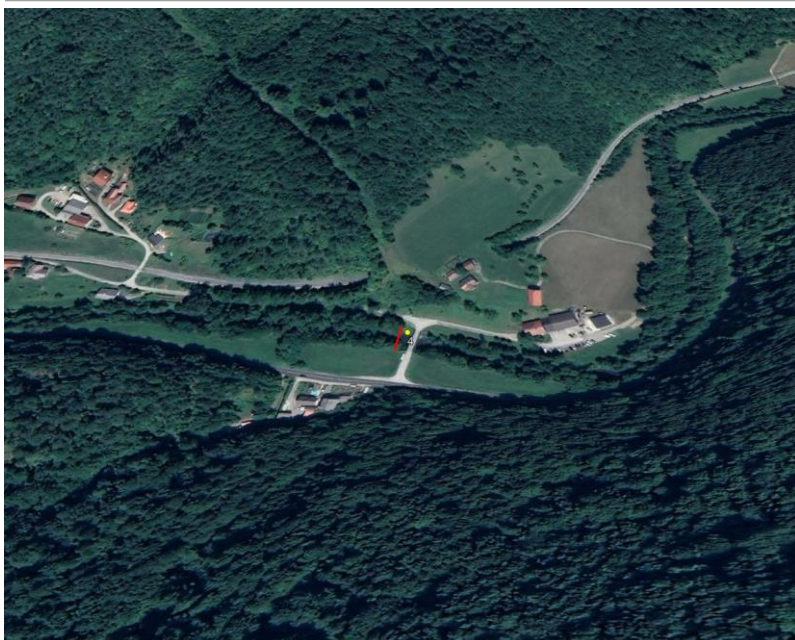
Slika 6. Lokacija 1: Savinja – Veliko Širje



Slika 7. Lokacija 2: Krka – Cerklje na Dolenjskem



Slika 8. Lokacija 3: Sotla - Rakovec



Slika 9. Lokacija 4: Mirna - Dolenji Boštanj



Slika 10. Lokacija 5: Sava - Sevnica brv



Slika 11. Lokacija 6: Sava – HE Blanca, ribja steza



Slika 12. Lokacija 7: Sava – HE Brežice, preusmeritvena pregrada



Slika 13. Lokacija 8: Sava – HE Brežice, potok Močnik



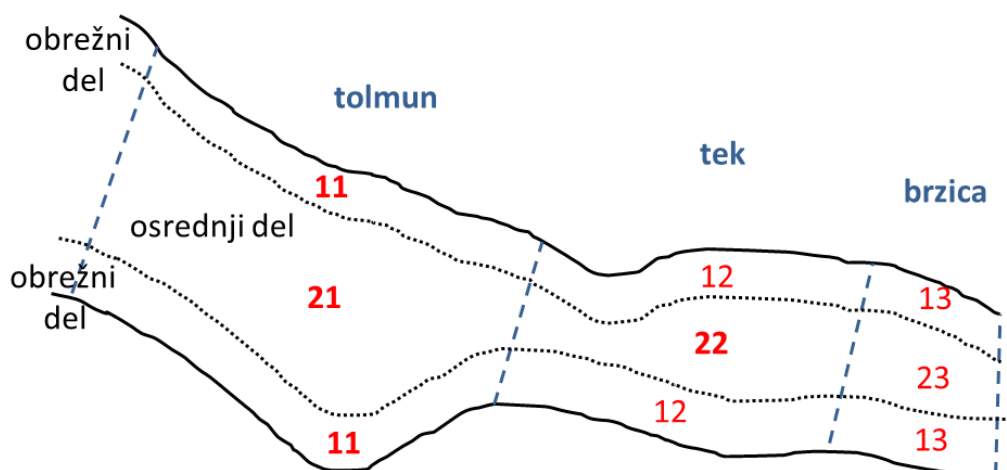
Slika 14. Lokacija 9: Sava – HE Krško, most čez Savo



Slika 15. Lokacija 10: Sava – Podgračeno

2.4 Mezohabitatske preference zvezdogleda in platnice v velikih rekah

Določitev mezohabitatskih preferenc posameznih vrst je ključno za razumevanje optimalnih in suboptimalnih mezohabitatov v strugi za posamezno vrsto ter z vidika vrednotenja stanja populacij. Pomembno pa je tudi z vidika vzorčenja, še posebej vzorčenja redkih vrst, saj na podlagi poznavanja preferenc lažje razvijemo metodologijo, ki bo omogočala pridobitev podatkov za populacijske analize. Mezohabitatske preference zvezdogleda in platnice smo ugotavljali glede na vzorčen mezohabitat po metodi prog v velikih rekah (Schmutz et al. 2001, Podgornik in Urbanič, 2015, slika 16). Uporabili smo šest mezohabitatov: tolmun-breg, tolmun-sredina, tek-breg, tek-sredina, brzica-breg, brzica-sredina, ki so zgrajeni s kombinacijo longitudinalnih (brzica, tek, tolmun) in prečnih habitatov v veliki reki (obrežni del, osrednji del). Razdelitev reke na mezohabitate se uporablja pri vzorčenju velikih rek z uporabo metode elektroribolova s čolnom (Podgornik in Urbanič 2015). V analizi smo uporabili podatke pridobljene in uporabljene za razvoj metod vrednotenja ekološkega stanja v Sloveniji (Podgornik in Urbanič 2015). Za zvezdogleda smo imeli podatke o prisotnosti v 80 mezohabitatih, za platnico pa v 414 mezohabitatih velikih rek. Izračunali smo frekvenco prisotnosti vrste v posameznem mezohabitatu in povprečno številčnost/ha za posamezni mezohabitat. Izračune smo naredili s pomočjo programa PAST (Hammer in sod. 2001).



Slika 16. Vzdolžna in prečna razdelitev struge velikih rek na habitate. Številke označujejo različne mezohabitate. (Podgornik in Urbanič, 2015)

2.5 Razvoj metode vzorčenja rib z električno vlečno mrežo v rečnih akumulacijah

Izbor ustreznega odseka za preverjanje prisotnosti zvezdogleda in platnice v pretočnih akumulacijah spodnje Save smo določili na podlagi izmerjenih hitrosti vode na različnih odsekih spodnje Save, batimetrije dna v povezavi z globino vode in substratom ter povezljivostjo posameznih pretočnih akumulacij s pritoki tudi v povezavi z učinkovitostjo prehodov za vodne organizme. Kot najustreznejšo smo ugotovili akumulacijo HE Brežice, pri čemer je odsek med HE Krško in Nuklearno elektrarno Krško (NEK) habitatsko verjetno najugodnejši. V akumulaciji HE Brežice na odseku med HE Krško in NEK smo najprej testirali ustreznost električne vlečne mreže za elektroribolov v pretočnih akumulacijah. V nadaljevanju smo izvedli dva elektroribolova oz. elektroribolov na dveh odsekih akumulacije HE Brežice. Prvo enoto je predstavljal odsek akumulacije od pregrade HE Krško do pregrade Nuklearne elektrarne Krško (NEK), ki smo ga vzorčili 29. junija 2022. Drugo enoto je predstavljal odsek akumulacije od pregrade NEK do pregrade HE Brežice in smo jo vzorčili 30.6. 2022 (slika 17).



Slika 17. Odsek spodnje Save z označenima hidroelektrarnama (HE) in jedrsko elektrarno (NE) (vir ortofoto posnetka: Atlas okolja, 2022).

Elektroizlov rib v akumulaciji Brežice smo izvedli z električno pridneno vlečno mrežo E-KECE (Olajos in sod. 2021; slika 18). Uporabili smo metodologijo vzorčenja za velike reke (Szaloy et al. 2014), ki smo jo za namen te raziskave prilagodili tako, da je ustrezna za ribolov v pretočnih akumulacijah na spodnji Savi. Najprej smo preverjali ustreznost dolžine izlovne poti posameznega potega. Glede na širino struge Save (širina od 100 m), dolžino vzorčenega odseka akumulacije (5-10 km), hitrost spreminjanja globine vode z oddaljevanjem od pregrade HE Krško smo najprej preverjali tri izlovne dolžine in sicer 50 m, 100 m in 250 m. Glede na število ulovljenih rib smo se odločili, da je dolžina 100 m ustrezna. Število potegov oz. enot na posameznem vzorčevanem odseku akumulacije smo določili glede na dolžino odseka. Na vsakih 500 m smo določili en poteg, kar je pomenilo 11 potegov na prvem delu in 14 potegov na drugem delu. Na drugem odseku akumulacije smo določili poteg manj, ker v odseku akumulacije neposredno pred HE Brežice plovba ni dovoljena. Ker se pridneni habitati spreminjajo tudi glede na oddaljenost od brega npr. globina vode, smo najprej preverjali možnost vzorčenja ob bregu in v osrednjem delu kot je to določeno pri vzorčenju velikih rek za vrednotenje ekološkega stanja (Podgornik in Urbanič 2015). Zaradi potopljenih dreves in velike obraščenosti dna akumulacije HE Brežice ob bregu, potegi na tem odseku niso bili možni oz. so bili toliko oteženi, da ustrezno vzorčenje nismo mogli izvesti. Odločili smo se, da vzorčenje izvedemo predvsem v osrednjem delu akumulacije-struge Save, kjer na dnu ni ovir, ki bi onemogočale ustrezen ribolov s pridneno mrežo in ni prisotnih velikih količin makrofitov, ki bi onemogočale potege mreže po dnu.

Pridneno mrežo sestavljata kovinski okvir na katerega je pritrjena mreža dolžine 4 m z velikostjo odprtin 0,5 cm. Kovinski okvir ima obliko trikotnika z odprtino površine 0.8 m², pri čemer je dolžina odprtine ob spodnjem robu - dnu 1,6 m in višina odprtine 1,0 m. Okvir je bil elektrificiran z 11,5 kW Vanguard generatorjem (Briggs & Stratton, Wisconsin, USA). Za elektroribolov je bil uporabljen enosmerni tok (ca. 350 V, 15 A) v intervalih po 5-8 s s presledki v dolžini približno 5 s. S presledki smo zmanjšali možnosti poškodb rib. Ribolovno ekipo na čolnu so sestavljali 4 člani, pri čemer sta dva upravljala vlečno mrežo in eden elektroribolovno opremo ter voznik čolna. Dva člana sta na bregu merila (na mm natančno) in tehtala (na gram natančno) ulovljene ribe. Elektroribolov je bil izveden v dnevnem času z uporabo 4,5 m dolgega aluminijastega čolna z motorjem Mercury moči 30 kW (Mercury Marine, Wisconsin, USA). Pred začetkom elektroribolova je bila električna pridnena mreža spuščena na dno akumulacije pri čemer se je čoln počasi premikal s tokom v dolvodni smeri. Dolžina lovne poti je bila merjena z GARMIN (Garmin Ltd., Kansas City, MO) in je znašala 100 m pri posameznem

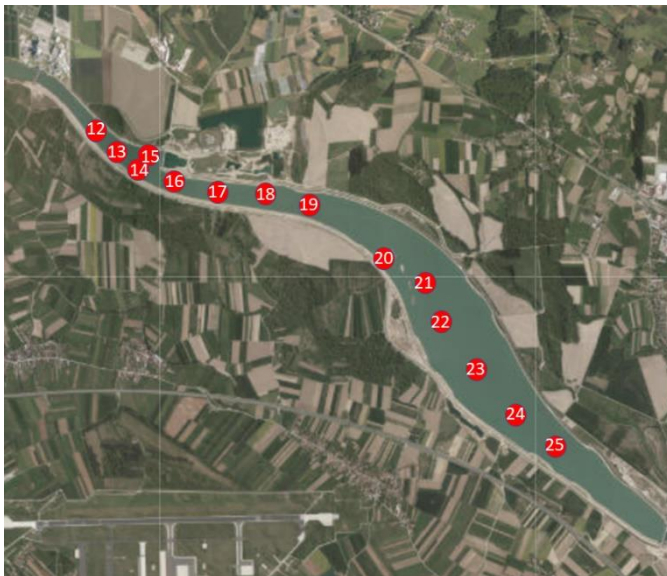
potegu. Odseki vzorčenja so bili razporejeni vzdolž celotne akumulacije, V akumulaciji med HE Krško in NE Krško smo na dolžini 5,5 km povzorčili 11 odsekov v dolžini po 100 m (slika 19). V akumulaciji med NE Krško in HE Brežice smo na razdalji ca. 7,5 km povzorčili 14 odsekov v dolžini po 100 m (slika 20). Skupno je bilo v akumulaciji Brežice vzorčenih 25 odsekov oz. opravljenih je bilo 25 potegov po 100 m. Elektroribolov je bil opravljen v skupni dolžini 2500 m.



Slika 18. Električna pridnena vlečna mreže E-KECE uporabljena pri elektro-izlovu v akumulaciji (foto: G. Urbanič)



Slika 19. Lokacije vzorčnih odsekov v akumulaciji HE Brežice gorvodno od Nuklearne elektrarne Krško (vir ortofoto posnetka: Atlas okolja, 2022).



Slika 20. Lokacije vzorčnih odsekov v akumulaciji HE Brežice dolvodno od Nuklearne elektrarne Krško (vir ortofoto posnetka: Atlas okolja, 2022).

2.6 Razvoj metode vzorčenja rib ob bregu akumulacije

2.6.1 Popis habitatov ob bregu akumulacije

Izhodišče za popis habitatov je bila metodologija za morfološko oceno stanja akumulacije na podlagi indeksa morfološke spremenjenosti obale jezer (MISO-J; Peterlin in Urbanič 2013a,b). Pri opisu habitatov v vodi smo uporabili kategorije anorganskega in organskega substrata po Urbanič in sod. (2005). Osnovna popisna enota je bil 100 m odsek obale akumulacije. Obrežni del akumulacije smo najprej razdelili na 100 m odseke. Na levem bregu smo določili 130 odsekov in jih označili z L1 do L130. Na desnem bregu smo določili 130 odsekov in jih označili z oznako D1 do D130. Vzduž akumulacije smo določili tri osnovne pasove (cone): pas obrežne vegetacije v oddaljenosti do 10 m od struge, pas brega z območjem spremenljivega vodostaja in pas struge oz. obraslega dna v širini 1-2 m ob bregu do globine 1 m. V vsakem odseku obale akumulacije in vsakem pasu (coni) smo določili prevladujoči tip habitata (preglednica 2). Ugotovili smo, da se značilnosti obrežne vegetacije in pas brega z območjem spremenljivega vodostaja pogosto močno odražajo v pasu struge oz. obraslega dna ob bregu, zato smo habitate za vzorčenje rib določili kot prevladujoči tip habitata v vodi ob bregu akumulacije v dolžini 100 m odsekov. Najprej smo izvedli razdelitev obale na 100 m odseke in popis habitatskih značilnosti na podlagi ortofoto posnetkov, ki smo jih pridobili v Atlasu okolja Republike Slovenije za okolje (ARSO, 2022). Po opravljenem kabinetnem popisu smo opravili še terenski popis s katerim smo preverjali predvsem značilnosti, ki se jih iz obstoječih ortofoto posnetkov ne vidi oziroma se medletno spreminjajo npr. prisotnost makrofitov in makroalg v vodi.

Preglednica 2. Tipi habitata v vodi ob bregu akumulacije

Habitat v vodi ob bregu akumulacije

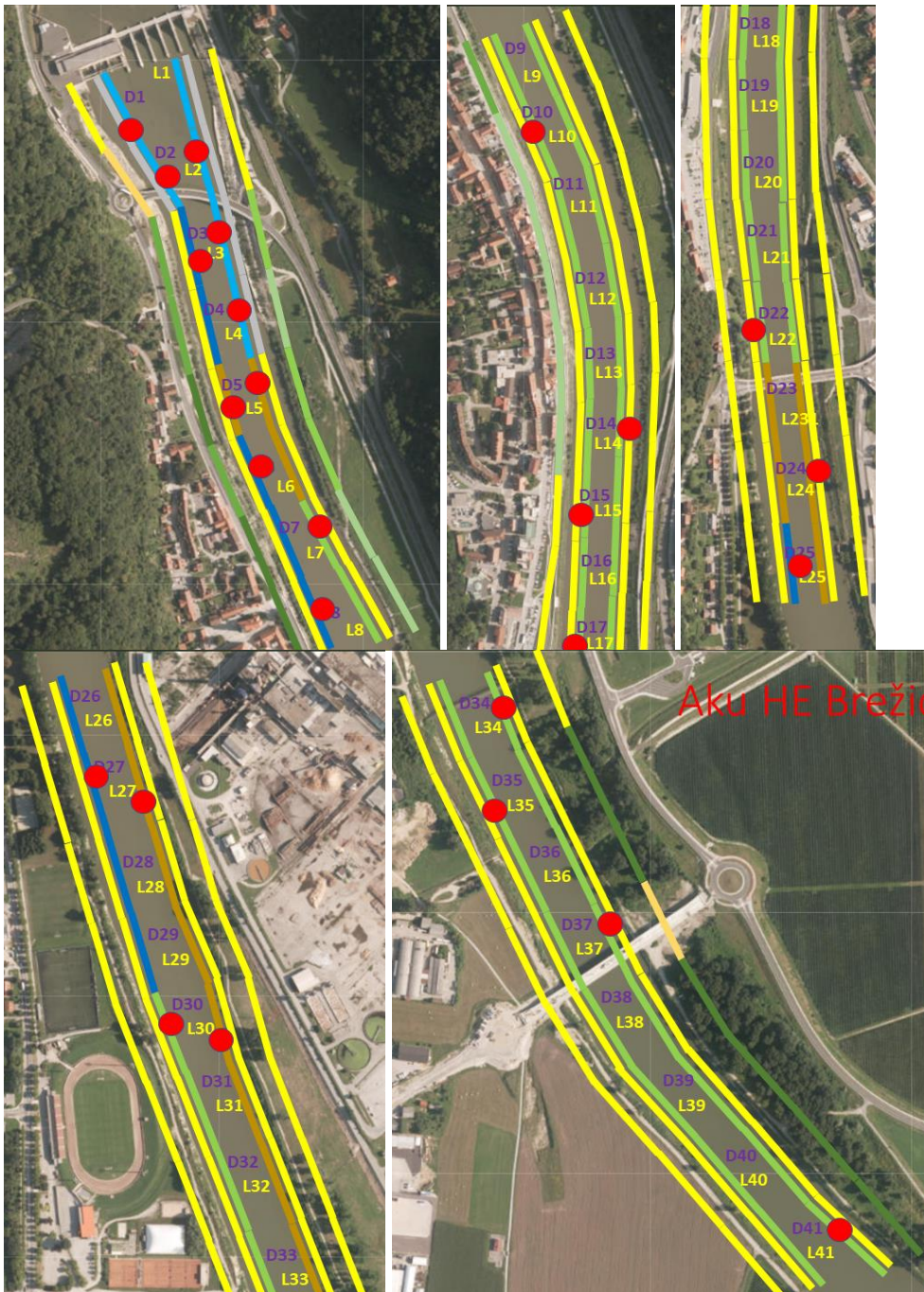
kamnito neobraslo dno-megalital;>20 cm)
 prodnato neobraslo dno (mezo-makrolital; 2-20 cm)
 peščeno neobraslo dno (psamal)
 zamuljeno neobraslo dno (pelal)
 makroalge na podlagi
 potopljeni makrofiti
 emergentni makrofiti
 živi deli kopenskih rastlin (npr. korenine v vodi)
 zemlja (nasuta)
 debla in/ali odpadle veje v vodi (ksilal)
 ustje pritoka - dno je vidno (globina < 1m)
 potopljeno ustje pritoka - dno ni vidno (globina > 1m)
 betonirano ali asfaltirano ali plošče

2.6.2 Vzorčenje rib ob bregu akumulacij po metodi za habitat značilnega točkovnega vzorčenja

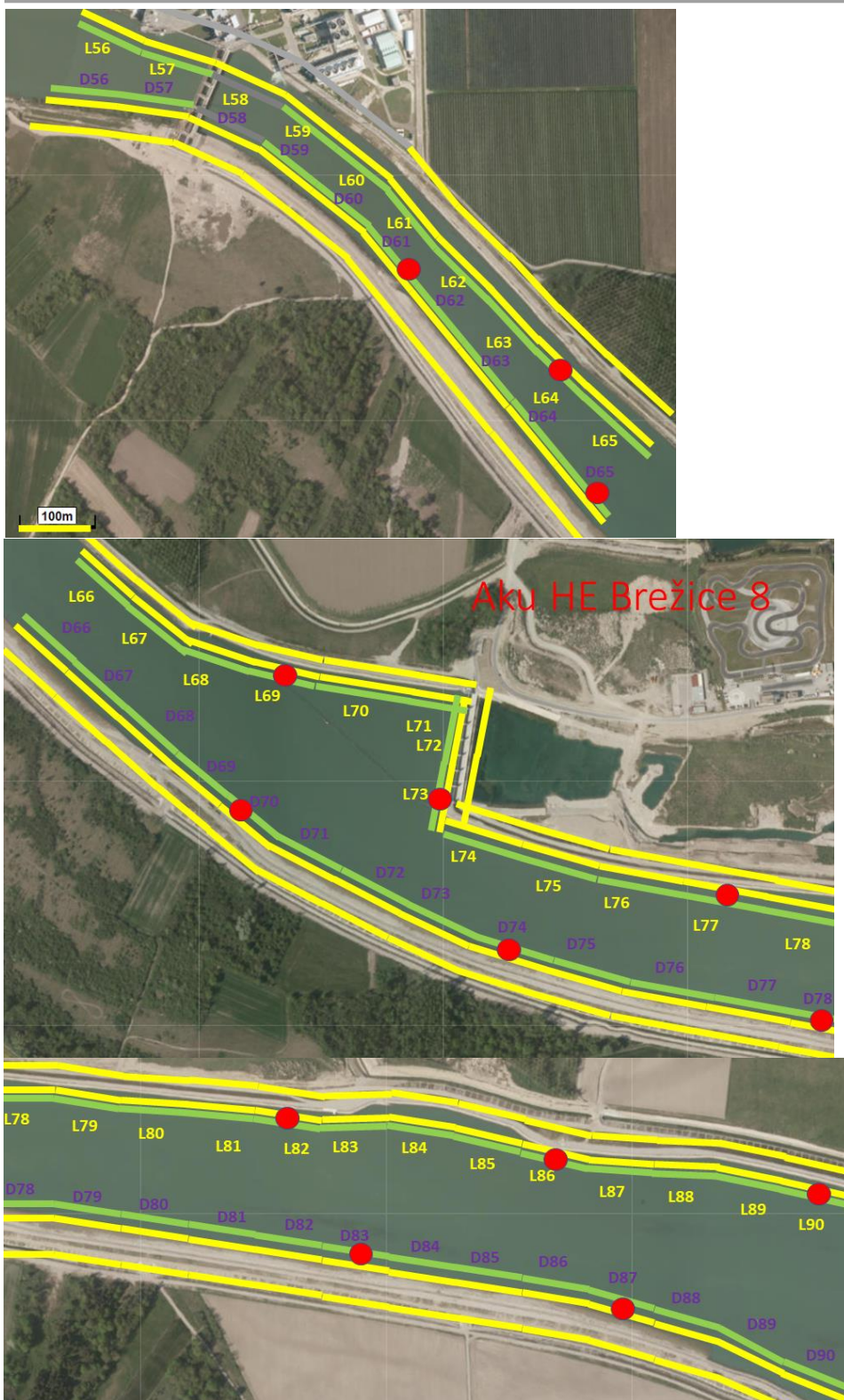
Za habitat značilno točkovno vzorčenje (HS-PASE) rib ob bregu akumulacije smo izvedli 6. in 7. septembra 2022. V velikih rekah s ciprinidno združbo rib, je vzorčenje ob bregu v začetku septembra najprimernejše, ker so mladostni osebki rib že dovolj veliki, da se jih lahko taksonomsko določi (Grenouillet et al. 2000). Vzorčenje smo izvedli na 50 točkah prevladujočih habitatov ob bregu akumulacije HE Brežice (slika 21-22). Vsak izbrani habitat smo vzorčili vsaj na pet odsekih akumulacije (preglednica 3). Uporabili smo metodo točkovnega vzorčenja (Point Abundance Sampling Electrofishing ali PASE), ki smo ga izvedli za habitat značilno (HS-PASE). Vzorčenje smo izvajali iz počasi premikajočega čolna vzporedno z obalo skladno s standardom »Kakovost vode - Vzorčenje rib z elektriko« (SIST EN 14011:2003) in metodologijo za vrednotenje ekološkega stanja jezer na podlagi rib, ki je bila interkalibrirana na evropski ravni (Podgornik in sod. 2016, Urbanič in Podgornik, 2017, 2018). Za elektroribolov smo uporabili nahrbtni elektroagregat tipa ELT 60 GI, 300/550 V, proizvajalca Hans Grassl GmbH. Med ribolovom je elektroribič z anodo stal blizu premca čolna in v vsakem izbranem habitatu anodo potopil v vodo za 5 s na globino ca. 0,5 m. Omamljene ribe smo polovili s pomočjo saka in jih dali v vedro z vodo. Vsaki ujeti ribi smo izmerili celotno dolžino telesa (TL) na milimeter natančno. Po obdelavi smo ribe izpustili v akumulacijo na mestu odlova. Metoda HS-PASE je semikvantitativna metoda na podlagi katere lahko ugotovimo prisotnost vrst rib in njihovo relativno številčnost glede na enoto napora. V naši raziskavi je bila enota napora 5 s. Metoda se uporablja se predvsem za ugotavljanje prisotnosti mladostnih osebkov (Grenouillet et al. 2000).

Preglednica 3. Vzorčeni vodni habitati ob bregu akumulacije HE Brežice.

Habitat	Št. vzorcev
kamnito neobraslo dno-megalital; >20 cm)	5
potopljeni makrofiti	35
prodnato neobraslo dno (mezo-makrolital; 2-20 cm)	5
živi deli kopenskih rastlin (npr. veje v vodi)	5



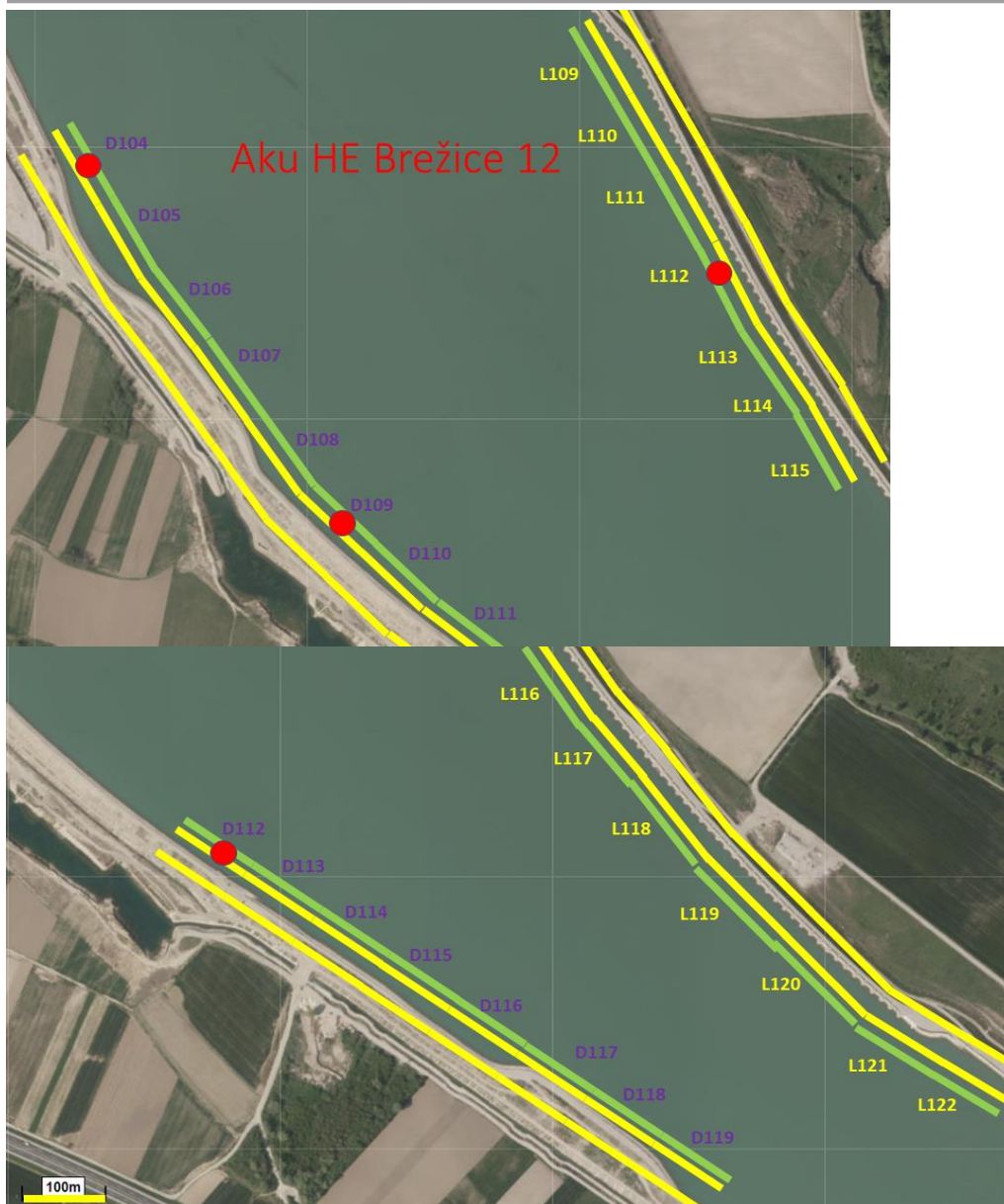
Slika 21. Lokacije mest (●) za vzorčenje rib ob bregu akumulacije HE Brežice-nad NEK (vir ortofoto posnetka: Atlas okolja, 2022).



Slika 22. Lokacije mest (●) za vzorčenje rib ob bregu akumulacije HE Brežice-pod NEK (vir ortofoto posnetka: Atlas okolja, 2022).



Slika 22. Lokacije mest (●) za vzorčenje rib ob bregu akumulacije HE Brežice-pod NEK (vir ortofoto posnetka: Atlas okolja, 2022). (nadaljevanje)



Slika 22. Lokacije mest (●) za vzorčenje rib ob bregu akumulacije HE Brežice-pod NEK (vir ortofoto posnetka: Atlas okolja, 2022). (nadaljevanje)

2.6.3 Ekološka analiza združb

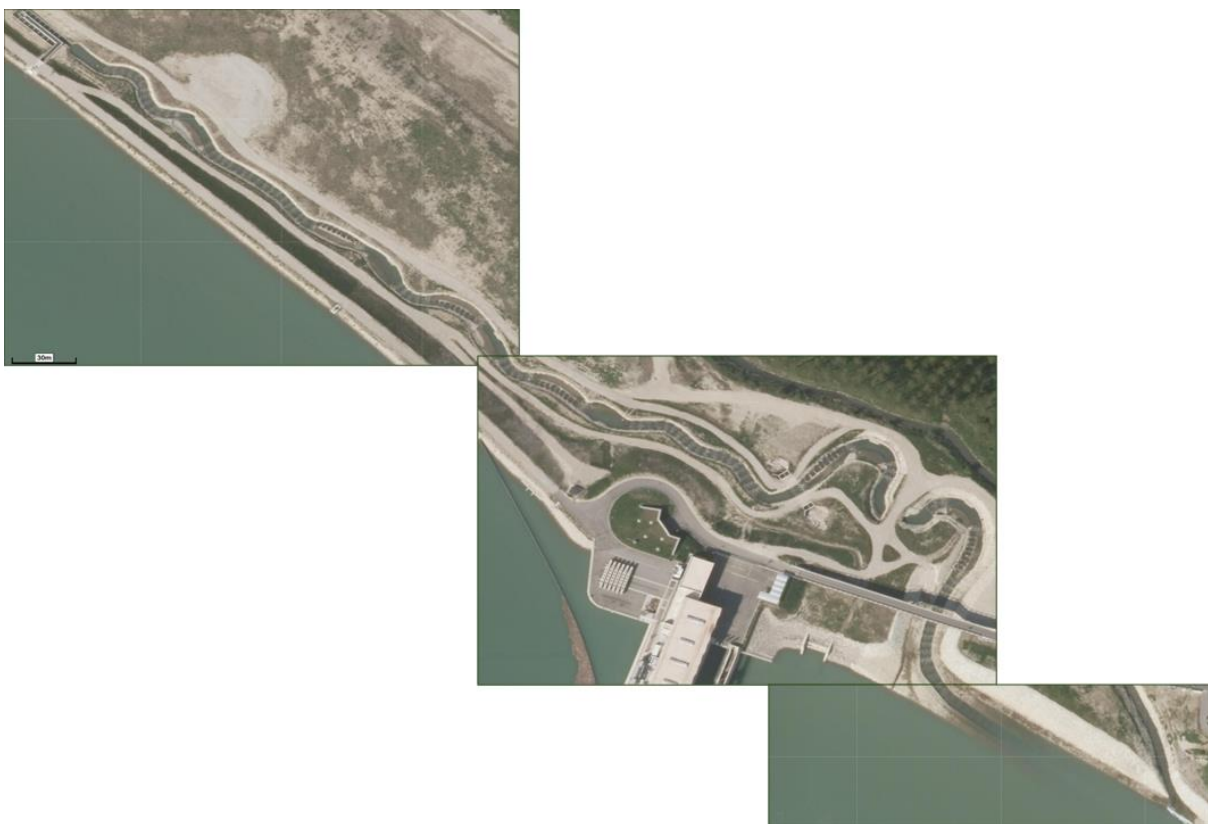
Ugotavljali smo povezave med združbami rib, habitati ob bregu akumulacije HE Brežice in glede na vzdolžni položaj habitata v akumulaciji. Spremenljivke smo razdelili v dve skupini, pri čemer so prvo skupino predstavljali vzorčeni habitati v akumulaciji: neobraslo kamnito dno, neobraslo prodnato dno, potopljeni makrofiti in živi deli kopenskih rastlin. Drugo skupino je predstavljala spremenljivka vzdolžni položaj v akumulaciji, ki smo ga definirali kot a) nad Nuklearno elektrarno Krško ali b) pod Nuklearno elektrarno Krško. Za ugotavljanje pomena habitatov in vzdolžnega položaja vzorcev v akumulaciji za združbe rib smo izvedli dvosmerno permutacijsko multivariatno analizo variance (PERMANOVA) (Anderson 2001). Uporabili smo programsko orodje PAST (Hammer in sod. 2001). Razporeditev skupin vzorčnih mest smo prikazali na diagramu nemetričnega multidimenzionalnega skaliranja (NMS) na podlagi Bray-Curtisovega indeksa podobnosti z uporabo relativnih abundanc (CPUE).

2.7 Razvoj metode vzorčenja rib v prehodu za vodne organizme

Z namenom ugotovitve številčnosti zvezdogleda in platnice v prehodu za vodne organizme smo razvili metodo, ki je sestavljena iz popisa mezohabitatnih značilnosti sonaravnega odseka prehoda za vodne organizme (PzVO) in vzorčenja rib po metodi za habitat značilnega elektroribolova. Vzorčenje rib smo izvedli v prehodu za vodne organizme hidroelektrarne Brežice (sliki 23 in 24).



Slika 23. Lokacija prehoda za vodne organizme hidroelektrarne Brežice (PZVO HEBR) (vir ortofoto: Atlas okolja, 2023)



Slika 24. Prehod za vodne organizme hidroelektrarne Brežice (PZVO HEBR) (vir ortofoto: Atlas okolja, 2023)

2.7.1 Popis mezohabitatov v prehodu za vodne organizme

V sonaravnem odseku prehoda za vodne organizme HE Brežice v dolžini 690 m smo izvedli popis in kartiranje mezohabitatov. Uporabili smo naslednje tri osnovne vzdolžne kategorije habitatov v vodotoku, ki so bili osnova za ugotavljanje mezohabitatnih preferenc zvezdogleda in platnice v velikih rekah (Urbanič in sod., to delo): tolmun, tek in brzica. Tri osnovne vzdolžne habitate smo dodatno razdelili na način, da smo oblikovali pet mezohabitatov glede na značilen tip toka (preglednica 4): brzica, brzica-tek, tek, tek-tolmun in tolmun. Za slikovni prikaz smo mezohabitata tudi barvno šifrirali. Popis mezohabitatov smo izvedli dne 12. 7. 2023. Najprej smo opravili pregled prehoda za vodne organizme po celotni dolžini in fotografirali ter posneli habitatne značilnosti. V kabinetu smo izvedli pregled posnetkov in izvedli kartiranje mezohabitatov. Za podlago smo uprabilili ortofoto posnetke pridobljene iz Atlasa okolja (ARSO 2023).

Preglednica 4. Mezohabitati z značilnim tipom toka in barvno šifro

Mezohabitat	Tip toka	Barva
brzica	lomljeni stoječi valovi	temno modra
brzica-tek	nelomljeni stoječi valovi in rahlo valovanje	svetlo modra
tek	rahlo valovanje	zelena
tek-tolmun	rahlo valovanje in gladek tok	rumena
tolmun	gladek tok in/ali ni opaznega toka	oranžna

Popisani mezohabitati so bili izhodišče za izbor odsekov za vzorčenje rib z namenom preveritve prisotnosti zvezdogleda in platnice v prehodu za vodne organizme HE Brežice.

2.7.2 Vzorčenje rib v prehodu za vodne organizme po metodi za habitat značilnega elektroribolova in analiza podatkov

Za habitat značilno točkovno vzorčenje rib v prehodu za vodne organizme smo izvedli 15. julija 2023. Pred vzorčenjem rib smo izbrali potencialne mezohabitata, ki jih v velikih rekah preferirata zvezdogled in platnica (Urbanič in sod., to delo). Skladno z ugotovitvami sta to brzica in tek. Drugi pomemben kriterij za izbor odseka mezohabitata je bil, da je odsek mezohabitata velik približno 100 m²; pri širini struge do pet metrov pomeni to odsek v dolžini vsaj 20 m. Za preveritev prisotnosti zvezdogled in platnice smo izbrali naslednjih sedem vzorčnih odsekov mezohabitatov: tri odseke mezohabitata tek, tri odseke tek-tolmun in en odsek brzica-tek (slika 25, preglednica 5). Mezohabitata brzica zaradi relativne kratke dolžine odsekov nismo izbrali.



Slika 25. Vzorčni mezohabitati (označeni s puščico) za preveritve prisotnosti zvezdogleda in platnice v prehodu za vodne organizme hidroelektrarne Brežice (vir ortofoto: Atlas okolja 2023)

Preglednica 5. Površina vzorčenih mezohabitatov.

Mezohabitat	Površina (m²)
tek 5	108
tek-tolmun 5	127
tek 4	100
tek-tolmun 4	108
tek 2	108
tek-tolmun 3	116
brzica-tek 6	100

Vzorčenje rib je bilo izvedeno po metodi elektroribolova v prebrodljivih vodotokih skladno z metodologijo vrednotenja ekološkega stanja vodotokov na podlagi rib v Sloveniji (Podgornik 2006, MOP, 2016, Urbanič in Podgornik 2018) (slika 26). Pri vzorčenju se je sledilo načelu, da se praviloma z enim agregatom pri elektroribolovu obvladuje pas struge širine 5 m. Ker širina vzorčenega habitata nikjer ni presegala 5 m, smo uporabili en nahrbtni elektroagregat tipa ELT 60 GI, 300/550 V, proizvajalca Hans Grassl GmbH. Elektroribolov s pomočjo nahrbtnega elektroagregata je izvajala izlovna ekipa. Izlov rib je potekal v smeri proti vodnem toku, da kalnost vode zaradi brodenja po strugi ni vplivala na učinkovitost izlova. Elektroribič je sistematično s kratkimi potegi anode skozi vodni habitat pritegnil ribe iz bližnje okolice in skrivališč. Omamljene ribe so bile polovljene s sakom in dane v vedro z vodo. Na istem odseku mezohabitata v prehodu za vodne organizme smo izlov rib ponovili dvakrat ob enakem ribolovnem naporu. To nam je omogočilo ovrednotenje številčnosti po Seber in LeCren (1967). Vsako ujeta riba je bila določena do vrste po zunanjih morfoloških znakih in izmerjena njena celotna dolžina na milimeter natančno. Pri taksonomski določitvi smo uporabili naslednje priročnike: Veenvliet in Kus Venvliet (2006), Kotellat in Freyhof (2007). Po obdelavi so bile ribe spuščene v prehod za vodne organizme na mestu odlova.



Slika 26. Elektroizlov rib z brodenjem

Naseljenost posameznih vrst rib v posameznem vzorčenem mezohabitatu pri vzorčenju rib z elektroribolovom v prebrodljivih vodotokih smo ocenili po metodi »dveh izlovov«, ki sta jo razvila Seber in LeCren (1967). Po tej metodi na izbranem odseku vodotoka naredimo najprej prvi izlov, nato pa ob enakem ribolovnem naporu še drugega. Med izlovi se rib ne vrača nazaj v vodotok. Velikost populacije (N), njeno varianco (σ^2), standardno napako (σ) in verjetnost ulova (p) smo izračunali po naslednjih enačbah:

$$N = \frac{C_1^2}{(C_1 - C_2)} \quad (1)$$

$$\sigma^2 = \frac{C_1^2 * C_2^2 (C_1 + C_2)}{(C_1 - C_2)^4} \quad (2)$$

$$\sigma = \sqrt{\sigma^2} \quad (3)$$

$$p = \frac{(C_1 - C_2)}{C_1} \quad (4)$$

kjer je

C_1 – število ujetih rib v prvem izlovu

C_2 – število ujetih rib v drugem izlovu

P – verjetnost ulova

Ocena je nepristranska kadar je $p \geq 0,80$ in dokaj nezanesljiva kadar je $p \leq 0,20$. Pri izračunih smo tako naredili korekcije. Kjer je bila v vzorcu po ena riba v vsakem izlovu je ocena populacije enaka skupnem ulovu vrste, kjer so bile vse ribe posamezne vrste ujele v drugem izlovu ali je bilo v drugem izlovu ujetih »preveč« rib posamezne vrste ($p \leq 0,41$) ali v drugem izlovu ujetih več rib kot smo ocenili velikost populacije kot vsoto ujetih osebkov posamezne vrste pomnoženo s faktorjem 1,5 (Van Deventer in Platts, 1989). Naseljenost smo izračunali kot število osebkov in jo izrazili na hektar (ha). V mezohabitatih, kjer smo pridobili po tri vzorce smo izračunali aritmetično sredino številčnosti in njeno standardno napako. Vse izračune smo izvedli s programskim orodjem Microsoft Office-Excel.

2.8 Projektno stanje prehoda za vodne organizme HE Brežice

V tem poglavju predstavljamo projektno stanje prehoda za vodne organizme (PzVO), ki je bil projektiran leta 2017. Prehod za vodne organizme poteka ob levem nasipu HE Brežice, se nato nadaljuje levo od objekta strojnice ter po levem bregu Save, kjer se dolvodno priključi spodnji strugi Save. Prehod je zasnovan, da omogoča obratovanje pri različnih hidroloških in obratovalnih okoliščinah.

2.8.1 Splošni opis

Predvidena projektna stanja obratovanja

Projektant je za izvedbo PzVO pridobil strokovne in tehnične robne pogoje, pridobil je ihtiološke podatke za reka Savo, za čas nizkih in visokih pretokov, ter podatke o hidravličnih razmerah v akumulaciji BE Brežice in v strugi dolvodno od pregrade HE Brežice. Pri izvedbi PzVO so bile upoštevane tudi naravne danosti na lokacije, zakonske zahteve, ter izkušnje z delovanjem prehoda za vodne organizme pri HE Arto-Blanca (IBE: IBBRB--8T1054B 2 Hidravlično obratovanje IBE).

Projektni hidravlični robni pogoji

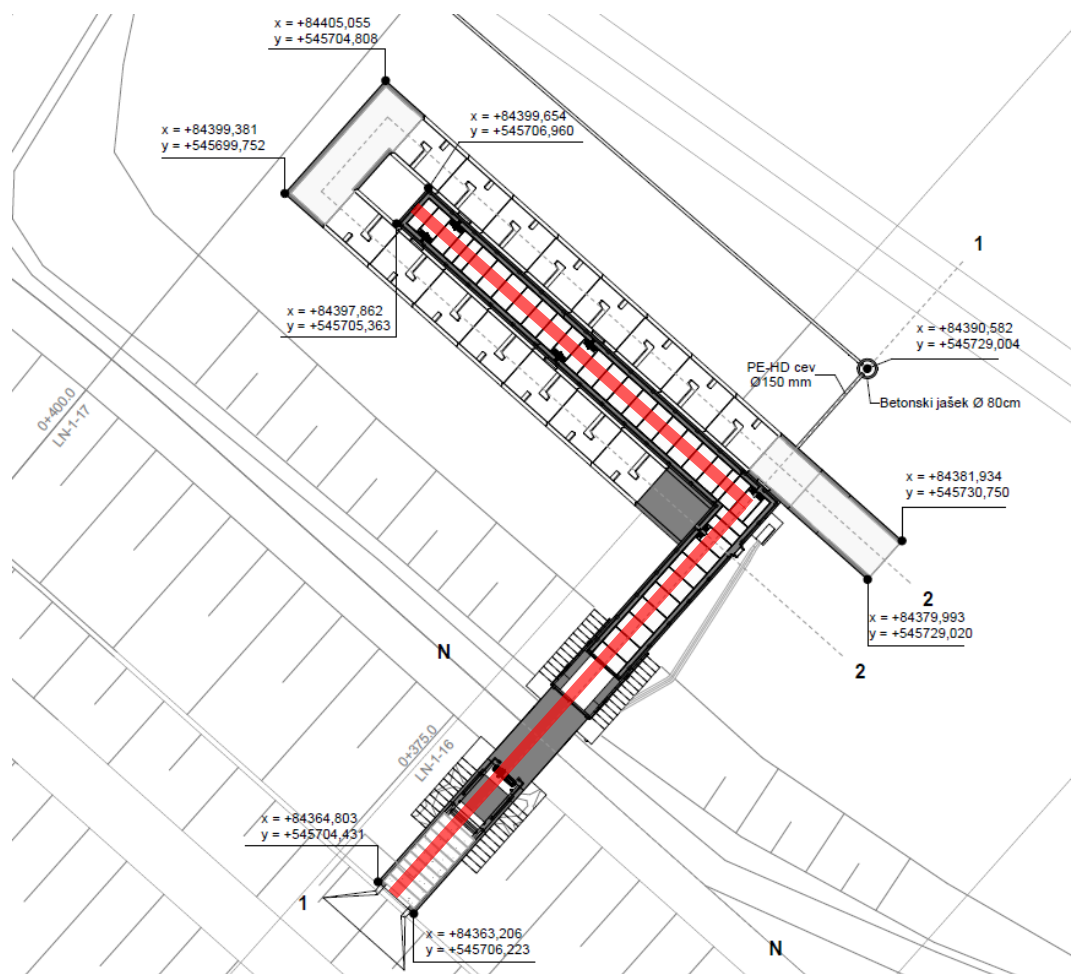
Obratovalna kota v pretočni akumulaciji HE Brežice je na 153 m n. m. in maksimalna dnevna dovoljena denivelacije v pretočni akumulaciji je 1,1 m, kar predstavlja gorvodni robni pogoj oz. pogoje na vtoku v prehod za vodne organizme. Pri načrtovanju prehoda za vodne organizme je projektant upošteval tudi hidravlične pogoje za obdobje nizkih in srednjih pretokov reke Save ter obdobje visokih in ekstremno visokih pretokov reke Save in potoka Močnik. Dodatno pa nastopajo tudi obratovalni robni pogoji, HE Brežice lahko v odvisnosti od hidroloških in hidravličnih razmer obratuje na polni ali delni moči ali pa ne obratuje. Podobna situacija je v prelivnih poljih, kjer je obratovalni režim reguliran z zapornicami.

Računsko določena najnižja kota spodnje vode v Savi je 137,00 m n. m., v tej situaciji je hidravlični padec največji in znaša 16,0 m (153,0 - 137,0 m n. m. = 16,0 m). Situacija se bo nekoliko spremenila po izgradnji HE Mokrice, saj bo takrat gladina spodnje vode pri nominalni višini vode v akumulaciji HE Mokrice višja za 4,5 m, v času maksimalne dovoljene denivelacije (1,3 m) pa bo ta 3,2 m nad trenutno najnižjo koto. Torej, hidravlični padec, bo takrat znašal 11,5 m oz. 12,8 m v času maksimalne denivelacije.

Po projektu je predvideno, da naj zasnova prehoda omogoča normalno obratovanje pri pretokih Save $\sim 500 \text{ m}^3/\text{s}$, pri nizkih pretokih prehod obratuje le pogojno, pri visokih pretokih pa ta ne obratuje. Mejni pretok za normalno obratovanje prehoda za vodne organizme je pri pretoku $800 \text{ m}^3/\text{s}$. Ob nadaljnjem povečevanju pretoka do $1000 \text{ m}^3/\text{s}$ in več se bo dvignila tudi kota spodnje vode in začela poplavljeni levo brežno poplavno ravnico in s tem tudi iztočni del PzVO. Sodeč po izračunih projektanta je pri pretoku Q_2 , ki znaša $1675 \text{ m}^3/\text{s}$ gladina spodnje vode na 144 m n. m., poplavljenega pa je približno 390 m prehoda za vodne organizme (velja za situacijo po izgradnji HE Mokrice). Poleg vode je v območje predviden tudi vnos plavja in sedimentov. Dodane hidrodinamične obremenitve pa so upoštevane pri zasnovi PzVO.

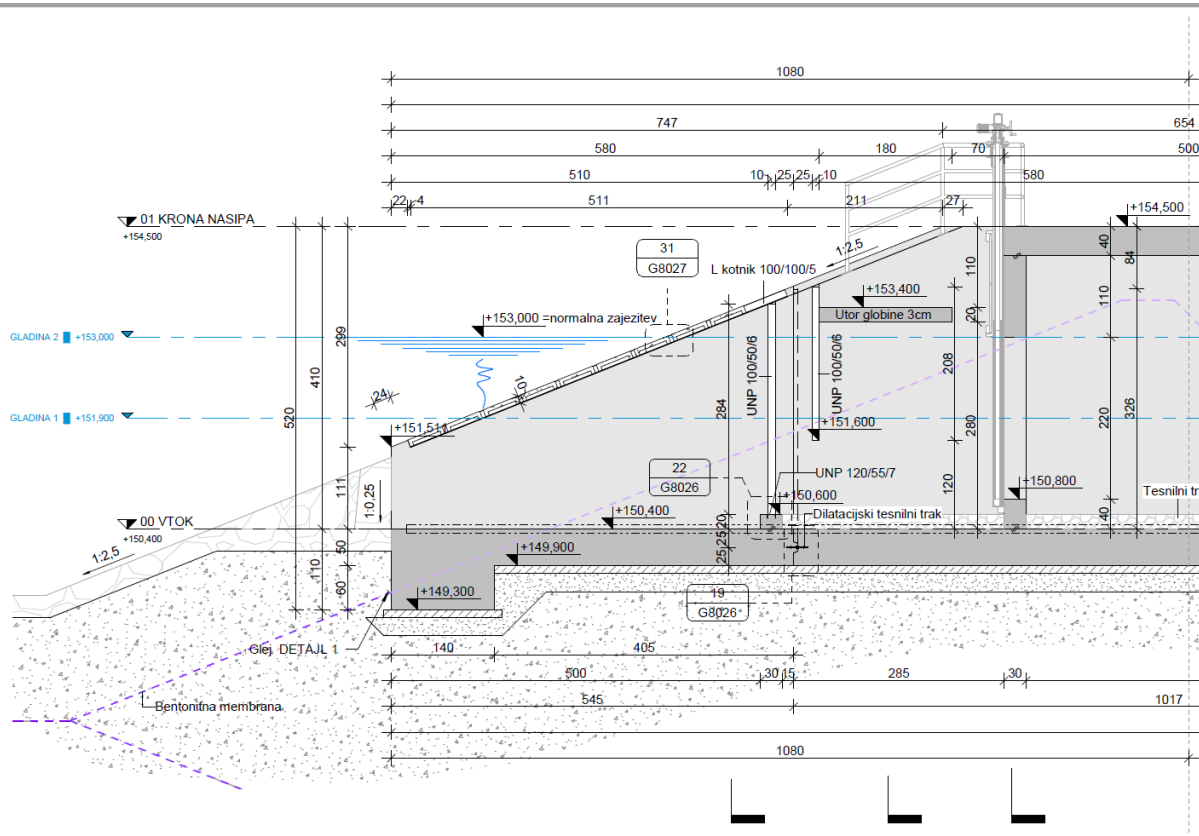
Tehnična izvedba prehoda

Prehod za vodne organizme je izveden kot tehnični objekt na gorvodnem odseku in kot sonaravni odsek, z oblikovanjem naravne struge, na dol vodnem delu. Gorvodni del PzVO je umeščen na nasutem platoju in leži nad koto obstoječega raščenege terena. Tehnični del prehoda za vodne organizme sestoji iz betonskega vtočnega dela z dovodnim kanalom, ki se nato nadaljuje v prekatni del. Vtočni del zagotavlja potrebne količine vode v PzVO in omogoča migracijo vodnih organizmov pri različnih gladinah vode v pretočni akumulaciji. Zasnovan je tako, da omogoča obratovanje ob predvidenem projektne nihanju v pretočni akumulaciji za 1,1 m, med kotama 151,9 m. n. m. in 153,0 m. n. m. Tloris tehničnega dela prehoda za vodne organizme je prikazan na sliki 27.



Slika 27. Tloris tehničnega dela - vzeto iz IBE načrta gradbenih konstrukcij in drugi gradbeni načrti (IBRB-8G8019).

Vloga vtočnega objekta je zagotavljanje stalnega pretoka v PzVO in vseskozi zagotavljanje prehodnosti za vodne organizme. Tlorisno ima vtočni objekt obliko črke L (na sliki 27 je označen z rdečo). Fiksna kota vtoka je na 150,40 m n. m. Prvi krak je umeščen pravokotno na os nasipa (dolžina 27,7 m), nato se os lomi pod kotom 90° in sledi preostanek objekta (dolvodni odsek vtočnega objekta), ki je v dolžini 23,7 m izveden na nasipnem platoju, vzporedno z osjo nasipa.



Slika 28. Detajl vtoka - vzeto iz IBE načrta gradbenih konstrukcij in drugi gradbeni načrti (IBRB-8G8027).

Detajl vtoka in vtočnega kanala je prikazan na sliki 28. Dimenzije kanala so: višina 4,6 m na najvišji točki, zunanja širina 2,4 m (notranja širna 1,6 m). Izveden je iz armiranega betona, debelina navpičnih sten je 0,4 m, debelina talne plošče pa 0,5 m. Odvzem vode je zaščiten pred vnosom plavja, in sicer so v območje vtočnega kanala, kjer se nahaja vodna brežina nasipa v naklonu 1:2,5 vgrajeni prečni betonski nosilci, ki prekrivajo profil vtočnega kanala. Zaščita sega do globine -0,3 m pod najnižji nivo vode v pretočni akumulaciji (151,6 m n. m). Za preprečitev vnosa plavja v vtočni kanal je dodatno, na oddaljenosti pribl. 5 m od skrajne točke vtoka nameščena zaporna plošča iz pocinkane jeklene pločevine, ki prav tako sega -0,3 m pod najnižji nivo vode v pretočni akumulaciji. Na tem mestu sta v stenah vgrajena tudi utora, ki omogočata vstavljanje preklad in omogočata popolno zaporo vtoka v prehod za vodne organizme.

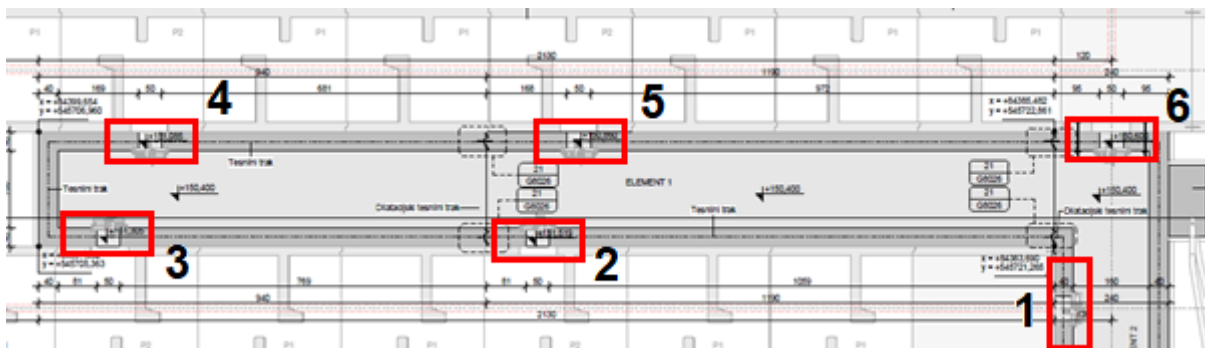
Dno betonskega dovodnega kanala je v celoti prekrito s slojem opranega savskega kamenja ($d > 6,2 - 20$ cm) skupne debeline 0,2 m. Kota dna je fiksna vzdolž celotnega L profila, torej 150,4 m n. + 0,2 m nasutja.

Glavna zapornica na vtoku je izvedena kot tablasta drsna zapornica dimenzij 1,1 x 2,05 m in omogoča avtomatsko in tudi ročno krmiljenje, kota fiksne praga v profilu zapornice je na 150,8 m n. m. Po projektu se avtomatsko krmiljenje zapornic izvaja na podlagi signala o gladini nivoja vode v bazenu iz vodomerne tlačne sonde nameščene pred glavno vtočno zapornico.

Za profilom zapornice prehod prečka najvišjo točko nasipa, za zagotavljanje prehodnosti krone nasipa je tukaj izveden kot škatlast betonski profil. Na tla v notranjosti dovodnega kanala so ob zid kanala

postavljene posamezne skale velikosti do 1,1 m na dolvodnih straneh odprtin regulacijskih zapornic tako, da ne omejujejo pretoka vode skozi odprtine in s tem ne motijo gibanja rib.

Dolvodni odsek je prek odprtih z zapornicami povezan s tehničnim delom oz. prekatnim delom prehoda za vodne organizme. Slika 29 prikazuje lokacije vtočnih odprtin, njihova dimenzija je 1,25*0,5 m, vsak vtok je opremljen s tablasto zapornico. Regulacijskih zapornic je šest, ki si sledijo od prve zapornice gorvodno v koraku treh prekatov po obodnem zidu prekata dolvodno. Vse zapornice omogočajo avtomatsko krmiljenje, ki se izvaja na podlagi signala o gladini vode v pretočni akumulaciji in so namenjene temu, da se ohranja stalne hidravlične razmere vtoka v prekatni del glede na dnevna nihanja gladine vode v pretočni akumulaciji. Pogoni regulacijskih zapornic so dostopni iz manipulacijskega platoja iz pohodnih plošč iz jeklene pocinkane mreže, ki je nameščena preko dovodnega kanala. Plato je ograjen z ograjo, dostop pa je urejen po fiksni kovinski lestvi, ki je pritrjena na desni gorvodni zid dovodnega kanala.



Slika 29. Navezava na prekatni del prehoda za vodne organizme - vzeto iz IBE načrta gradbenih konstrukcij in drugi gradbeni načrti (IBRB-8G8022).

Fiksne kote vtokov v prekatni del so na različnih višinah:

regulacijska zapornica 1 - 151,700 m n. m;

regulacijska zapornica 2 - 151,519 m n. m;

regulacijska zapornica 3 - 151,305 m n. m;

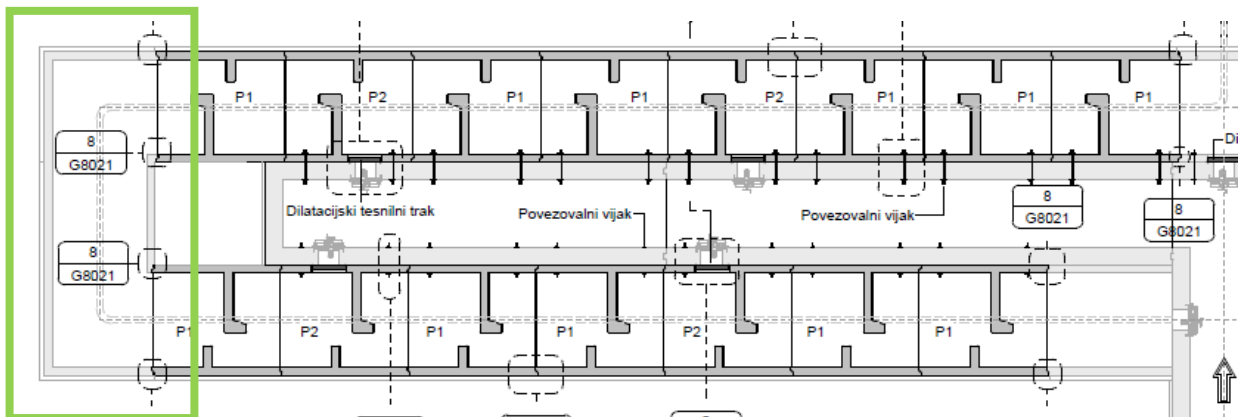
regulacijska zapornica 4 - 151,085 m n. m;

regulacijska zapornica 5 - 150,860 m n. m;

regulacijska zapornica 6 - 150,600 m n. m;

kar omogoča obratovanje pri različnih gladinskih stanjih v pretočni akumulaciji HE Brežice.

Prekatni odsek je sestavljen iz 15 prefabriciranih montažnih armiranobetonskih prekatov. Dolžina posameznega prekata je 3,0 m, notranja širina pa znaša 2,2 m. V prekatih so postavljeni prečni zidovi z navpičnimi režami, svetle odprtine 0,45 m pod kotom 45° glede na smer prekatov. Debelina sten in talne plošče montažnih prekatov in betoniranih segmentov znaša 0,2 m. Prekati so nanizani vzdolž dolvodnega kraka dovodnega kanala. Nameščeni so ob zunanjem zidu ob obeh daljših stranicah. Na steno dovodnega kanala so pritrjeni z vijaki. Vsak tretji prekat ima na boku dovod vode iz dovodnega kanala (glej sliko 29). Vzdolžni nagib prekatov znaša 2,5 %, z vmesnim vodoravnim počivališčem (lokacija je z zeleno označena na sliki 30). Na tem delu so ob celoten zunanji zid segmenta, od dna do vodne gladine, nagradene skale velikosti 0,5–1,2 m, ki usmerjajo vodni tok in v votlinah med njimi nudijo ribam skrivališča.



Slika 30. Prekatni del prehoda za vodne organizme in oznaka vmesnega vodoravnega počivališča.

Tudi dno prekatnega odseka je v celoti prekrito s slojem opranega savskega kamenja, skupne debeline 0,2 m. V območju navpične reže je v vsakem prekatu položen na dno večji ploščat kamen višine 0,3 m. Na mesta gorvodno od reže je ob daljšem prečnem zidu na tla položena skala velikosti okrog 0,8 m.

Za 15. prekatom se prehod nadaljuje v sonaravni izvedbi – kot umetno izdelana struga potoka, ki je vijugavo speljana na levem bregu Save. Gorvodna polovica je speljana na nadvišanem utrjenem platuju z vzdolžnim nagibom 1,7 %, dolvodna polovica pa je vkopana v obstoječi teren in ima vzdolžni nagib 1,9 %. Povprečni vzdolžni nagib celotnega sonaravnega dela je 1,8 %. Struga prehoda za vodne organizme je na iztoku brez hidravličnega skoka povezana s strugo Save.

2.8.2 Način obratovanja vtočnega objekta

Vtočni objekt zagotavlja naslednje vodne režime v PzVO:

- obratovanje v normalnih razmerah (pri **nizkih in srednjih pretokih Save**) s samodejnim uravnavanjem pretoka v PzVO z manevriranjem šestih regulacijskih zapornic na vtoku v prekatni del;
- obratovanje pri **visokih vodah Save** (nad 800 m³/s) s samodejnim in ročnim uravnavanjem pretoka z glavno regulacijsko zapornico na vtoku;
- obratovanje pri **remontu, sanaciji ali drugih posegih** z ročnim uravnavanjem pretoka.

Obratovanje v normalnih razmerah

V tem obratovalnem načinu je zagotovljen stalni pretok v PzVO, ki se prilagaja letnim obdobjem in je tekom leta različen. Pretoki so določeni glede na zagotavljanje razmer v času migracij in izven teh obdobj (preglednica 6).

Preglednica 6. Režim pretokov na PzVO skozi letno obdobje

Način/režim	Pretok (l/s)	obdobje
R500	500	sep. – jan.
R650	650	feb.-mar. in jul.-avg.
R800	800	apr.-jun.

Pri obratovanju v normalnih razmerah je glavna zapornica na vtoku popolnoma dvignjena. Pretok v prekate se uravnava z regulacijskimi zapornicami, ki so lahko samo v odprtem ali zaprtem položaju. Regulacija pretoka, z upoštevanjem nihanja vode v pretočni akumulaciji, je urejena z ustreznim načinom odpiranja regulacijskih zapornic, ki zagotavljajo ustrezne hidravlične razmere in s katerimi je vzdrževan referenčni pretok. Vedno je odprta le ena regulacijska zapornica, preostale so zaprte. Ob spremembi gladine v bazenu nad ali pod koto pri kateri je potrebno odpreti naslednjo zapornico se le ta odpira hkrati z zapiranjem trenutno odprte zapornice.

Obratovanje v visokovodnih razmerah

Za visokovodne razmere se v tem primeru štejejo pretoki Save večji od 700 m³/s, kar velja za naraščajoče pretoke Save, ko je tudi močno povečana kalnost reke Save. Pri upadanju visoke vode se normalno stanje obratovanja ponovno vzpostavi pri pretoku 650 m³/s. Glavni namen tega obratovalnega režima je omejitev vtoka kalne vode v PzVO, saj se s tem omejuje in upočasnjuje zamuljevanje struge v sonaravnem delu PzVO. Sonaravni del struge namreč nima naravne samočistilne sposobnosti, zamuljeno dno pa ne omogoča pravilnega delovanja PzVO, saj ovira nekatere biološke funkcije rib (kot na primer reprodukcijo). V času visokovodnih razmer je glavna zapornica na vtoku priprta in zagotavlja svetlo višino okoli 9 – 9,5 cm. Pri regulacijskih zapornicah je odprta šesta, zadnja dolvodna zapornica, da je z vzpostavitvijo večje hitrosti vodnega toka preprečeno zamuljevanje dna v dovodnem objektu. V teh razmerah je prehodnost začasno onemogočena in z vodnim režimom se zgolj zagotavlja pretok v strugi sonaravnega dela, da ne pride do izsušitve.

Obratovanje pri izjemnih razmerah

Če se zaradi katerikoli zunanje vzroka (remont, sanacija) pokaže potreba po zaprtju PzVO, je pretok v vtočni objekt popolnoma zaprt z glavno zapornico, in pri tem so zaprte tudi vse regulacijske zapornice. V vsakem primeru je ta režim obratovanja izjemen, in se mu je potrebno izogibati. V kolikor se pojavi razlog za zaprtje vtoka v PvZO je treba izvesti odlov rib v dotočnem objektu in zagotoviti minimalni pretok v sonaravnem delu. To se zagotavlja s potopno črpalko, ki črpa vodo iz pretočne akumulacije v PzVO dolvodno od betonskega objekta. Količina črpanja znaša najmanj 20 l/s.

Enako velja tudi za situacijo, ko je pretok v reki Savi višji od 3000 m³/s, pri teh visokovodnih razmerah gladina v pretočni akumulaciji pade pod 151,60 m n. m (novi praga PzVO) in voda ne more več vtekati. Že pri pretokih > 2.000 m³/s se v dovodni kanal dovaja voda s pomočjo ročno nameščene potopne črpalke pretočne kapacitete vsaj 20 l/s, ki se jo namesti na nasip na globino okrog 150,50 m n. m.

2.8.3 Izvedba kontrolnih meritev pretokov v sonaravnem delu PvZO

Ena osnovnih nalog PzVO je, da se glede na višinsko razliko zajeze gladin dolvodne in gorvodne vode ustrezno zmanjša hitrost vode z manjšanjem potencialne energije toka. To dosegamo z vrtinčenjem vode z različnimi ovirami, kot so kaskadni bazeni, skalometi, posebne prečne pregrade z zožitvami in obračali toka in podobno. Vse vrste rib niso med najboljšimi plavalci in jim je prevelika hitrost vode nepremostljiva ovira. Zato je pregled in določitev kritičnih točk prehoda s prevelikimi hitrostmi vode zelo pomembna. Z zadostnim zmanjšanjem hitrosti lahko zelo izboljšamo fizične pogoje prehajanja rib. To lahko storimo s še ustreznim manjšanjem pretoka in določenimi geometrijskimi modifikacijami v ribji stezi.

Brez samega poznavanja tehničnih parametrov hitrost vode, pulzacij, vorteksov, mirnega ali deročega toka, smeri rezultante toka vode in volumskega pretoka, je nemogoče doseči pogoje za optimalno obratovanje ribjih stez. Za doseg ciljev je potrebno poznavanje hidravlike toka in osnov hidravlike v ribji stezi, v prvi vrsti. To je možno glede na 3D problematiko vodnih tokov doseči le z meritvami na terenu in seveda s primerno 3D hidrometrično opremo.

V maju in juniju 2023 smo izvedli kontrolne meritve pretokov v sonaravnem delu PzVO z namenom, da opredelimo hidravlične pogoje vzdolž sonaravnega dela PvZO. Pogoj pri izvedbi meritev je zagotavljanje stalnega vodostaja gladine v pretočni akumulaciji, ker je na ta način zagotovljeno, da se ne spreminjajo hidravlični pogoji na vtočnem objektu, ki bi lahko vplivali na spreminjanje velikosti pretoka skozi PzVO. Da smo izločili kakršnikoli zunanji vpliv na izvedbo meritev smo postavili pogoj, da je glavna zapornica na vtočnem objektu popolnoma odprta in na ta način preprečena kakršnakoli turbulenca, ki bi lahko vplivala na rezultate meritev. Meritve smo izvajali za dve gladinski stanji pretočne akumulacije, z odprtjem regulacijskih zapornic 3 (za meritve v maju) in 1 (za meritve v juniju).

Lokacije merskih profilov smo določili glede na hidravlične pogoje neposredno na lokaciji. Zaradi zagotavljanja regularnosti meritev, mora biti pretok čim bolj enakomeren, brez izrazite turbulence. Velik vpliv na regularnost meritev predstavlja zarast struge z vodno vegetacijo v sonaravnem delu PvZO, ki jo je bilo potrebno predhodno odstraniti. Kot referenčne merske profile smo določili tri lokacije (slika 31):

- lokacija pod iztočnim delom iz bazenskega dela PzVO – profil P1;
- lokacija pod cestnim prepustom nad iztočnim delom PzVO – profil P3;
- vmesna lokacija med obema krajnjima profiloma – profil P2.

Meritve pretokov smo izvedli s hidro-akustično mersko opremo Sontek RS5 z GPS geolociranjem na dva načina, in sicer z:

- upravljanjem plovila z vrvnim sistemom in škripčevjem (slika 32);
- ročnim upravljanjem plovila z drogom (slika 33).



Slika 31. Lokacije merskih profilov na sonaravnem delu PvZO.



Slika 32. Izvedba meritev z opremo Sontek z vrvmim upravljanjem.



Slika 33. Izvedba meritev z opremo Sontek z ročnim upravljanjem.

2.9 Raziskave učinkovitosti omilitvenih ukrepov na spodnji Savi

2.9.1 Splošno o prehodih za vodne organizme

Prehodi za vodne organizme so najpogostejši ukrep, ki se navaja kot učinkovita rešitev za migracije ciljnih ribjih vrst, seveda ob ustrezni oblikovanosti, ki omogoča ustvarjanje bivanjskih razmer, ki ribam ob migraciji omogoča prehodnost. Pri načrtovanju omilitvenih ukrepov pri hidroelektrarnah se v strokovni in laični javnosti pojavljajo pomisleki, da posamezne ribje vrste ne bi mogle živeti v sožitju s hidroelektrarnami. Na osnovi nekaterih primerov dobrih praks v preteklosti (na primer: rezultatov LIFE projekta Ljubljana povezuje) pa praksa kaže ravno na nasprotno. Za naselitev ribjih populacij v akumulacijskih bazenih je potrebno prvenstveno izvesti učinkovite omilitvene ukrepe, ki omogočajo ribjim vrstam dostopnost do drstišč, v predmetnem primeru izvedba primernih ribjih stez, ki omogočajo prehod vsem vodnim organizmom, ki so v prehranjevalni verigi posameznih ciljnih ribjih vrst. Poudarek pri izvedbi omilitvenih ukrepov je njihova učinkovitost kot eden od ciljev predmetnega raziskovalnega projekta.

Pogosto se pri določanju učinkovitosti delovanja ribjih stez izvaja monitoring prehajanja rib z namenom ugotavljanja učinkovitosti delovanja ribje steze. Z razvojem digitalne tehnologije se je razvila tudi možnost spremljanja prehajanja rib skozi ribje steze z uporabo video nadzornega sistema. Spremljanje prehajanja rib skozi ribje steze z video sistemom ima veliko prednosti pred drugimi pogosto uporabljenimi metodami, kot so na primer monitoring z vršami ali monitoring z RFID čipi. Monitoring prehajanja rib z video nadzornim sistemom nam omogoča neprekinjeno oziroma zvezno opazovanje prehajanja rib, poleg tega pa je ta metoda monitoringa za ribe povsem neinvazivna in neškodljiva. Pri izvedbi monitoringa prehajanja rib skozi ribjo stezo je zaželeno poleg števila rib, poznati tudi podatek o velikosti rib. Podatek o velikosti rib, ki prehajajo skozi ribjo stezo je pomemben predvsem zaradi informacije o tem, kako velike ribe, še lahko prehajajo skozi ribjo stezo. Z uvedbo video nadzornega sistema pa se ponuja še možnost prepoznave ribjih vrst pri prehodu ribje steze. Seveda je potrebno za vzpostavitev takega sistema uporabiti ustrezno opremo. Video nadzorni sistem temelji praviloma na dveh kamerah s katerimi zajemamo prehod rib preko vidnega polja. Ključnega pomena pa je, kako postaviti video nadzorni sistem, da so značilnosti rib (velikost, vrsta,...) pri prehodu vidnega polja nadzornega sistema evidentne zgolj na podlagi video zapisa, brez dodatnih računalniških obdelav posnetega video materiala.

2.9.2 Postavitev video nadzornega sistema v prehodu za vodne organizme HE Brežice

Za spremljanje učinkovitosti delovanja ribje steze Brežice smo na vtočnem delu (tehničnem delu) pred drstno sezono v letu 2022 postavili video nadzorni sistem, ki je bil v ta namen razvit v okviru projekta LIFE Ljubljana povezuje (LIFE10 NAT/SI/000142) in omogoča spremljanje: števila osebkov, določitev vrste, velikosti, smer in čas prehoda. Pri LIFE projektu smo v času spremljanja registrirali okoli 100.000 prehodov, kar je v celoti pokrilo pričakovanja učinkovitosti delovanja ribjih stez. Pri konvencionalnem pristopu markiranja rib smo omejeni glede na vzorec populacije rib, ki smo ga uspeli markirati in vprašanje je, če ta vzorec ustreza tudi dejanski populaciji, ki migrira. Z video nadzorom to vprašanje ni pomembno, ker zajamemo tisti del populacije, ki dejansko migrira.

Video nadzorni sistem (slika 34), ki je patentiran (Patent SI 24970), sestavljata dve podvodni kameri (širokokotni, s fiksnim fokusom in dodatno osvetlitvijo), ki sta nameščeni na vsako stran prehoda in omogočata registracijo posameznih ali skupine rib, ki prečkajo vidno polje kamer (slika 35). Ob vsaki kameri je nameščeno merilo (vzporedno nameščeni klasični vodomerni lati z 2cm skalo in dolžine 1m), ki omogoča oceno dolžine za vsako ribo posebej (slika 36). Da je omogočena polno funkcionalnost sistema tudi v nočnem času, je vgrajen dodatni reflektor, ki omogoča nočno snemanje (slika 37). Sistem omogoča popolnoma neinvazivno spremljanje velikosti in smeri plavanja rib, ki prehajajo skozi ribjo stezo. Velikost rib je mogoče določiti po patentiranem protokolu iz razmerja dolžin na osnovi nasprotno usmerjenih fotografij rib pri prehodu z odčitkom navidezne velikosti na merskih latah (slika 38).



Slika 34. Video nadzorni sistem na vtočnem kanalu ribje steze



Slika 35. Podvodni širokokotni HD kameri



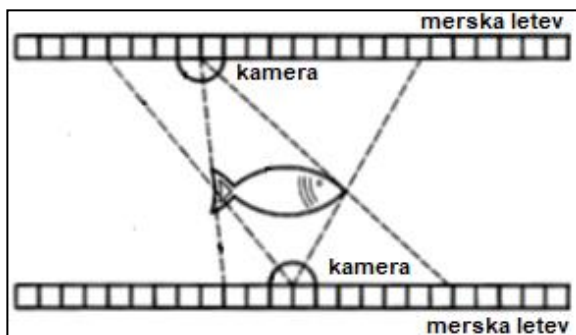
Slika 36. Vodomerina leta in kamera



Slika 37. Dodatni reflektor za nočno snemanje

Sistem napajanja opreme je avtonomen in stalen. Podatki se shranjujejo na procesorsko kontrolnem krmilniku, ki omogoča (slika 39):

- strežniški sistem za kontinuirno snemanje,
- nastavitev detektorja gibanja za pričetek zapisa,
- shranjevanje na lokalni disk,
- spremljanje video nadzora v živo,
- vizualizacijo pregleda posnetkov preko spleta,
- statistične analize,
- alarmiranje in obveščanje ter
- spremljanje in upravljanje sistema na daljavo.



Slika 38. Princip določitve velikosti rib



Slika 39. Procesorski kontrolni merilnik

Prednost tega sistema pred konvencionalnimi metodami je v tem, da ni potrebna nikakršnega posega v ribji živelj (izlov, markiranje) in je za ribjo populacijo najmanj stresna. Kar je nedvomno prednost takega sistema je v tem, da dejansko zajamemo vse vodne organizme, ki prečkajo vidno polje video nadzornega sistema in dobimo dejansko učinkovitost delovanja ribje steze.



2.9.3 Preveritev prisotnosti platnice in zvezdogleda v prehodu za vodne organizme HE Brežice ob interventnem elektroizlovu

V času naše raziskave se je zgodil izredni dogodek, ki se ob normalnem obratovanju Nuklearne elektrarne Krško ponovi vsakih 18 mesecev. Zaradi remonta Nuklearne elektrarne Krško v letu 2022 je bila izvedena izredna denivelacija akumulacije HE Brežice, ki je vplivala tudi na pretok vode skozi prehod za vodne organizme na HE Brežice. Dne 1. 10. 2022 in 8. 10. 2022 so člani ribiške družine Brežice izvedli elektroizlov z namenom prestavitve rib iz prehoda za vodne organizme v sosednje potoke in reko Savo. Dne 8. 10. 2022 smo tudi sami preverili ali so med ulovljenimi ribami v prehodu za vodne organizme prisotni tudi primerki zvezdogleda in platnice.

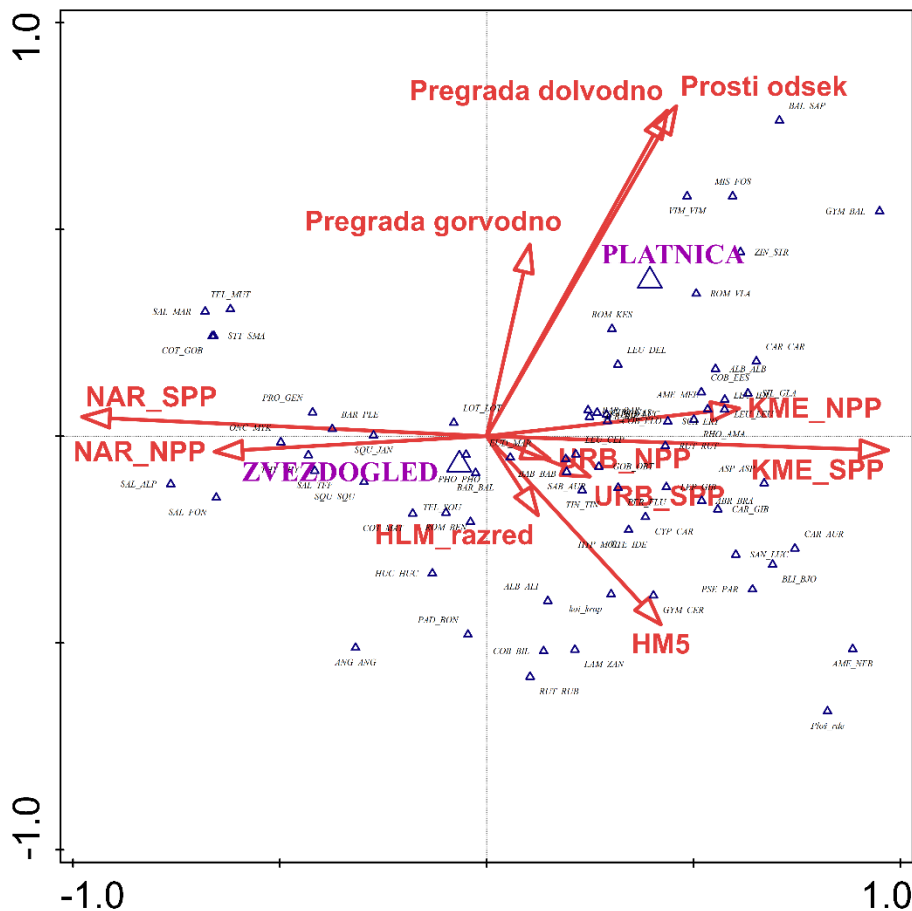
3. REZULTATI

3.1 Habitatske preference rib

Skupna variabilnost združbe rib v 725 vzorcih z 72 taksoni je znašala 4,41561, pri čemer smo z 11 okoljskimi spremenljivkami pojasnili 16,4 % variabilnosti (15,2 % prilagojena vrednost). Največ variabilnosti (11,1 %) smo pojasnili s spremenljivko delež naravnih površin v skupnem prispevnem območju, ki v veliki meri ustreza tudi deležu kmetijskih površin (preglednica 7). Od hidromorfoloških spremenljivk smo največ variabilnosti (3,6 %) pojasnili s spremenljivko dolžina prostega odseka. S spremenljivkami pokrovnosti tal smo pojasnili več variabilnosti združb rib kot s spremenljivkami hidromorfoloških razmer. Vzdlž prve osi kanonične korespondenčne analize CCA smo ugotovili spreminjanje gradienta pokrovnosti tal od naravnih k spremenjenim oz. s površinami s prevladujočo kmetijsko rabo, vzdolž druge osi pa gradient hidromorfoloških razmer, ki odražajo predvsem vpliv prečnih objektov (slika 40). Glede na razporeditev platnice in zvezdogleda vzdolž prvih dveh osi CCA smo ugotovili, da preferirata dokaj drugačne razmere. Platnica preferira vodotoke, ki jih najdemo v kmetijski spremenjeni krajini oz. v krajini z relativno velikim deležem kmetijskih površin in z relativno dolgimi prostimi odseki. Zvezdogled se nahaja na sredini diagrama in preferira vodotoke, ki se nahajajo v območjih z večjim deležem naravnih površin v prispevnem območju in pri zmerno dolgih prostih odsekih.

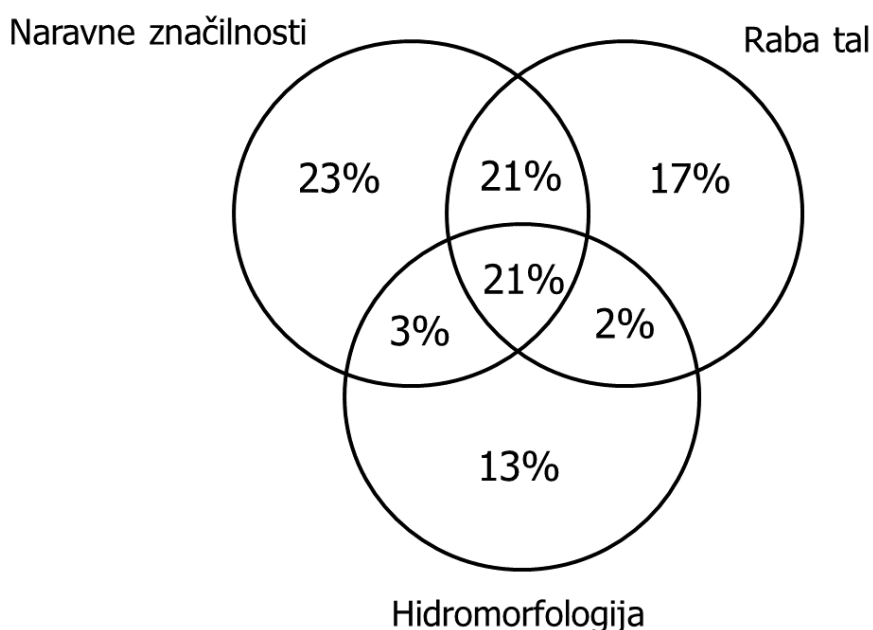
Preglednica 7. Delež variabilnosti združb rib pojasnjen s posamezno spremenljivko pokrovnosti tal in hidromorfoloških razmer. (SPP – skupne prispevne površine, NPP – neposredne prispevne površine, P - vrednost statistične značilnosti).

Spremenljivka	Šifra	Pojasnjena variabilnost (%)	P
Naravne površine-SPP	NAR_SPP	11,1	0,001
Kmetijske površine-SPP	KME_SPP	11,0	0,001
Naravne površine-NPP	NAR_NPP	5,3	0,001
Kmetijske površine-NPP	KME_NPP	4,5	0,001
Prosti odsek-dolžina	prosti odsek	3,6	0,001
Pregrada dolvodno-oddaljenost	pregrada dolvodno	3,3	0,001
Indeks morfoloških razmer	HM5	2,6	0,001
Indeks hidrološke spremenjenosti-razred	HLM_razred	1,2	0,001
Pregrada gorvodno-oddaljenost	pregrada gorvodno	1,0	0,001
Urbane površine-SPP	URB_SPP	1,0	0,001
Urbane površine-NPP	URB_NPP	0,7	0,001



Slika 40. F1 x F2 diagram kanonične korespondenčne analize (CCA) z okoljskimi spremenljivkami (rdeče puščice) in vrstami rib (modri trikotniki); zvezdogled in platnica sta izpisana zeleno. Za šifre okoljskih spremenljivk glej preglednico 5.

S porazdelitvijo variabilnosti združbe rib med tri skupine spremenljivk: naravne značilnosti, raba tal in hidromorfologija smo ugotovili, da nekoliko več kot 50 % variabilnosti pojasnjujejo individualne skupine spremenljivk – disjunktni del in nekoliko manj kot 50% dve ali več skupin spremenljivk – presečni del (slika 41). V splošnem smo največ variabilnosti združb pojasnili z naravnimi značilnostmi (68 %), nekoliko manj s skupino spremenljivk raba tal (61 %) in najmanj s skupino hidromorfologija (39 %). Največji disjunktni del variabilnosti (23 %) smo pojasnili s skupino naravne značilnosti, ki so odraz razlik v naravnih in biogeografskih značilnostih v hidroekoregijah (Urbanič 2008). S skupino spremenljivk raba tal smo neodvisno pojasnili 17 %, medtem ko s skupino spremenljivk hidromorfologija 13 % variabilnosti. Dokaj visok je presečni del (21 %), ki smo ga pojasnili z vsemi tremi skupinami spremenljivk, kar je odraz, da se raba tal in hidromorfološke obremenitve spreminjajo med hidroekoregijami in so povezane z naravnimi značilnostmi. Enak disjunktni del (21 %) smo ugotovili samo med naravnimi značilnostmi in rabo tal, kar pomeni, da je pomemben delež variabilnosti združb rib pojasnjen hkrati z naravnimi značilnostmi in rabo tal.



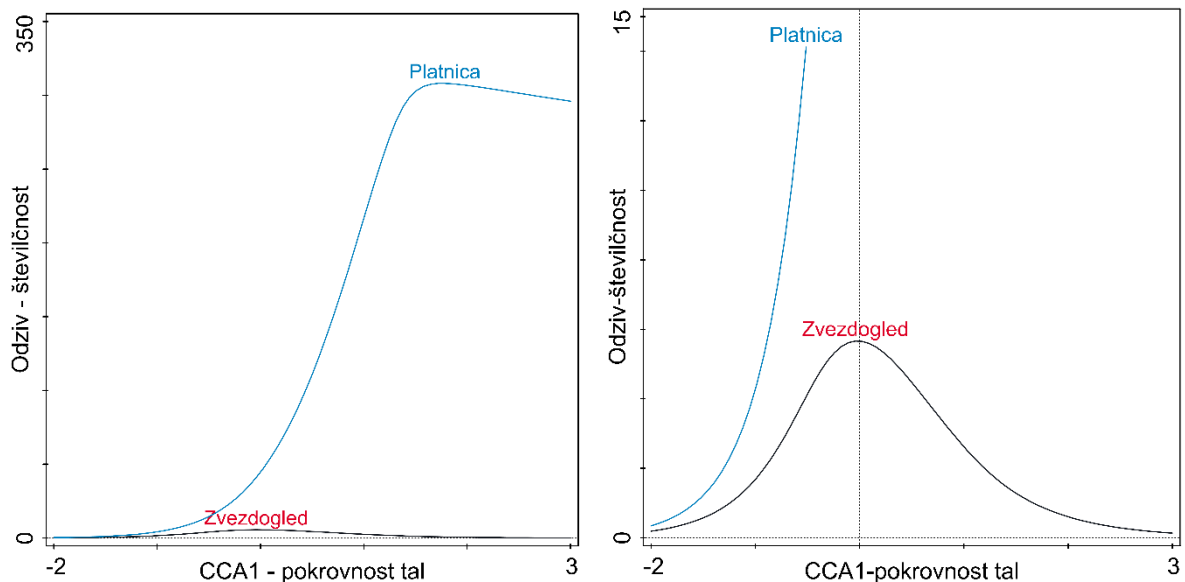
Slika 41. Vennov diagram porazdelitve skupne variabilnosti v razporeditvi združb rib Slovenije med tremi skupinami spremenljivk: naravne značilnosti, raba tal in hidromorfologija.

CCA diagram in analiza porazdelitve variabilnosti združb je odraz prisotnosti vseh vrst zajetih v analizi, zato smo za zvezdogleda in platnico izvedli tudi modeliranje spreminjanja številčnosti na podlagi generaliziranih aditivnih modelov (GAM). Ugotovili smo, da z najbolj pojasnjevalnimi spremenljivkami veliko bolje opišemo spreminjanje številčnosti platnice kot zvezdogleda (preglednica 8, slike 42-48). Poleg tega se pomen okoljskih spremenljivk razlikuje. Tako smo z GAM najbolj napovedali spreminjanje številčnosti platnice na podlagi spremenljivk hidromorfoloških značilnosti: oddaljenosti od dolvodne pregrade ($R^2 = 38,2\%$) in dolžine prostega odseka ($R^2 = 37,9\%$). Nekoliko nižji odstotek smo ugotovili na podlagi sestavljenega gradienta 1. osi CCA – pokrovnost tal ($R^2 = 34,1\%$), medtem ko smo z najbolj pojasnjevalnimi spremenljivkami pokrovnosti tal pojasnili nekoliko več kot 30 %. Za zvezdogleda smo najbolj opisali ($R^2 > 10\%$) spreminjanje številčnosti s spremenljivkami pokrovnosti tal (delež naravnih površin in delež kmetijskih površin v skupnem prispevnem območju) ter sestavljenim gradientom 1. osi CCA. Od spremenljivk hidromorfoloških značilnosti sta bili najbolj pojasnjevalni spremenljivki oddaljenost od dolvodne pregrade in indeks morfoloških razmer.

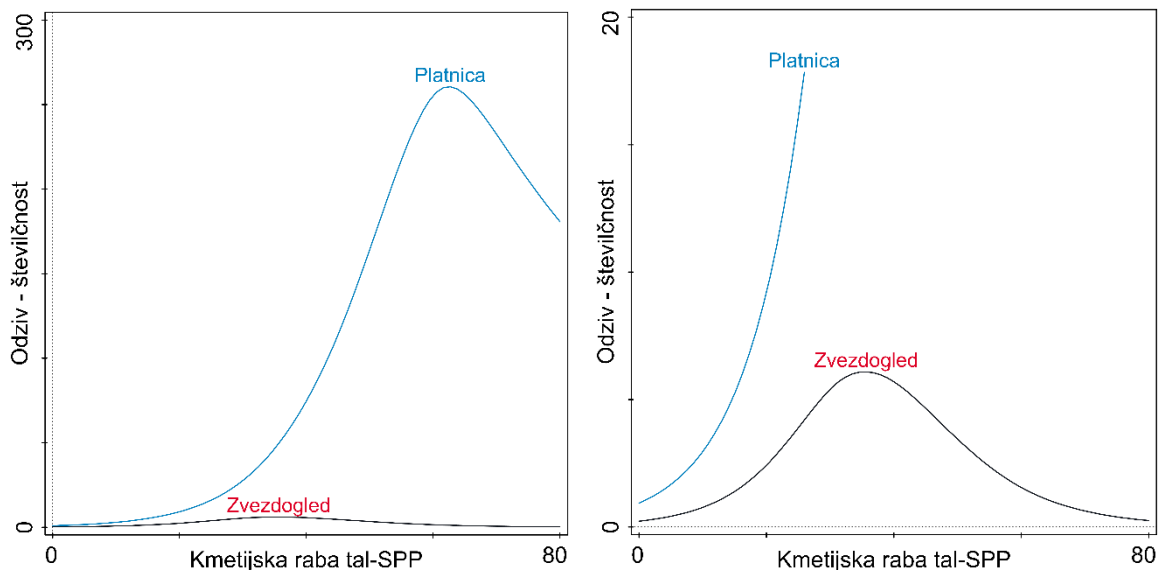
Preglednica 8. Pojasnjevalna sposobnost (R^2) generaliziranih aditivnih modelov razvitih za zvezdogleda in platnico z uporabo različnih spremenljivk pokrovnosti tal (CLC), hidromorfoloških razmer (HM) in sestavljenih gradientov kanonične korespondenčne analize (CCA). V vseh primerih je vrednost statistične značilnosti modela – $P < 0.00001$.

Skupina	Spremenljivka	Zvezdogled (R^2)	Platnica (R^2)
CCA_CLCHM	1. os CCA_ pokrovnost tal	11.2	34.1
CCA_CLCHM	2. os CCA_ hidromorfološke razmere	5.4	25.6
CLC	Naravne površine_SPP	13.7	31.1
CLC	Kmetijske površine_SPP	13.6	31.5
CLC	Urbane površine_NPP	7.1	0.3
CLC	Urbane površine_SPP	6.2	9.5
CLC	Naravne_NPP	6.1	23.6
CLC	Kmetijske_NPP	4.6	23.1

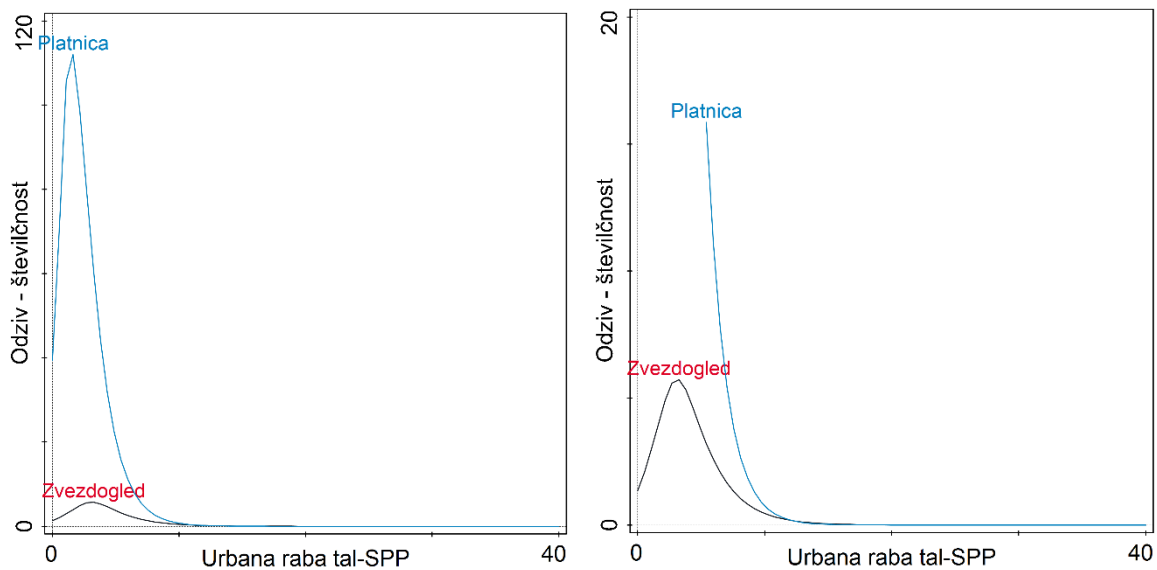
HM	Oddaljenost od dolvodne pregrade	8.0	38.2
HM	Indeks morfoloških razmer HM5	6.8	5.0
HM	Prosti odsek_glavna struga_log	2.7	37.9
HM	Indeks hidrološke sprejejenosti (HLM) - razred	2.3	2.2
HM	Oddaljenost od gorvodne pregrade	1.3	2.6



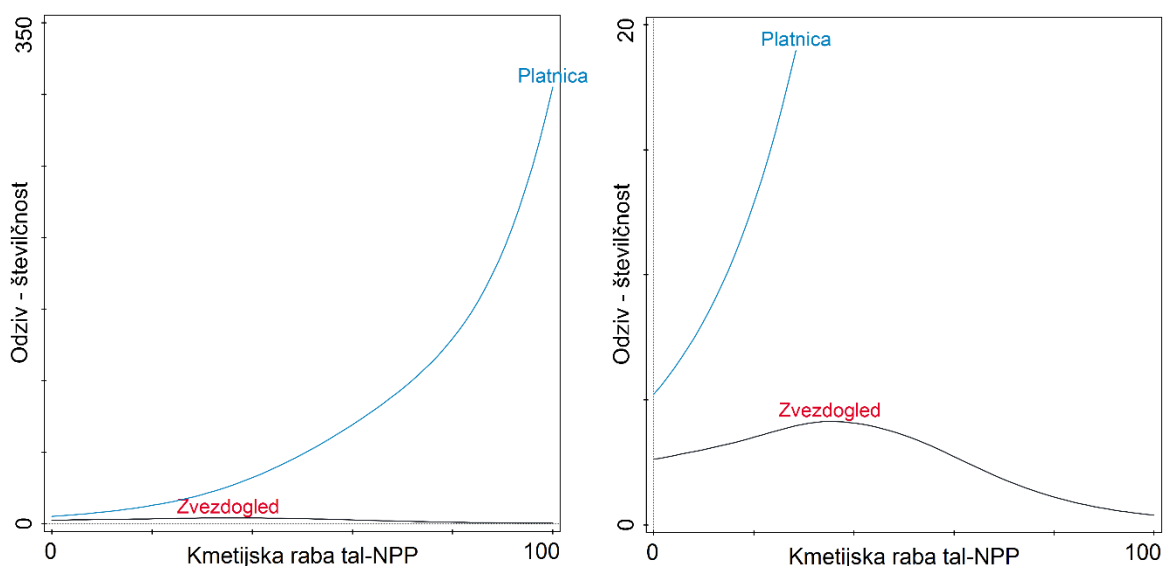
Slika 42. Generalizirani aditivni modeli za platnico in zvezdogleda na podlagi gradienta 1. osi kanonične korespondenčne analize (CCA1-pokrovnost tal).



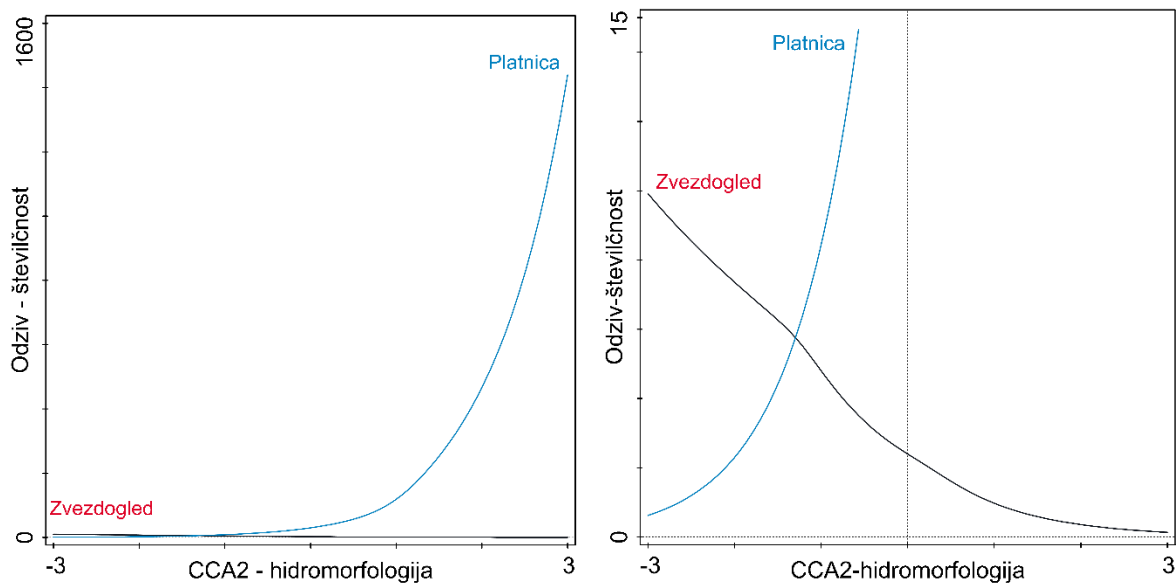
Slika 43. Generalizirani aditivni modeli za platnico in zvezdogleda na podlagi kmetijske rabe tal v skupnem prispevnem območju (SPP).



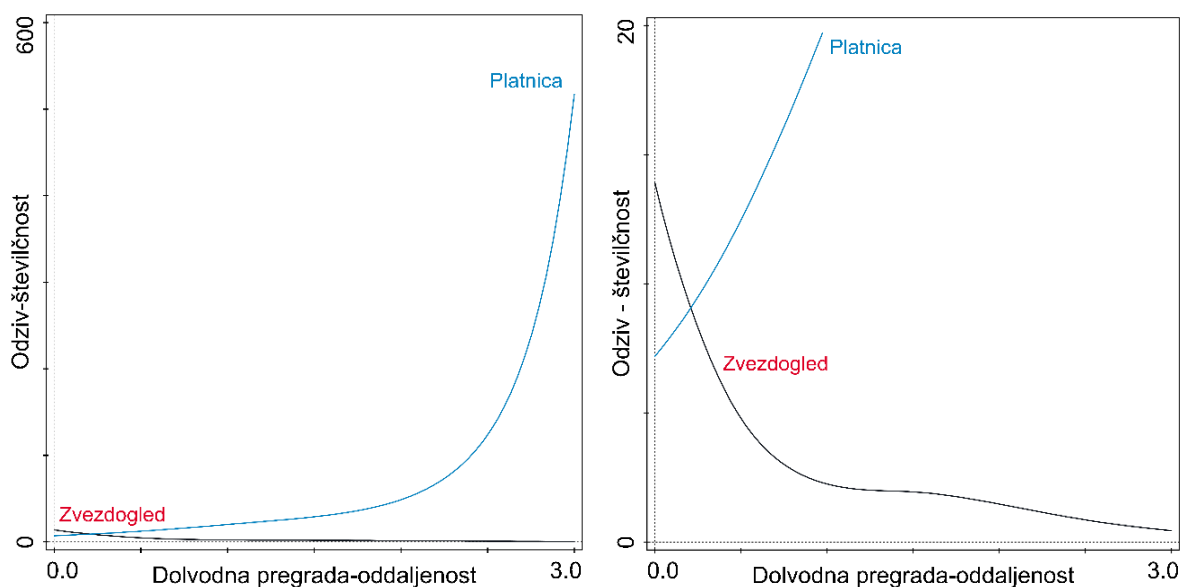
Slika 44. Generalizirani aditivni modeli za platnico in zvezdogleda na podlagi urbane rabe tal v skupnem prispevnem območju (SPP).



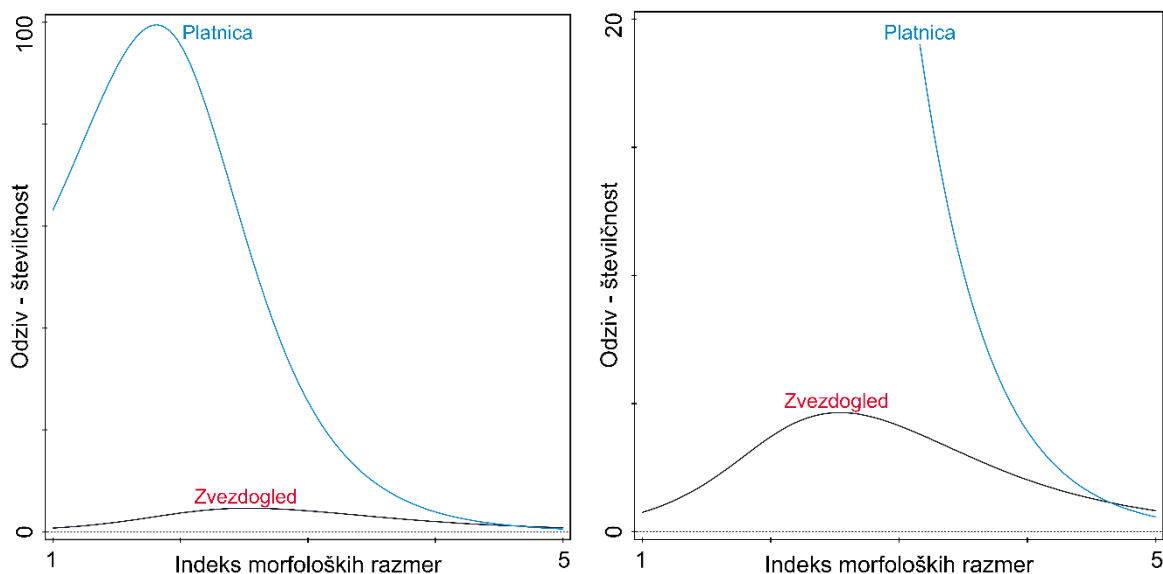
Slika 45. Generalizirani aditivni modeli za platnico in zvezdogleda na podlagi kmetijske rabe tal v neposrednem prispevnem območju (NPP).



Slika 46. Generalizirani aditivni modeli za platnico in zvezdogleda na podlagi gradienta 2. osi kanonične korespondenčne analize (CCA2-hidromorfologija).



Slika 47. Generalizirani aditivni modeli za platnico in zvezdogleda na podlagi oddaljenosti od dolvodne pregrade.



Slika 48. Generalizirani aditivni modeli za platnico in zvezdogleda na podlagi indeksa morfoloških razmer.

3.2 Hidravlične značilnosti reke Save in pritokov

V letu 2022 smo izvedli hidravlične meritve v času nizkih pretokov, pred drstno sezono v marcu. Zaradi obsežnosti meritev na terenu smo morali izvedbo porazdeliti na več dni. Osnovni parametri, ki smo jih pridobili z meritvami na terenu (širina struge, povprečna hitrost, pretok, maksimalna hitrost, srednja in maksimalna globina) so zbirno prikazani v preglednici 9 in s podrobnejšim poročilom o izvedbi meritev v prilogah A1-A10. Iz podrobnejših rezultati meritev je možno razbrati karakteristične parametre po posameznih merskih odsekih, njihove statistike (srednje, maksimalne in minimalne vrednosti), kar je pomembno za nadaljnje interpretacije glede zagotavljanja hidravličnih pogojev za migracijo rib vzdolž toka:

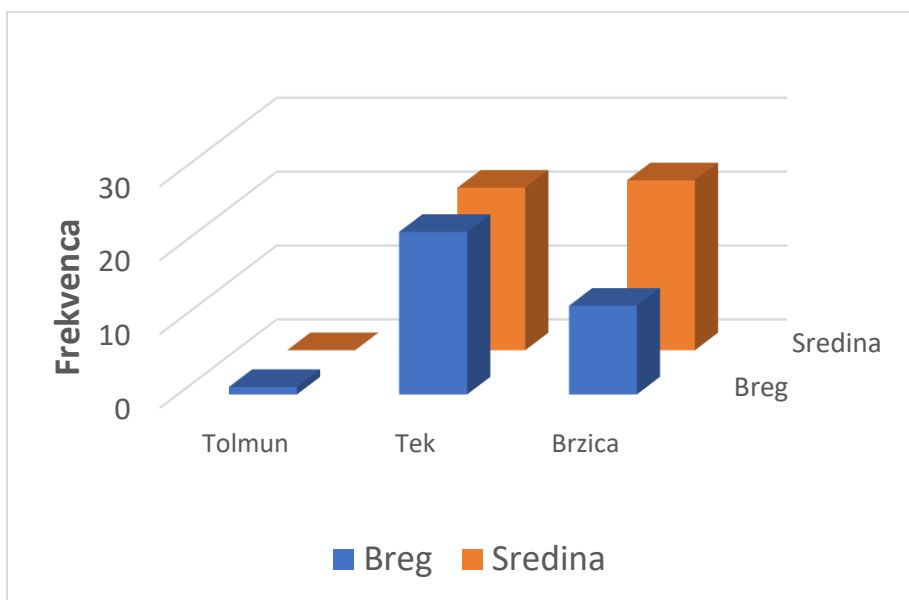
- hitrost vodnega toka po posameznih odsekih
- identifikacija lokalnih pojavov v vodnem toku (plitvine, brzice, tolmuni,..)
- opredelitev hitrostnega polja po višini in širini vodnega toka v realnem času

Preglednica 9. Rezultati hidravličnih meritev na spodnji Savi in pritokih

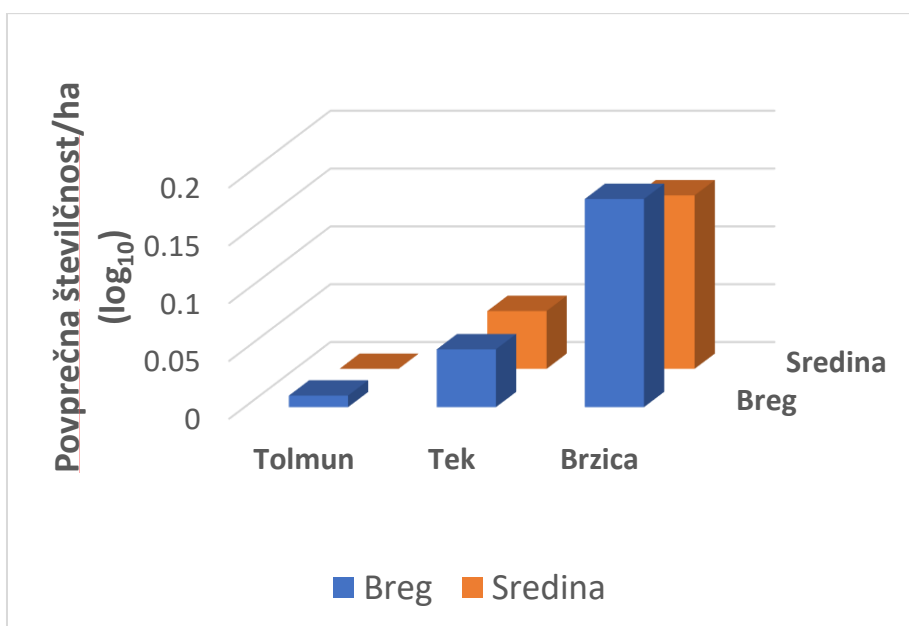
št.	Vodotok	Lokacija	datum meritve	merska naprava	širina struge	povprečna hitrost	pretok	maksimalna hitrost	srednja globina	maksimalna globina
					[m]	[m/s]	[m ³ /s]	[m/s]	[m]	[m]
1	Savinja	Veliko Širje	15.03.2022	FlowTracker2	35.4	0.48	8.11	0.85	0.48	0.70
2	Krka	Cerklje na Dolenjskem	08.03.2022	River Surveyor	60.8	0.31	20.59	1.19		1.72
3	Sotla	Rakovec	08.03.2022	FlowTracker2	8.9	0.58	1.64	1.08	0.32	0.44
4	Mirna	Dolenji Boštanj	08.03.2022	FlowTracker2	10.8	0.74	1.69	1.43	0.21	0.36
5	Sava	Sevnica - brv	08.03.2022	River Surveyor	113.6	0.14	76.16	0.85		6.54
6	Sava	HE Arto-Blanca - ribja steza	10.03.2022	River Surveyor	185.7	0.15	76.54	1.14		4.75
7	Sava	HE Brežice - preusmeritvena pregrada	10.03.2022	River Surveyor	154.3	0.09	84.80	1.95		9.93
8	Sava	HE Brežice - pod pregrado	10.03.2022	River Surveyor	108.7	0.41	69.32	1.33		2.46
9	Sava	HE Krško - cestni most	08.03.2022	River Surveyor	98.5	0.46	82.73	1.63		3.01
10	Sava	Podgračeno	10.03.2022	River Surveyor	90.2	0.89	95.53	2.14	0.89	1.59

3.3 Mezohabitatske preference rib v velikih rekah

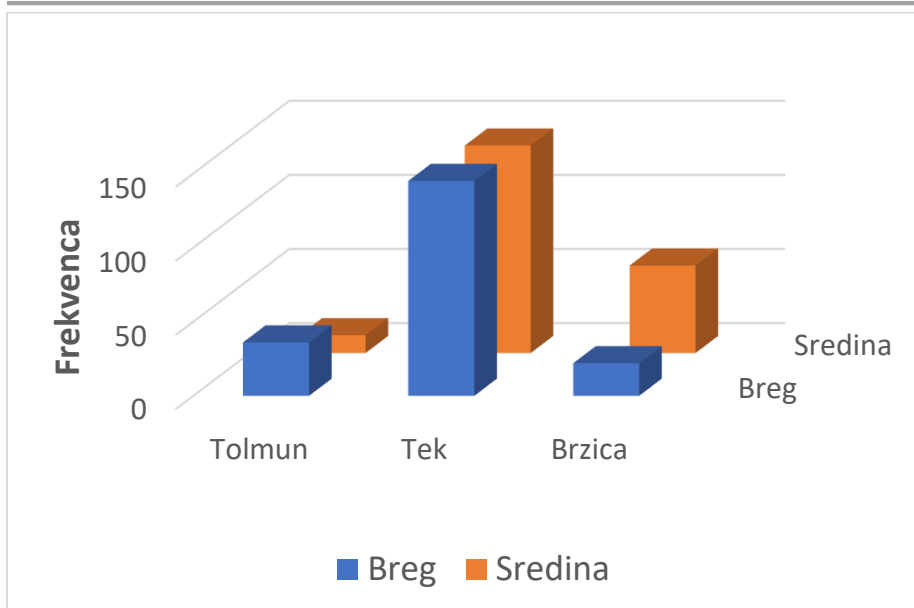
V velikih rekah zvezdogleda najpogosteje najdemo v teku in brzicah, v tolmunu je redko prisoten (lahko ob bregu) (slika 49). V brzicah ga najdemo v najvišji številčnosti. Platnico najpogosteje najdemo v teku, v brzicah in tolmunu je redkeje prisotna (slika 50). V številčnosti platnice nismo ugotovili bistvenih razlik med mezohabitati, čeprav so nekoliko višje vrednosti bile ugotovljene v sredini struge kot ob bregu (sliki 51-52).



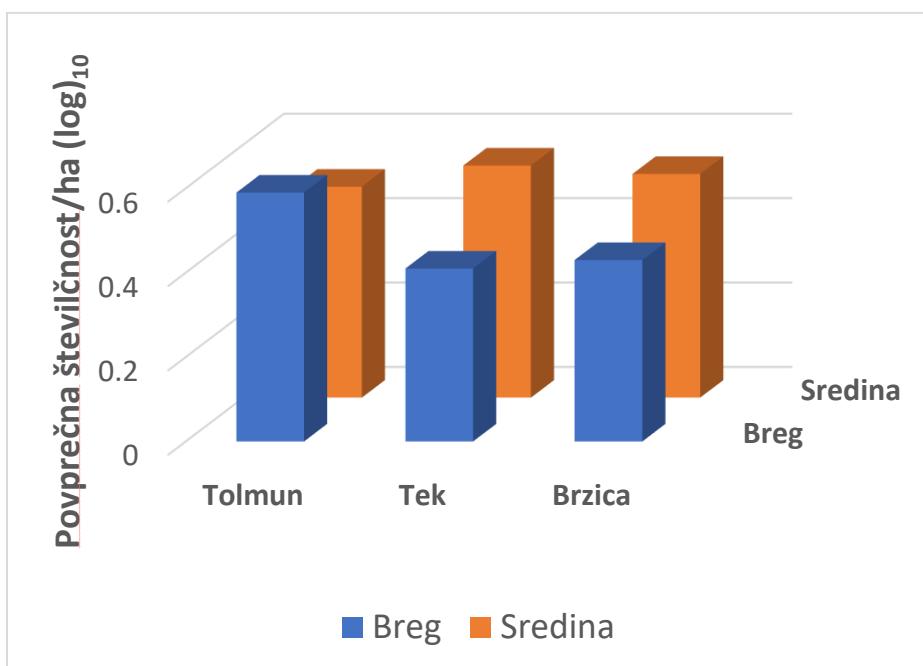
Slika 49. Frekvenčna razporeditev podatkov o prisotnosti zvezdogleda v mezohabitatih velikih rek.



Slika 50. Povprečna številčnost/ha (log₁₀) zvezdogleda v mezohabitatih velikih rek.



Slika 51. Frekvenčna razporeditev podatkov o prisotnosti platnice v mezohabitatih velikih rek.

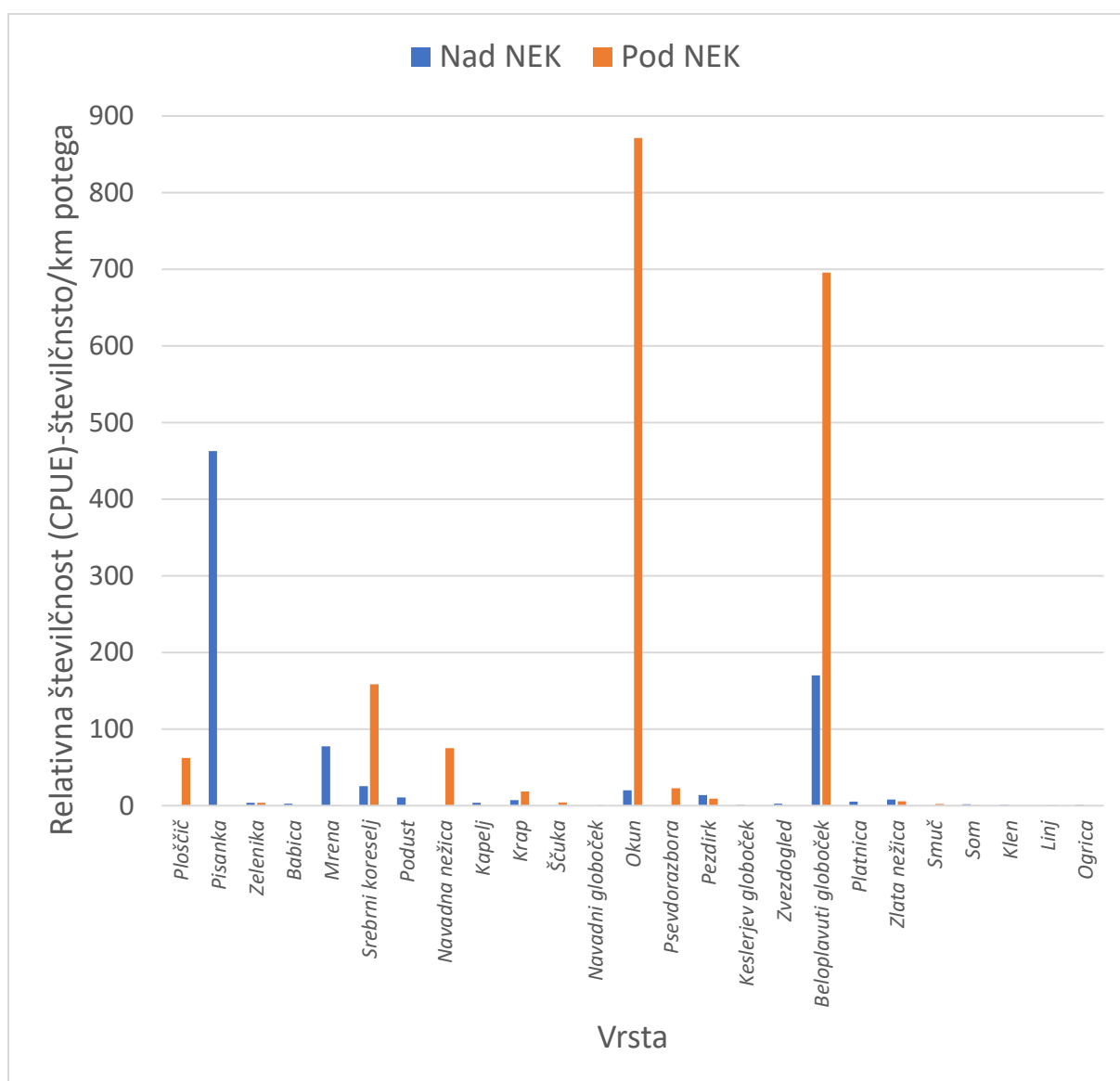


Slika 52. Povprečna številčnost/ha (\log_{10}) platnice v mezohabitatih velikih rek.

3.4 Metodologija vzorčenja rib v akumulaciji z električno pridneno mrežo

V akumulaciji HE Brežice smo ujeli 3605 osebkov rib, ki so pripadali 25 vrstam (slika 53): babica (*Barbatula barbatula*), beloplavuti globoček (*Romanogobio vladykovi*), kapelj (*Cottus gobio/metae*), keslerjev globoček (*Romanogobio kesslerii*), klen (*Squalius cephalus*), krap (*Cyprinus carpio*), linj (*Tinca tinca*), mrena (*Barbus barbus*), navadna nežica (*Cobitis elongatoides*), navadni globoček (*Gobio*

obtusirostris), ogrica (*Vimba vimba*), okun (*Gymnocephalus cernua*), pezdirk (*Rhodeus amarus*), pisanka (*Alburnoides bipunctatus*), **platnica (*Rutilus virgo*)** (slika 54), ploščič (*Abramis brama*), podust (*Chondrostoma nasus*), psevdorazbora (*Pseudorasbora parva*), ščuka (*Esox lucius*), smuč (*Sander lucioperca*), som (*Silurus glanis*), srebrni koreselj (*Carassius gibelio*), zelenika (*Alburnus alburnus*), zlata nežica (*Sabanejewia aurata*) in **zvezdogled (*Romanogobio uranoscopus*)** (slika 55). Na delu akumulacije nad Nuklearno elektrarno Krško (NEK) smo v 11 potegih ujeli 900 osebkov, medtem ko pod NEK v 14 potegih 2705 osebkov. Največ je bilo ulovljenih osebkov beloplavutega globočka, okuna, pisanke in srebrnega koreslja. Osebkki zvezdogleda in platnice so bili ulovljeni v odseku nad NEK, medtem ko jih na odseku akumulacije pod NEK nismo ujeli. Večina ujetih osebkov je bilo mladostnih in dolžine pod 10 cm (slika 56). Vz dolž akumulacije se je število ujetih vrst statistično značilno zmanjševalo ($N = 25, p < 0.05$), pri čemer smo največ vrst ujeli v plitvem delu korena akumulacije HE Brežice, kjer so razmere podobne srednje-hitro tekoči veliki reki (slika 57). Najmanj vrst smo ujeli v odseku pred pregrado HE Brežice, kjer je akumulacija globoka >15 m in smo ob vzorčenju na dnu zaznali anoksične razmere.



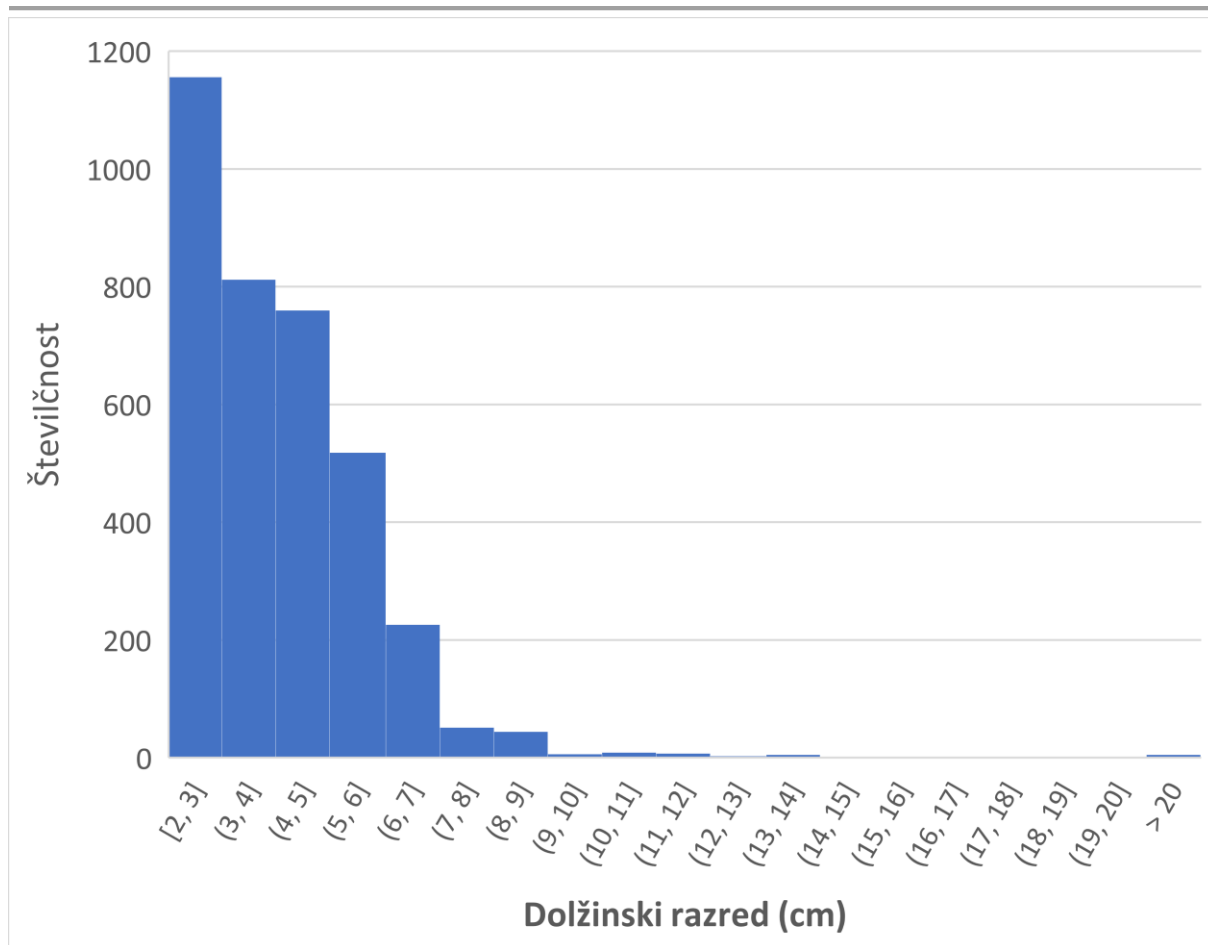
Slika 53. Relativna številčnost (CPUE) rib ulovljenih z električno pridreno mrežo v akumulaciji HE Brežice nad in pod Nuklearno elektrarno Krško (NEK) junija 2022.



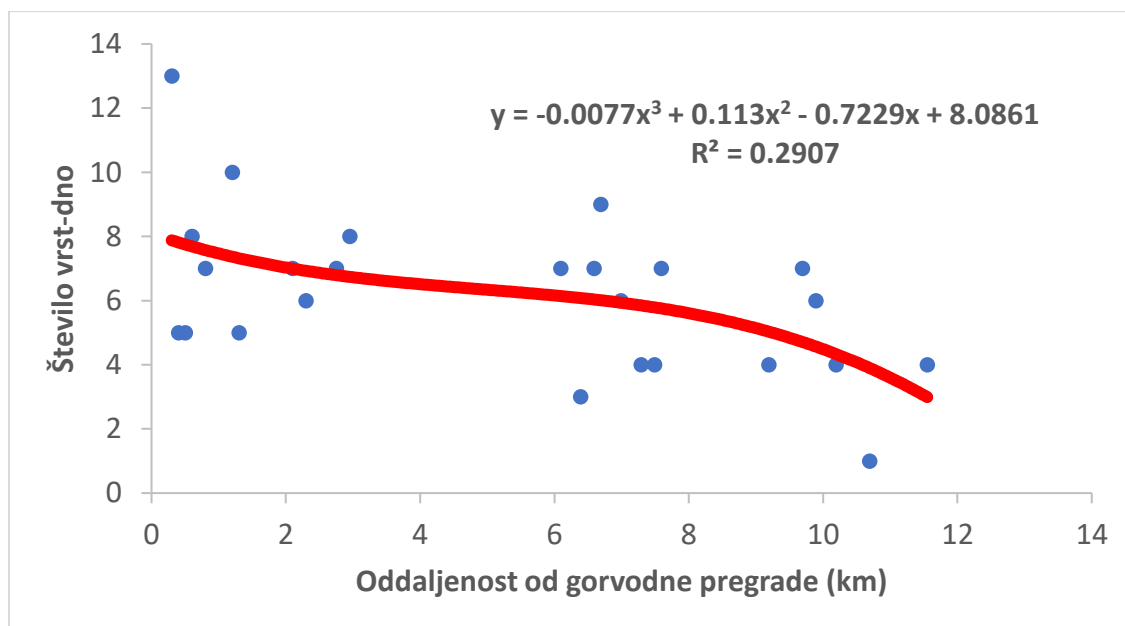
Slika 54. Platnica (*Rutilus virgo*) ujeta na območju akumulacije HE Brežice (foto: G. Urbanič).



Slika 55. Zvezdogled (*Romanogobio uranoscopus*) ujet na območju akumulacije HE Brežice, fotografiran od strani (a) in od zgoraj (b) (foto: G. Urbanič).



Slika 56. Frekvenčni histogram dolžinskih razredov rib ulovljenih z električno pridno mrežo v akumulaciji HE Brežice junija 2022.



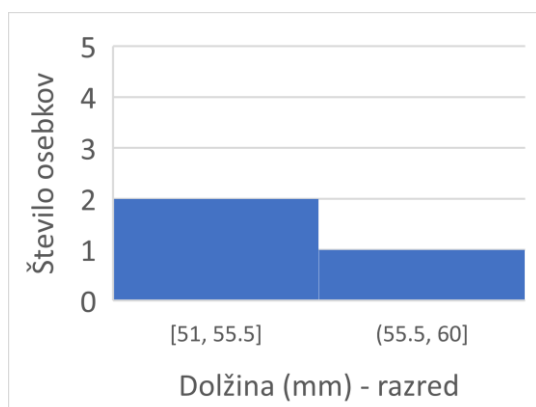
Slika 57. Povezava med številom vrst ulovljenih na dnu akumulacije in oddaljenostjo od gorvodne pregrade v akumulaciji HE Brežice junija 2022 (N = 25).

Osebkje zvezdogleda smo ujeli ob korenu akumulacije HE Brežice na prvem odseku (slika 58). Ujeli smo tri osebkje zvezdogleda z dolžino med 5.0 in 6.0 cm (slika 59). Vsi osebkje so bili mladostni, saj spolno

zrelost dosežejo v 2. do 3. letu pri dolžini približno 10 cm (Čaleta in sod. 2015). Starostnih razredov glede na dolžino osebkov v znanstveni literaturi nismo zasledili. V poročilu o ihtioloških raziskavah reke Save od HE Vrhovo do JE Krško so Šumer in sod. (2004) uvrstili osebkov zvezdogleda dolžine 6 cm in 7 cm v starostni razred 1+ (starost > 1 leto), medtem ko osebkov dolžine 3.0 in 4.0 cm v starostni razred 0+ (starost manj kot 1 leto). Iz navedenega sklepamo, da smo glede na izmerjene dolžine ulovili osebkov zvezdogleda stare približno eno leto, kar ustreza mejnim vrednostim starostnih razredov 0+ in 1+. Ocenjeno starost potrjuje tudi dejstvo, da se zvezdogled drsti med majem, ko temperatura naraste nad 11° C, in septembrom (Bless, 1997).



Slika 58. Lokacija (označeno z modro) ujetih primerkov zvezdogleda (*Romanogobio uranoscopus*) na območju akumulacije HE Brežice.



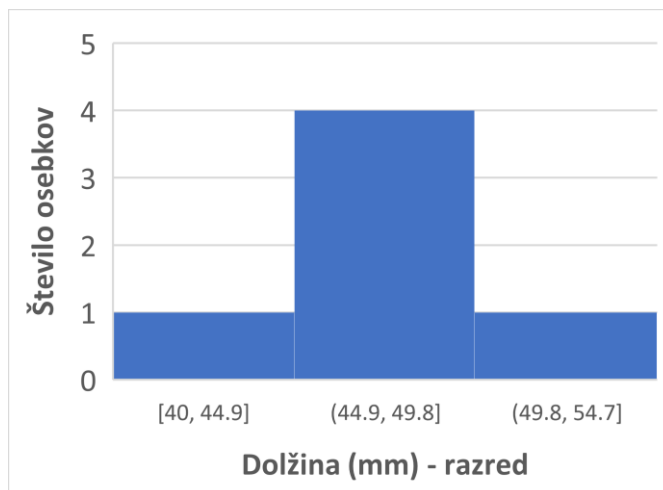
Slika 59. Frekvenčni histogram dolžinskih razredov osebkov zvezdogleda (*Romanogobio uranoscopus*) ulovljenih z električno pridneno mrežo v akumulaciji HE Brežice junija 2022.

Na odseku akumulacije nad Nuklearno elektrarno Krško smo ujeli šest osebkov platnice na treh različnih odsekih (slika 60). Vsi osebki platnice so bili mladostni z dolžino med 4.0 in 5.5 cm (slika 61). Talabishka in sod. (2015) navajajo, da so osebki platnic stari več kot 1 leto (1+) daljši od 6.8 cm, pri čemer osebki platnice dosežejo spolno zrelost v 3. letu starosti (Čaleta in sod. 2015). Šumer in sod.

(2004) so v poročilu o ihtioloških raziskavah reke Save od HE Vrhovo do JE Krško uvrstili v 0+ razred (starost manj kot 1 leto) osebkov platnice dolge med 3.0 in 8.0 cm. Glede na izmerjene dolžine sklepamo, da so osebkov platnice, ki smo jih ulovili, bili stari manj kot eno leto - starostni razred 0+. Ulov mladostnih osebkov nakazuje na uspešno drst platnice tudi na območju akumulacije HE Brežice.



Slika 60. Lokacije (označeno z zeleno) ujetih primerkov platnice (*Rutilus virgo*) na območju akumulacije HE Brežice.



Slika 61. Frekvenčni histogram dolžinskih razredov osebkov platnice (*Rutilus virgo*) ulovljenih z električno pridreno mrežo v akumulaciji HE Brežice junija 2022.

3.5 Metodologija vzorčenja rib ob bregu akumulacije

3.5.1 Obrežni habitati akumulacije

Ob bregu akumulacije HE Brežice smo popisali habitate na 57 odsekih na levem (L1-L57) in na 57 odsekih na desnem (D1-D57) bregu akumulacije nad Nuklearno elektrarno Krško in na 73 odsekih na levem (L58-L130) in na 73 odsekih na desnem (D58-D130) bregu akumulacije pod Nuklearno elektrarno Krško (slike 62-64). Ob bregu akumulacije je bilo v vodi največ prisotnih habitatov s potopljenimi makrofiti, veliko manj je bilo kamnitega neobraslega dna, živih delov kopenskih rastlin in drugih habitatov (preglednica 10) .

Preglednica 10. Tipi habitatov v vodi ob bregu akumulacije HE Brežice septembra 2022.

Habitat	Št. odsekov	Odstotek
betonirano (kamen v betonu) ali asfaltirano ali plošče	2	0,8
kamnito neobraslo dno-megalital; >20 cm)	10	3,8
potopljeni makrofiti	226	86,9
prodnato neobraslo dno (mezo-makrolital; 2-20 cm)	6	2,3
živi deli kopenskih rastlin (npr. veje v vodi)	16	6,2



Slika 62. Obrežni habitati akumulacije HE Brežice-nad Nuklearno elektrarno Krško. Habitat v vodi ob bregu akumulacije so označeni v sredini (tretji z leve in tretji z desne). Za barvne kode habitatov v vodi glej preglednico 10.



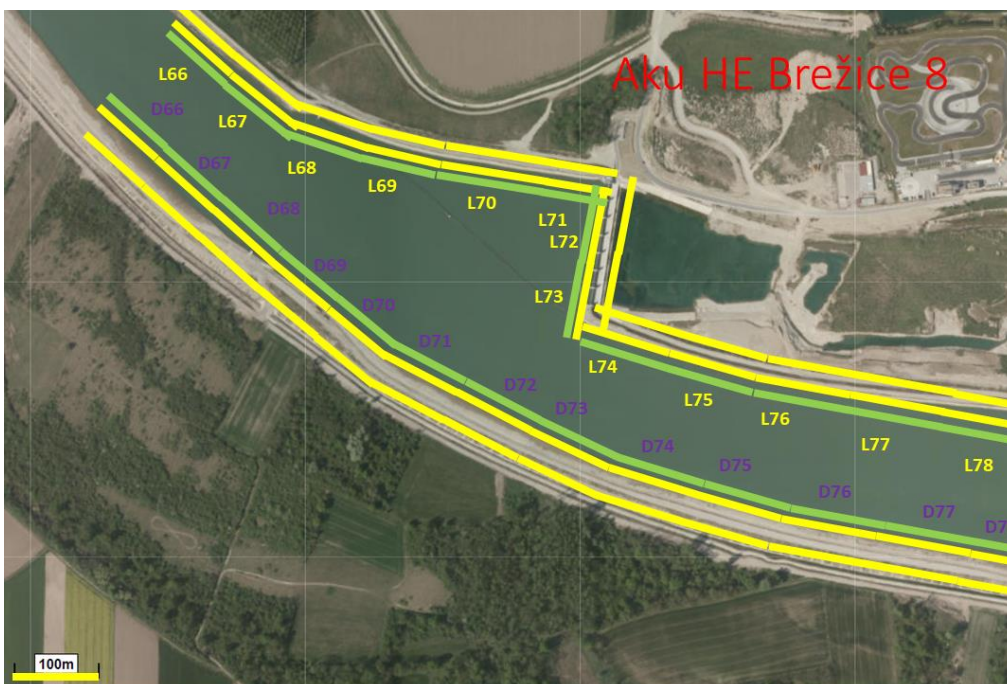
Slika 62. Obrežni habitati akumulacije HE Brežice-nad Nuklearno elektrarno Krško. Habitat v vodi ob bregu akumulacije so označeni v sredini (tretji z leve in tretji z desne). Za barvne kode habitatov v vodi glej preglednico 10. (nadaljevanje)



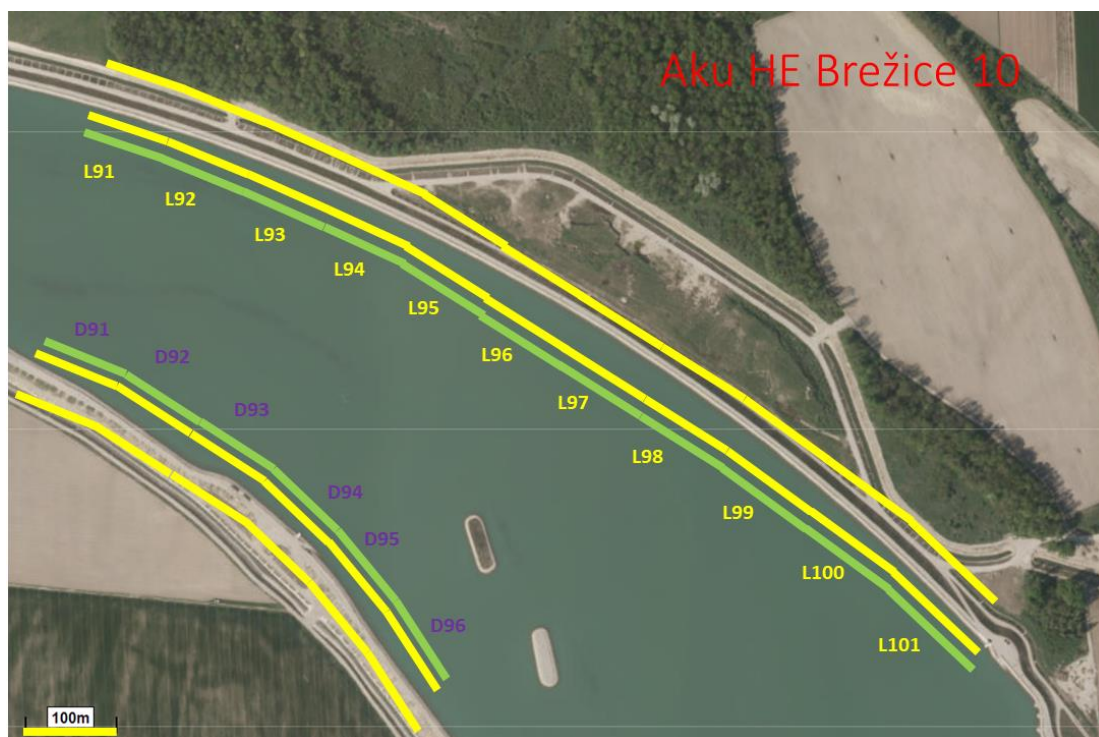
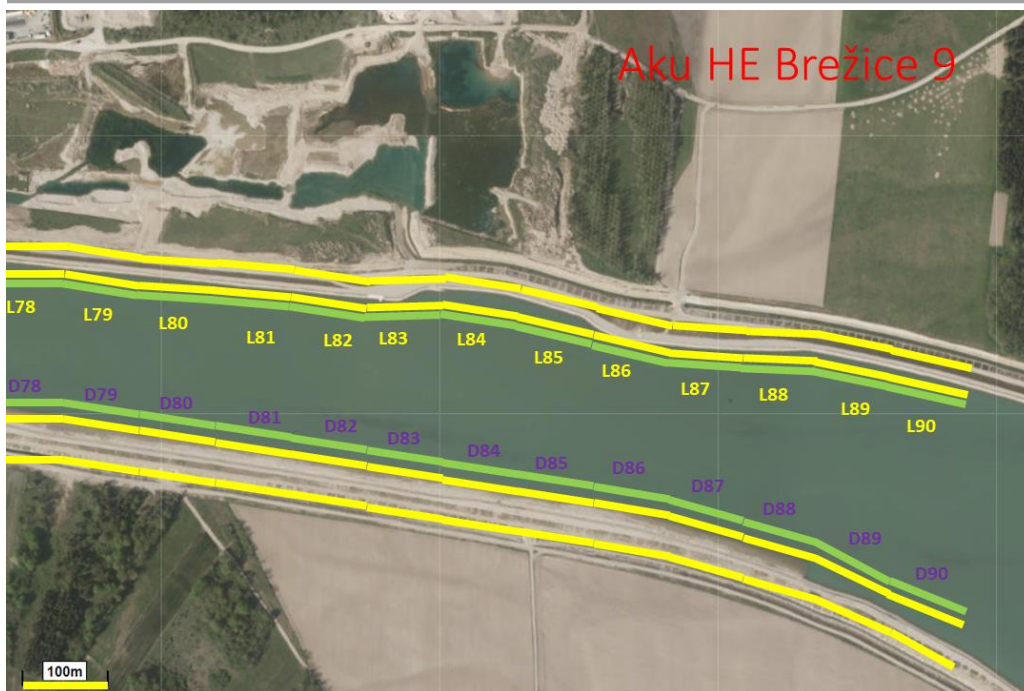
Slika 62. Obrežni habitati akumulacije HE Brežice-nad Nuklearno elektrarno Krško. Habitat v vodi ob bregu akumulacije so označeni v sredini (tretji z leve in tretji z desne). Za barvne kode habitatov v vodi glej preglednico 10. (nadaljevanje)



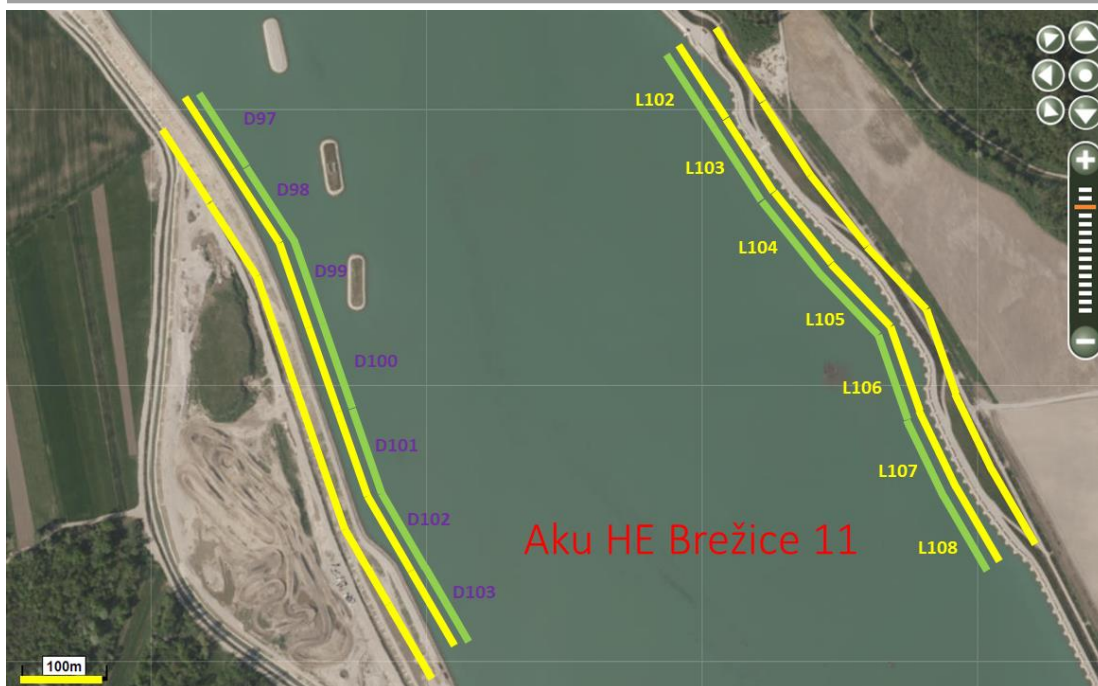
Slika 62. Obrežni habitati akumulacije HE Brežice-nad Nuklearno elektrarno Krško. Habitat v vodi ob bregu akumulacije so označeni v sredini (tretji z leve in tretji z desne). Za barvne kode habitatov v vodi glej preglednico 10. (nadaljevanje)



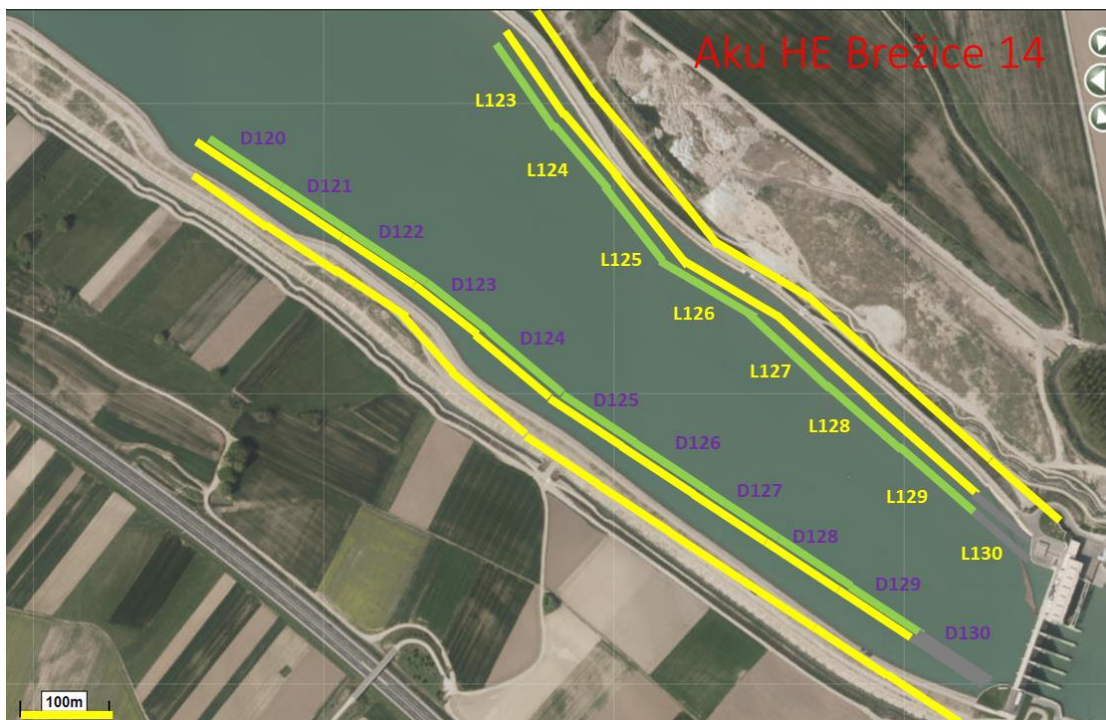
Slika 63. Obrežni habitati akumulacije HE Brežice- delno nad in delno pod Nuklearno elektrarno Krško. Habitat v vodi ob bregu akumulacije so označeni v sredini (tretji z leve in tretji z desne). Za barvne kode habitatov v vodi glej preglednico 10.



Slika 64. Obrežni habitati akumulacije HE Brežice-pod Nuklearno elektrarno Krško. Habitat v vodi ob bregu akumulacije so označeni v sredini (tretji z leve in tretji z desne). Za barvne kode habitatov v vodi glej preglednico 10.



Slika 64. Obrežni habitati akumulacije HE Brežice-pod Nuklearno elektrarno Krško. Habitat v vodi ob bregu akumulacije so označeni v sredini (tretji z leve in tretji z desne). Za barvne kode habitatov v vodi glej preglednico 10. (nadaljevanje)

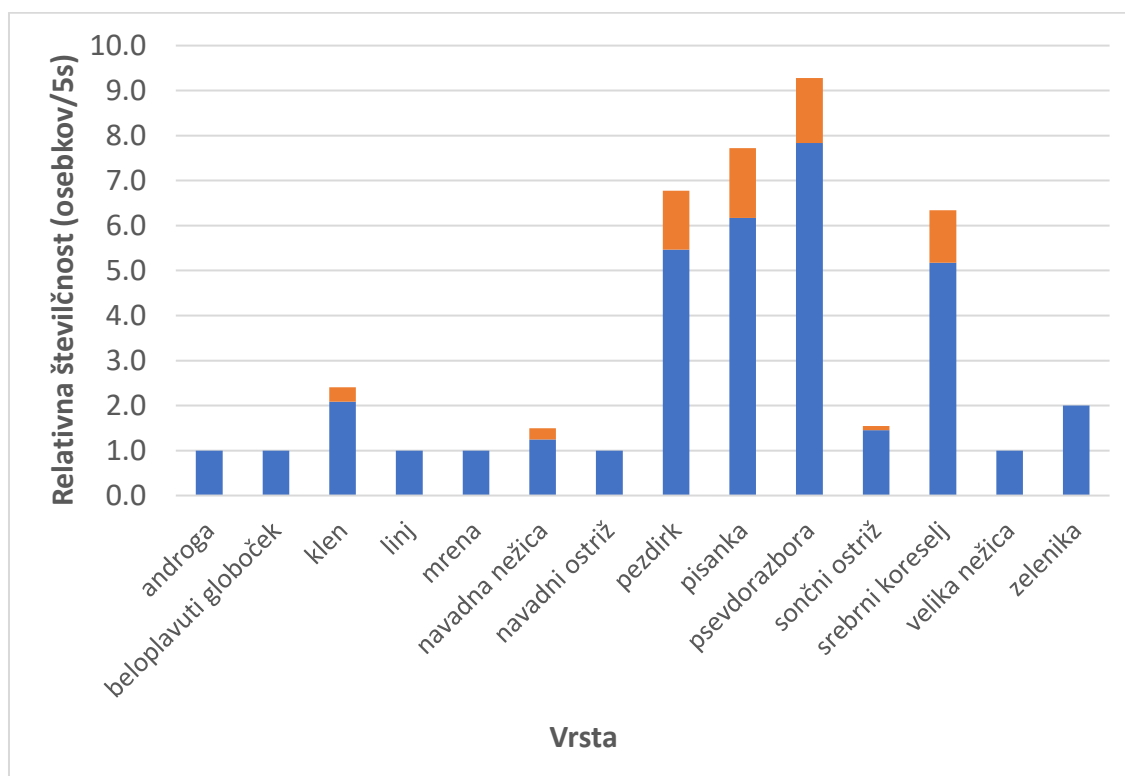


Slika 64. Obrežni habitati akumulacije HE Brežice-pod Nuklearno elektrarno Krško. Habitat v vodi ob bregu akumulacije so označeni v sredini (tretji z leve in tretji z desne). Za barvne kode habitatov v vodi glej preglednico 10. (nadaljevanje)

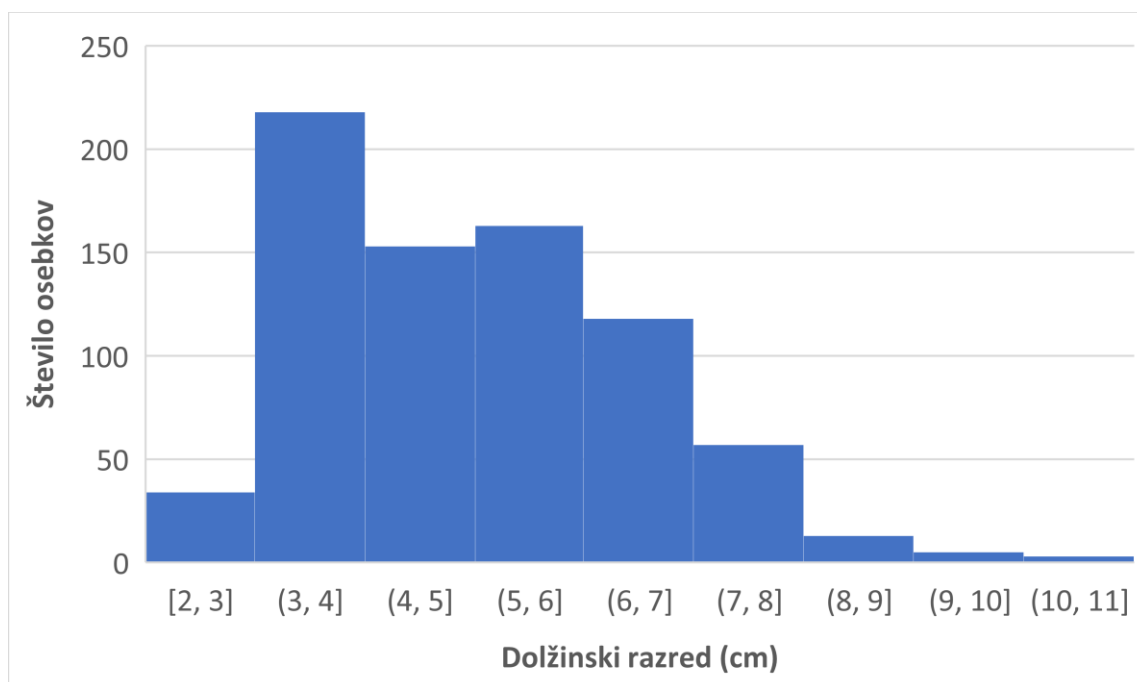
3.5.2 Ribe ob bregu akumulacije

Ob bregu akumulacije HE Brežice smo na 50 točkah prevladujočih habitatov ulovili 14 vrst rib (slika 65). Prevladovale so psevdorazbora, pisanka, pezdirk in srebrni koreselj s povprečnimi relativnimi abundancami med 5,2 in 7,8 osebkov/5s (standardna napaka SE = 1,2 – 1,6). Ulovili smo predvsem

majhne osebke dolžine do 11 cm, pri čemer so prevladovali osebki dolžine med 3 in 8 cm (slika 66). Osebkov zvezdogleda in platnice nismo ulovili.



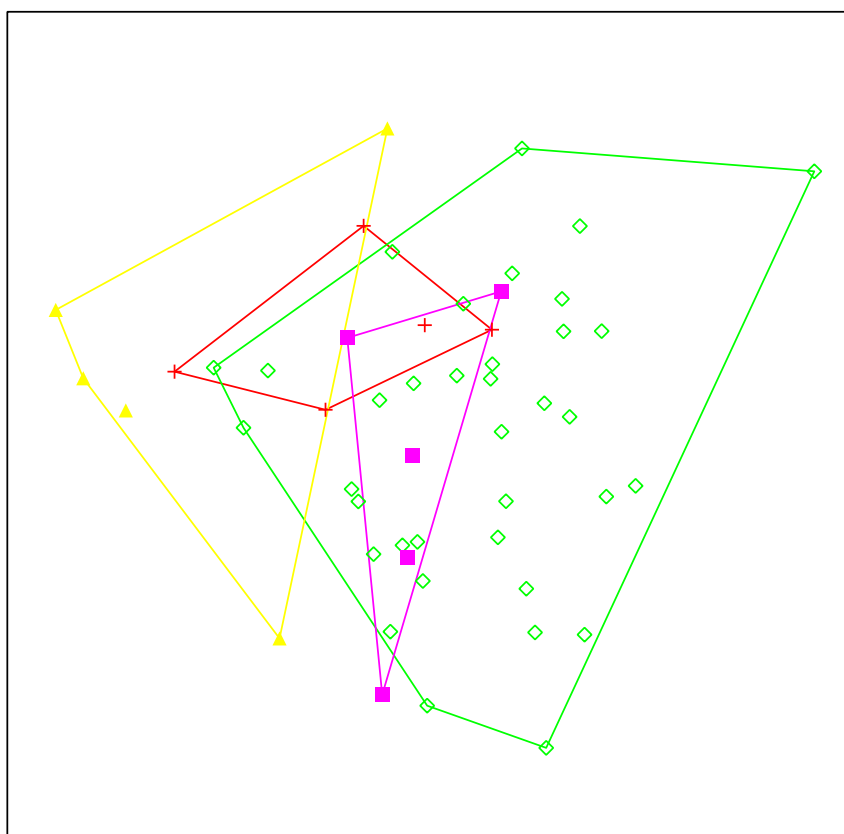
Slika 65. Povprečna relativna številčnost ulovljenih vrst rib (CPUE) in standardna napaka (SE) z uporabo metode za habitat značilnega točkovnega vzorčenja rib (HS-PASE) ob bregu akumulacije HE Brežice septembra 2022.



Slika 66. Frekvenčni histogram dolžinskih razredov rib ulovljenih po metodi za habitat značilnega točkovnega vzorčenja (HS-PASE) rib ob bregu akumulacije HE Brežice septembra 2022.

Razporeditev skupin vzorčnih mest na NMS diagramu nemetričnega multidimenzionalnega skaliranja (NMS) nakazuje, da se združbe rib razlikujejo med nekaterimi habitati ob bregu akumulacije (slika 67).

Z dvosmerno permutacijsko multivariatno analizo variance (PERMANOVA) smo ugotovili, da se združbe rib razlikujejo med habitati ob bregu akumulacije HE Brežice ($F = 0.97$, $p < 0.0001$) in tudi glede na vzdolžni položaj v akumulaciji (nad oziroma pod Nuklearno elektrarno Krško) ($F = 27.77$, $p < 0.0001$, preglednica 11). Statistično značilne razlike med združbami rib smo potrdili med z makrofiti obraslimi in neobraslimi habitati ($p < 0,05$), nismo pa ugotovili razlik v združbi med habitati s potopljenimi makrofiti in z živimi deli kopenskih rastlin in med kamnitim in prodnatim dnom ($p > 0,05$). Združbe rib habitata živi deli kopenskih rastlin so se razlikovale od združb prodnatega dna, niso pa se razlikovale od združb kamnitega dna. Interakcija med habitati in lokacijo habitata ni bila statistično značilna ($p > 0.05$).



Slika 67. Ordinacijski diagram nemetričnega multidimenzionalnega skaliranja (NMS1 x NMS2) na podlagi združbe rib akumulacije HE Brežice. Simboli označujejo habitate ob bregu akumulacije: potopljeni makrofiti (◇), kamnito neobraslo dno (+), prodnato neobraslo dno (▲), živi deli kopenskih rastlin (■); faktor stresa (stress) = 0,18.

Preglednica 11. PERMANOVA test vodnih habitatov ob bregu akumulacije HE Brežice in lokacije habitata ter njihove interakcije. Df—stopinje prostosti, R² – pojasnjena variabilnost, p—verjetnost statistične značilnosti na podlagi 9999 permutacij podatkov. NEK – Nuklearna elektrarna Krško.

	Vsota kvadratov	Df	povprečni kvadrat	R ²	F	p
Habitat	2.14	3	0.71	0.14	0.97	0.0001
Lokacija	2.04	1	20.38	0.13	27.77	0.0001
Interakcija	-20.33	3	-67.77		-92.33	0.6049
Ostanek	31.56	43	0.73			
Skupaj	15.41	50				

Za pridobitev informacij o pestrosti združbe akumulacij je pomembno, da se izvaja tudi vzorčenje vodnih habitatov ob bregu akumulacije. Ključno je, da se najprej prepozna in popiše-skartira obrežne habitate akumulacije in na podlagi popisa izvede vzorčenje rib. V tej raziskavi smo uporabili kategorije vodnih habitatov, ki so osnovane na tipu podlage ob bregu, pri čemer smo ločili neživi (anorganski) in živi (organski) del ter pri razlikovanju dali prednost organskemu substratu. Uporabili smo sistem, ki se v osnovi uporablja za opis habitatov pri multihabitatnem vzorčenju bentoških nevretenčarjev (AQEM 2002, Urbanič 2014). Metodologija izhaja iz predpostavke, da je podlaga ključni dejavnik, ki določa bentoške združbe organizmov in da prisotnost rastlinskih delov-organskega substrata pomembno vpliva na te združbe. Z analizami smo potrdili, da se združbe rib ob bregu akumulacije pomembno razlikujejo med obravnavanimi habitatami. Še posebej pomembno je razlikovanje med habitatami s prevladujočim organskim in brez prevladujočega organskega substrata. Enako pomembno kot značilnost habitata je tudi lokacija habitata vzdolž pretočne akumulacije. Združbe rib se pomembno spreminjajo vzdolž dna pretočne akumulacije, kar smo ugotovili tudi v naši raziskavi (Urbanič in sod. to delo). Vzrok so longitudinalne spremembe v hitrosti vodnega toka, velikosti in tipu substrata, temperaturi vode in globini vode. Nekatere od teh značilnosti so ob bregu pretočne akumulacije manj izrazite npr. velikost substrata; zaradi umetnega vnosa substrata (kamnov) lahko najdemo substrat podobne velikosti vzdolž celotne pretočne akumulacije. Druge značilnosti so v obrežnem delu veliko bolj izrazite kot ob dnu, npr. povišana temperatura vode zgornjega sloja zaradi plastovitosti in segrevanja zgornje-epilimnijske plasti, medtem ko je razlika v temperaturi ob dnu lahko veliko manjša.

Ob bregu akumulacije nismo ugotovili platnice in zvezdogleda. V naši raziskavi smo ugotovili, da sta obe vrsti v akumulaciji HE Brežice redki in omejeni predvsem na del korena akumulacije. Čeprav smo v tem delu akumulacije povzorčili 17 habitatov v plitvini ob bregu akumulacije, ju nismo ugotovili. V pretočni akumulaciji zvezdogled preferira habitate z večjo hitrostjo kot so hitrosti neposredno ob bregu akumulacije. Platnica je že bila najdena v habitatih ob bregu pretočne akumulacije (npr. Urbanič in sod. 2020), vendar smo ugotovili, da platnica v velikih rekah ne preferira habitatov ob bregu, ampak v sredini struge (Urbanič in sod. to delo). Ugotavljamo, da je za habitat značilno točkovno vzorčenje rib – HS-PASE v plitvini ob bregu pretočne akumulacije ustrezen za ugotavljanje značilnosti celotne združbe rib in prisotnosti mladih osebkov v pretočni akumulaciji. Za namen ugotavljanja populacijskih značilnosti zvezdogleda in platnice pa smo ugotovili, da je ribolov z uporabo električne pridnene mreže ustrežnejši.

3.6 Metodologija vzorčenja rib v sonaravnem odseku prehoda za vodne organizme

3.6.1 Mezohabitati sonaravnega odseka prehoda za vodne organizme

Mezohabitatne značilnosti sonaravnega odseka prehoda za vodne organizme Hidroelektrarne Brežice smo popisali dne 12.7.2023. Ugotovili smo prisotnost vseh pet mezohabitatov: brzica (slik 68) , brzica-tek (slika 69), tek (slika 70), tek-tolmun (slika 71), tolmun (slika 72). Dodatno smo popisali še vegetacijo prodišč s kategorijama trstičje in zelnata vegetacija (slika 73), ki sta se pojavljali ob robu struge ali med habitatoma tek in tek-tolmun. Z izjemo mezohabitata brzica, so bili vsaj nekateri odseki ostalih mezohabitatov dolžine večje od 20 m in/ali površine večje od 100 m². Skupaj smo zabeležili 32 enot mezohabitatov; osem enot brzica, šest enot brzica-tek, pet enot tek, štiri enote tek-tolmun in devet enot tolmun (slika 74).



Slika 68. Mezohabitat brzica v prehodu za vodne organizme hidroelektrarne Brežice julija 2023.



Slika 69. Mezohabitat brzica-tek v prehodu za vodne organizme hidroelektrarne Brežice julija 2023.



Slika 70. Mezohabitat tek v prehodu za vodne organizme hidroelektrarne Brežice julija 2023.



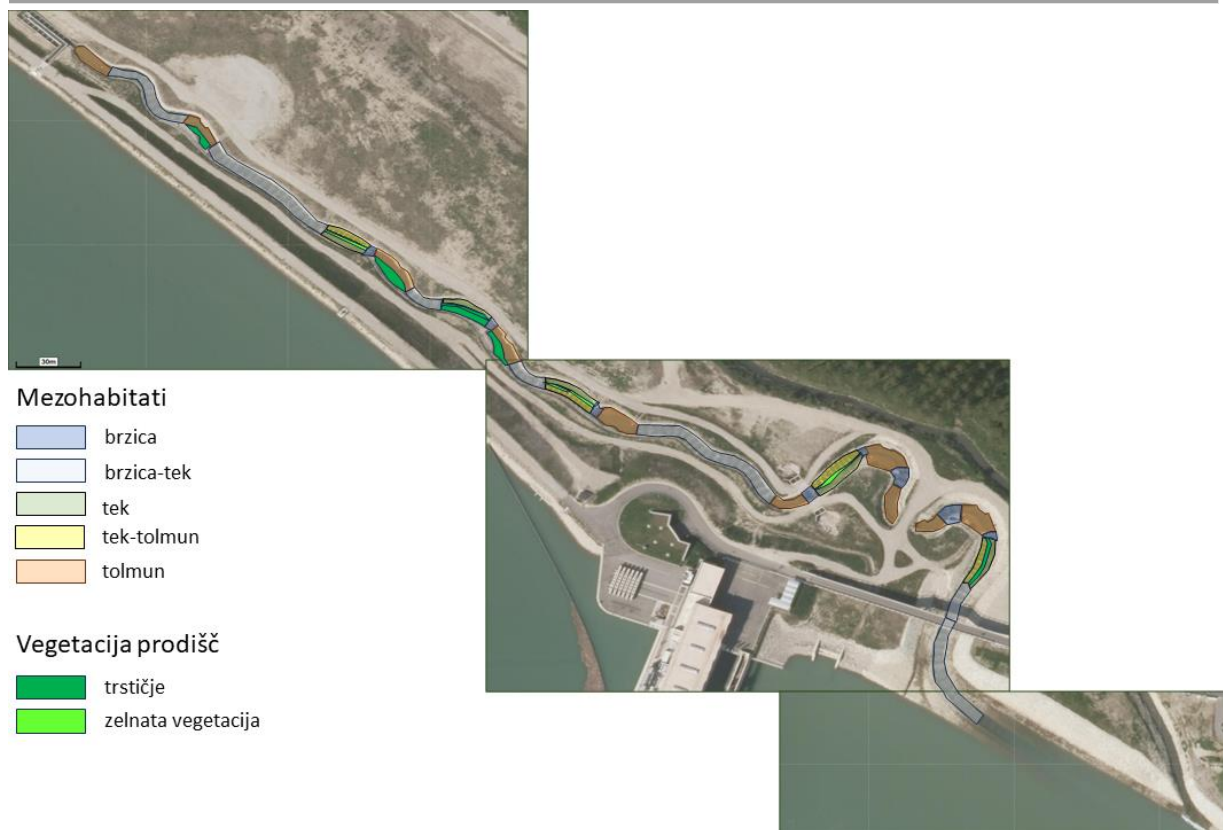
Slika 71. Mezohabitat tek-tolmun v prehodu za vodne organizme hidroelektrarne Brežice julija 2023.



Slika 72. Mezohabitat tolmun v prehodu za vodne organizme hidroelektrarne Brežice julija 2023.



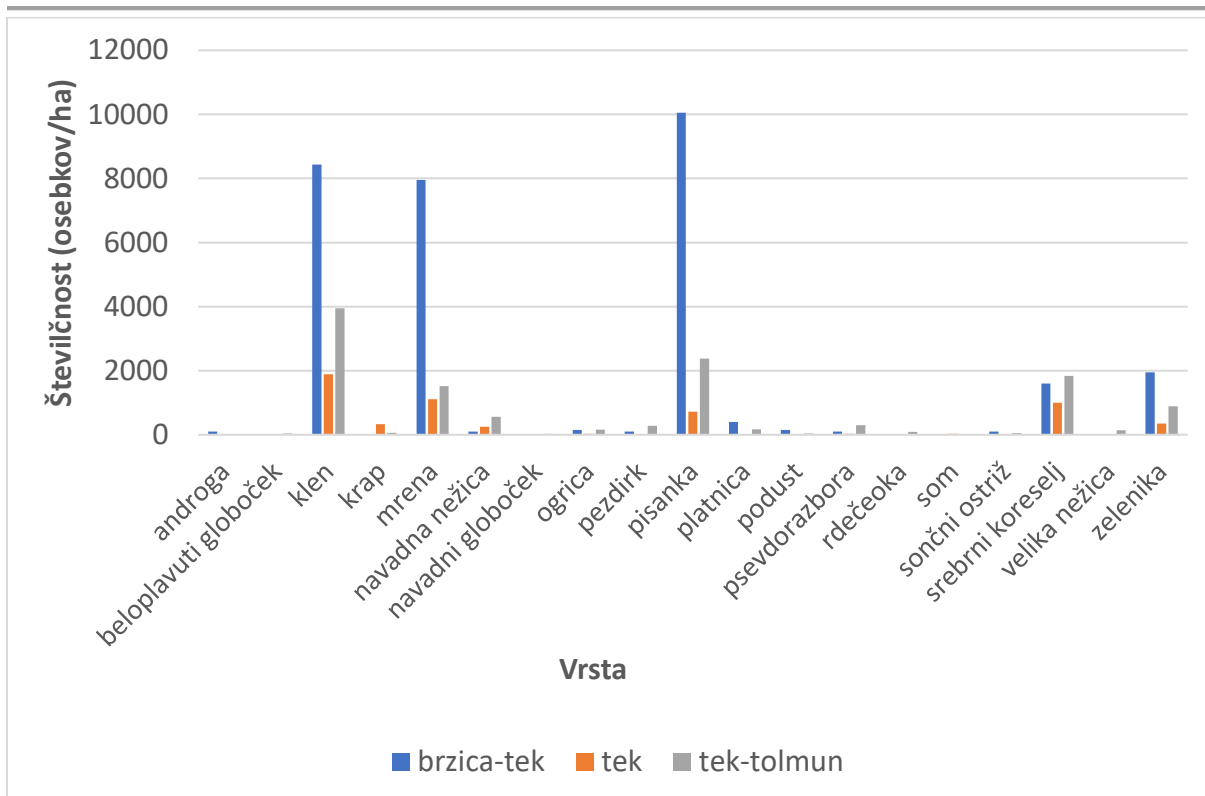
Slika 73. Vegetacija prodišč s kategorijama trstičje in zelnata vegetacija v prehodu za vodne organizme hidroelektrarne Brežice julija 2023.



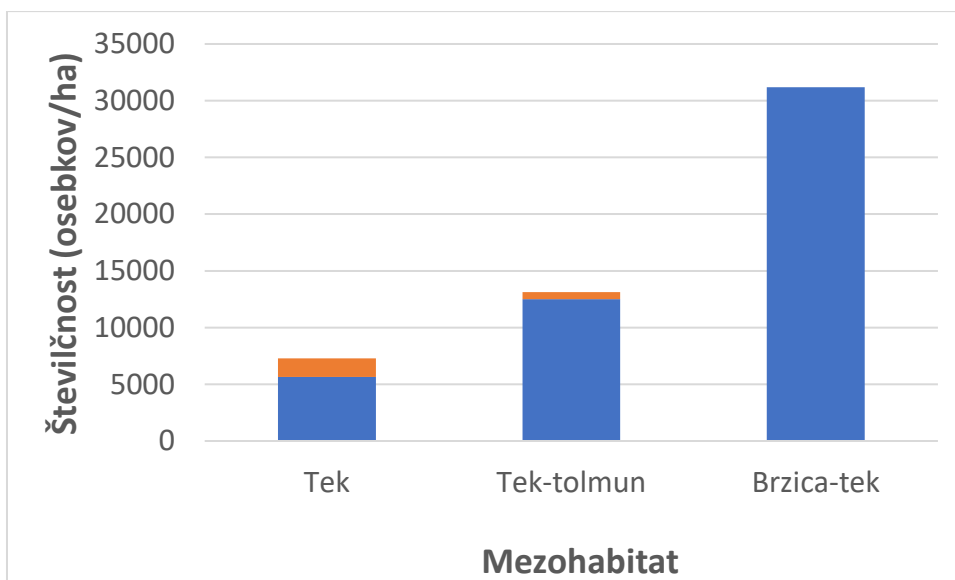
Slika 74. Mezohabitati sonaravnega odseka prehoda za vodne organizme hidroelektrarne Brežice julija 2023.

3.6.2 Ribe v mezohabitatih sonaravnega dela prehoda za vodne organizme

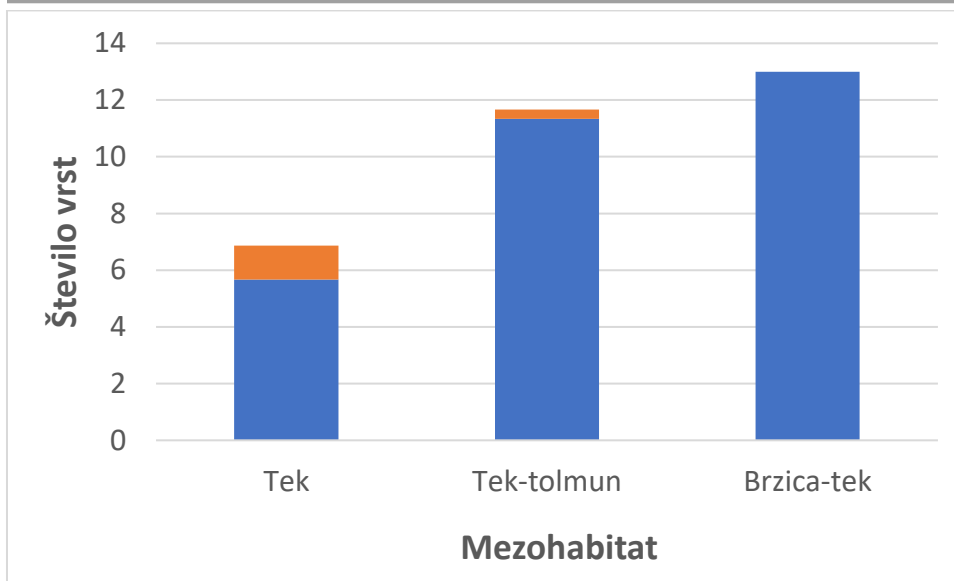
V vzorčenih mezohabitatih prehoda za vodne organizme hidroelektrarne Brežice smo ugotovili 19 vrst rib (slika 75). Največjo naseljenost oz. gostoto (število/ha) rib smo ugotovili v mezohabitatu brzica-tek (31191 rib/ha), v mezohabitatu tek smo ugotovili 12515 ± 619 osebkov/ha, najmanjšo ocenjeno številčnost smo ugotovili v mezohabitatu tek (5636 ± 1652 osebkov/ha) (slika 76). Podoben vzorec kot za številčnost smo ugotovili tudi za vrstno pestrost z največ vrstami v mezohabitatu brzica-tek in najmanj v mezohabitatu-tek (slika 77). V mezohabitatih brzica-tek in tek-tolmun smo ujeli sedem osebkov platnice (*Rutilus virgo*) dolžine med 6,9 cm in 19,4 cm (sliki 78-79). Talabishka in sod. (2015) navajajo, da so osebki platnice stari več kot 1 leto (1+) daljši od 6.8 cm, medtem ko so Šumer in sod. (2004) v poročilu o ihtioloških raziskavah reke Save od HE Vrhovo do JE Krško uvrstili v 0+ razred (starost manj kot 1 leto) osebke platnice dolge med 3.0 in 8.0 cm. Glede na izmerjene dolžine sklepamo, da so osebki platnice, ki smo jih ulovili, bili stari približno eno leto ali več. Platnico smo ugotovili s povprečno ocenjeno številčnostjo 400 osebkov/ha (brzica-tek) in 174 osebkov/ha (tek-tolmun). Prisotnost platnice v različnih mezohabitatih je skladna z ugotovitvami iz ekološke analize mezohabitatnih preferenc (Urbanič in sod. to delo), da je platnica v velikih rekah prisotna v različnih vzdolžnih habitatih, preferira pa mezohabitat tek v sredini struge. Zvezdogleda v prehodu za vodne organizme nismo ulovili. Od globočkov sta bila prisotna beloplavuti globoček (*Romanogobio vladykovi*) (slika 80) in navadni globoček (*Gobio obtusirostris*) (slika 81).



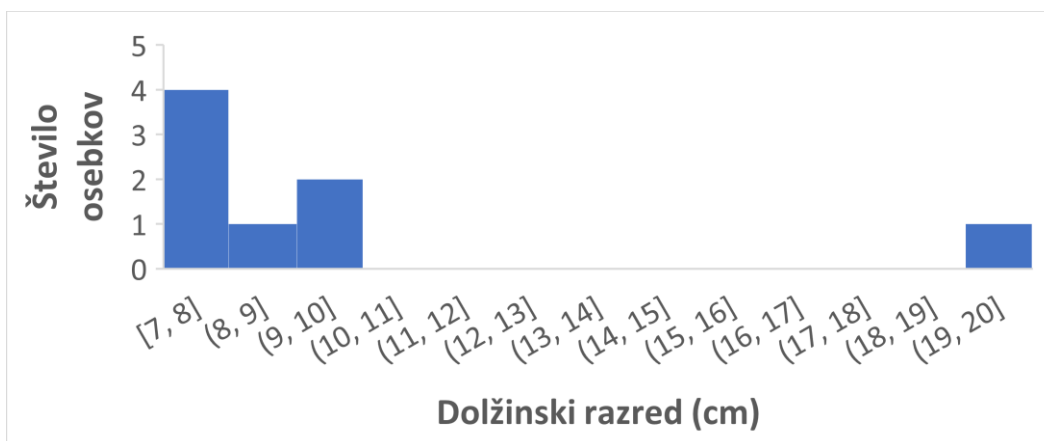
Slika 75. Za mezohabitat značilna povprečna številčnost vrst rib v sonaravnem odseku prehoda za vodne organizme hidroelektrarne Brežice julija 2023.



Slika 76. Povprečna številčnost (osebkov/ha) (modro) in standardna napaka (oranžno) v mezohabitatih prehoda za vodne organizme hidroelektrarne Brežice julija 2023.



Slika 77. Povprečna vrstna pestrost (modro) in standardna napaka (oranžno) v mezohabitatih prehoda za vodne organizme hidroelektrarne Brežice julija 2023.



Slika 78. Frekvenčni histogram dolžinskih razredov osebkov platnice (*Rutilus virgo*) ulovljenih v prehodu za vodne organizme HE Brežice julija 2023.



Slika 79. Platnica ulovljena v prehodu za vodne organizme hidroelektrarne Brežice.



Slika 80. Beloplavuti globoček ulovljen v prehodu za vodne organizme hidroelektrarne.

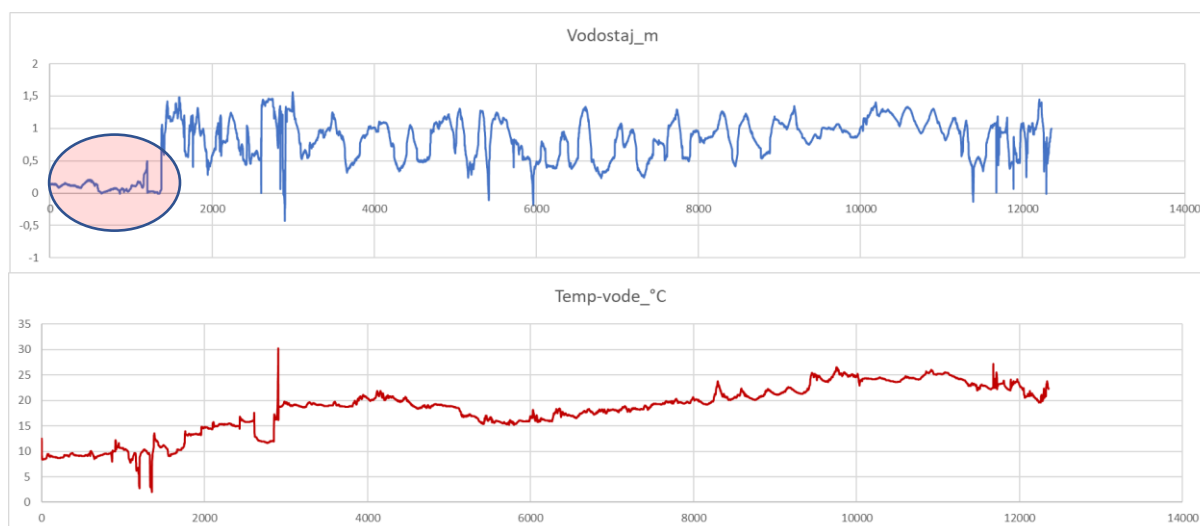


Slika 81. Navadni globoček ulovljen v prehodu za vodne organizme hidroelektrarne Brežice.

3.7 Učinkovitost prehoda za vodne organizme

3.7.1 Pretok vode, vodostaj in temperatura vode v kanalu PzVO HEBR

V obdobju med 7. marcem in 6. julijem 2023 se je vodostaj v tehničnem delu prehoda za vodne organizme HE Brežice spreminjal v razponu >1,5 m (slika 82). Pogosto smo opazili dnevno-nočno spreminjanja vodostaja, ki so bila še posebej izrazita v začetku julija. Temperatura vode je v posameznih meritvah znašala med 19,6 °C in 27,2 °C.



Slika 82. Temperatura vode in spreminjanje vodostaja na tehničnem delu prehoda za vodne organizme HE Brežice od 7.3.2023 do 6.7.2023.

Rezultati meritev pretoka so pokazali, da so odstopanja med izmerjenimi vrednostmi pretokov med profili v rangi manjšem od 1 %, kar kaže na to, da je pretok v celotnem sonaravnem delu enakomeren. Povprečna izmerjena vrednost pretokov je znašala 580 l/s (maj) in 572 l/s (junij) in tudi srednje hitrosti med merskimi profili ne odstopajo bistveno - od 0,2 m/s (P2) do 0,33 m/s (P3), kar potrjuje, da s

pravilnim uravnavanjem dotoka na PzVO lahko zagotavljamo ustrezne hidravlične razmere na sonaravnem delu PzVO.

3.7.2 Optično sledenje dogodkov v kanalu PzVO HEBR

Sistem video nadzora z dvema kamerama je bil nameščen 25.03. 2022 v prehod za vodne organizme na hidroelektrarni Brežice, nadalje PzVO HEBR. Sistem je namenjen zaznavanju in snemanju dogodkov sprememb v zaporednih slikah pred kamerami. Na ta način lahko beležimo tudi pojavljanje rib v vidnem območju kamer. Sistem deluje na način, da vseskozi neprekinjeno beleži video sliko, ko pride do dogodka določeno sekvenco posnetka shrani na trde diske na NAS strežniku. Videonadzorni sistem »Surveillance« je razvit v podjetju Synology za spremljanje in varnostni video nadzor doma in ga je bilo potrebno prilagoditi specifični snemanja pod vodo. Pod vodo se svetlobni žarki lomijo, večja je refleksija senc, barvni spekter je manjši. Modra svetloba prodira globlje kot na primer rdeča. Vidni kot kamer je v vodi manjši kot na zraku. Za to je pri tovrstnem dogodkovnem snemanju potrebno nastaviti določene parametre občutljivosti, ki sprožijo dogodek spremembe, prirejeno specifični v vodi. S poskušanjem smo sistem nastavili bolj na občutljivo, da se zabeležijo tudi manjši premiki. Za spremljanje rib smo nastavili občutljivost na 90 in prag spremembe premika na 10. Žal s temi nastavitvami beležimo tudi vse plavje, razen majhnih mehurčkov. Rešitev v »neželeni detekciji (False Event)« je v spremembah povečanju profila natoka vode v PzVO. Z ustrezno povečano natočno površino v kanal PzVO se bi hitrosti vode zmanjšale in posledično učinki srka. S tem, da zaznavamo medsebojne časovne spremembe in zapisujemo dogodke, posredno beležimo manjše in večje ribe, seveda pa tudi druge spremembe. Razen rib spremembe slik glede na prejšnjo sliko sprožajo še spreminjanje svetlobnih razmer, kot so sence oblakov, zračni mehurčki in seveda ostale lebdeče plavine. Lebdeče plavine so raznovrstne, kot je listje, plastični odpadki, vejevje in odmrlo rastlinje. Video nadzorni sistem beleži tudi druge vodne živali, kot je na primer bober in vidra. Sistem ne razlikuje in ne klasificira dogodkov. Vse to je potrebno narediti ročno. Posnetke je potrebno pregledati, označiti in nepotrebno pobrisati.

Nastavili smo naslednje sistemske parametre FishCamSrv:

- Resolucija: 2304x1296 (3M)
- Število sličic na sekundo (FPS): 25
- Občutljivost 90; (območje vrednosti 1–99): Kako velika mora biti razlika med sličicami, da jo zaznamo kot gibanje. Večje vrednosti lažje sprožijo zaznavanje.
- Prag 10; (območje vrednosti 1-99): Kako velik mora biti premik, da sproži zaznavanje. Večje vrednosti težje sprožijo zaznavanje.
- Sinhronizacija omrežnega časa z nadzornim strežnikom : vsako uro
- Snemanje pred dogodkom: 5 s
- Snemanje po dogodku: 5s
- Najdaljše neprekinjeno snemanje: 30 minut

Izračun potrebnih pomnilniških kapacitet:

- Ena sekunda posnetka, 25 sličic pri 3M 24 bit H.264: 0,5 MB
- Velikost 30 minutnega posnetka ene kamere: 895 MB
- Potrebna letna kapaciteta pomnilnika pri neprekinjenem snemanju 24/7 dveh kamer: 16 TB
- Velikost 12 sekundnega posnetka oziroma beleženje dogodka dveh sekund: 6 MB
- Shrani posnetke: 730 dni
- Potreben pomnilniški prostor za povprečne dogodke: 9-11GB/dan
- Kapaciteta pomnilniških diskov: 5,4 TB
- Zadostnost za dve kameri brez urejanja in brisanja dogodkov: 240-360 dni

Opisani videonadzorni sistem je UL FGG je razvil v smislu beleženja in za potrebe ugotavljanja učinkovitosti delovanja prehajanja rib skozi PzVO. To neinvazivno metodo preverjanja učinkovitosti prehajanja vodnih organizmov smo razvili s pomočjo optičnega sledenja video sprememb na izbranem delu vodnega kanala na izhodu rib oziroma blizu vtoka vode v kanal PzVO. Z dvema nasproti ležečima

kamera smo omogočili tudi boljšo vidljivost in zaznavanje ribjih osebkov. V bolj motnih razmerah v poletnih mesecih je za to dobrodošla kamera na nasprotni strani, ker s tem vidnostna razdalja v vodi razpolovi. Dodatni LED reflektor nad kamerami dodatno kader kamer dodatno osvetli. Sistem zaznava objekte z dveh strani, Zadeva je patentirana v Sloveniji SI-PATENT št. 24976, nosilec patenta dr. Andrej Vidmar.

V splošnem se za zaznavanje prehajanja rib skozi ribje steze uporabljajo:

- posebne mreže (vrše),
- RFID čipiranje rib in skeniranje (RFID vrata),
- izlovi z ribje steze,
- in kamere.

Le uporaba kontinuiranega optičnega nadzora, s pomočjo uporabe podvodnih kamer, je povsem neinvazivna metoda monitoringa prehajanja rib. Edino ta metoda omogoča neprekinjeno 24/7 beleženje prehajanja rib v ribji stezi. To pomeni vseskozi in ne kampanjsko kot druge metode.

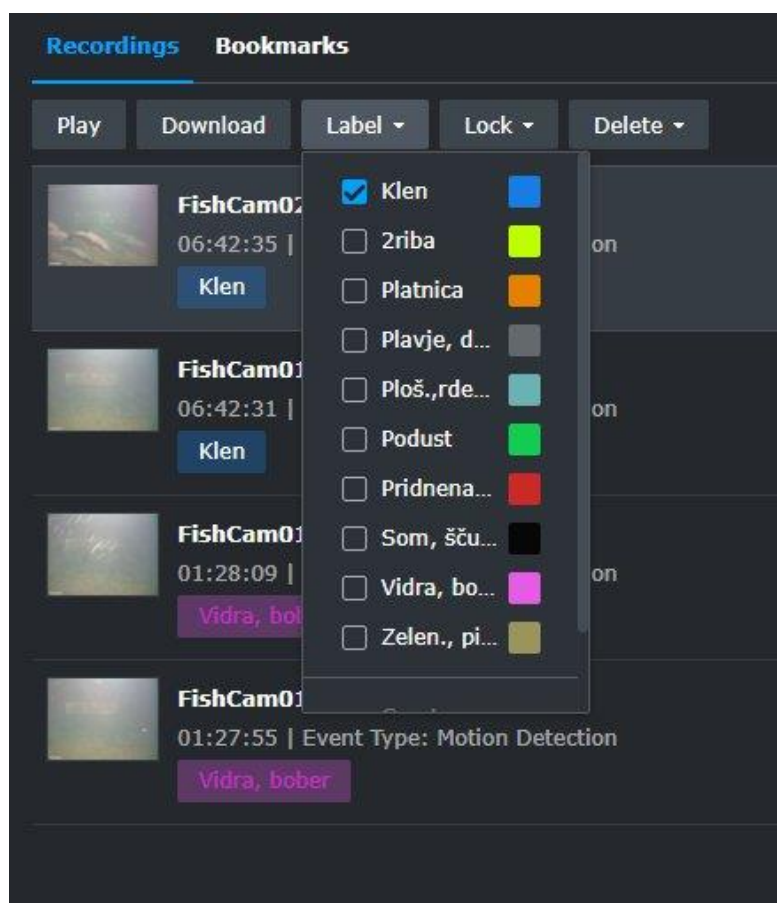
Absolutne validacije, koliko rib je dejansko prešlo PzVO, ni možno doseči. A video nadzorni sistem vseeno daje generalno sliko učinkovitosti na vizualni način. Sistem za prepoznavanje specifične vrste rib potrebuje zelo jasne posnetke z vseh strani, ne more pa zaznati vseh specifičnosti in razlik med posameznimi bližnjimi oziroma slikovno podobnimi vrstami. Z video nadzornim sistemom smo zaznali prehode rib v vodnem toku, slabše zaznavno pa je bilo območje pri dnu vtočnega kanala, kar je pomenilo, da za pridnene ribe te postavitve kamer niso bile učinkovite. Izvedli smo poskus, da kamere postavimo pri dnu z namenom zajema pridnenih vrst. Pri tej postavitvi smo se soočili še z eno težavo, ki je bila povezana z vidljivostjo, ki je pri dnu slabša kot v toku, zaradi manjšega kota zajema slike in vpijanja svetlobe zaradi temne podlage in posledično slabše osvetljenosti pri video zajemu. Problem smo poskušali rešiti s postavitvijo dodatnega svetlega ozadja iz bele pločevine, kar je deloma izboljšalo svetlobne razmere, še vedno pa premalo učinkovito za dosego pravega kontrasta za detekcijo premikov rib ob dnu vtočnega objekta (slika 83). V prihodnje predvidevamo izvesti optimizacijo video nadzornega sistema. V okviru nadgraditve video nadzornega sistema bi bilo potrebno namestiti dodatne kamere po višini, ki bi omogočale zajem prehoda pridnenih vrst. Da povečamo učinkovitost, skupaj vsaj 4 kamere, paroma na nasprotnih stenah vtočnega objekta na različnih višinah (pri dnu in v toku). Ker gre za sorazmerno širok kanal bi bilo morda tudi smiselno razmisliti, da se vzpostavi še dodatna merilna sekcija, s podvojitvijo kapacitet, kar bi omogočalo tudi video zajem na daljšem odseku in povečalo možnost, da se zajame tudi ribe, ki sorazmerno hitro prečkajo vidno polje. Obstaja še boljša možnost, da se izvede kontrolni merski hodnik znotraj samega vtočnega kanala, ki bi omogočal, da so kamere nameščene v suhem s čimer odpade potreba po rednem vzdrževanju merske opreme. Drugo, kar bi bilo potrebno izvesti, je izboljšati oz. nadgraditi sekcijsko osvetlitev (LED svetlobne letve), ki bi omogočala bolj enakomerno osvetljenost merske sekcije, ker se je svetilnost pri točkovni osvetlitvi v slabših pogojih (motnost vode) pokazala kot premalo učinkovita. Tretji ukrep vidimo tudi v izboljšanju kontrasta ozadja, ki pride seveda do izraza ob ustrezno močni osvetlitvi. Razmišljanje z belo pločevino se je izkazalo kot dovolj učinkovito, če lahko še z izbiro bolj kontrastnega ozadja idejo nadgradimo, bo učinkovitost sistema še toliko boljše. Z večjim kontrastnim ozadjem in dodatno osvetlitvijo bo sistem bolje ločil dogodke oziroma spremembe v sliki. S tem bo lažje zaznavati pridnene ribe, ki se plazijo med kamenjem. Tudi manjše ribe, kot so na primer zvezdogledi in mlade pohre, bo lažje zaznavati. Kombinacija video nadzora s svojim delovanjem 24/7 zaznavanjem daje podatke za časovno usklajenost izlova rib iz PzVO. Videonadzor pove ali so določene ribje vrste v kanalu. Z izlovom, na primer z elektro omrtvičenjem, pa lahko predvidevanja potrdimo in bolj natančno določimo vrsto rib.



Slika 83. Namestitvev belega ozadja za doseg večjega kontrasta pri video zajemu

V osnovi je bil videonadzorni sistem "FishCamSrv" zasnovan za detekcijo in spremljanje jat migratornih rib. Sistem je zmožen zaznati vse vrste rib, med drugimi tudi zelo majhne ribe. V letu 2022 smo zaznali tako ribice v velikosti par centimetrov do nekaj manj kot 2 m velikega soma. Sistem je zaznal tudi druge vodne sesalce, kot sta vidra in bober. Ribe plavajo v vse smeri, tako iz PzVO kot v PzVO. Nekatere vrste se v PzVO zadržujejo več tednov, na primer kleni, pisanke, rdečeoke, ploščiči, ščuke. Som se 'masti' ponoči, a vidra bolj v jutranjih urah.

Za pregledovanje posnetkov v PzVO HEBR smo ustvarili označevalno oziroma klasifikacijsko legendo dogodkov. Programska oprema "Surveillance" omogoča označevanje posnetkov z desetimi barvami. Vsaki barvi lahko dopišemo do 15 znakov dolg opis. S temi omejitvami smo lahko sestavili legendo, ki je prilagojena PzVO HEBR (Slika 84, Preglednica 12).



Slika 84. Klasifikacijska legenda dogodka

Preglednica 12. Klasifikacijska legenda dogodka (datoteka video zapisa)

#	Label - Oznaka
1	2riba
2	Klen
3	Platnica
4	Plavje, drugo
5	Androga, rdečeočka
6	Podust
7	Pridnena riba
8	Som
9	Vidra, bober
10	Zelenika, pisanka

Oznaka »2riba« pomeni druge ribe, ki so slabo vidne in slabo določljive oziroma ribe, ki jih ni v klasifikacijski legendi. Pridnena riba pomeni ribe, ki živijo bolj na dnu, kot so mrena, nežica in vse vrste globočkov in »vitki« globočkov (*Romanogobio*), kot so beloplavuti globoček, kesslerjev globoček in zvezdogled. S temi oznakami, eno ali več hkrati, ročno označimo posnetek po pregledanem predvajanju. Na ta način dobimo pregled nad posnetim gradivom. S temi oznakami lahko izdelamo iskalne filtre npr. Oznaka/Label Som, ščuka od datuma do datuma. S tem dobimo filtrirane dogodke in njihovo število. Lahko izberemo tudi poljubne kamere; FishCam01 ali FishCam02 ali oboje.

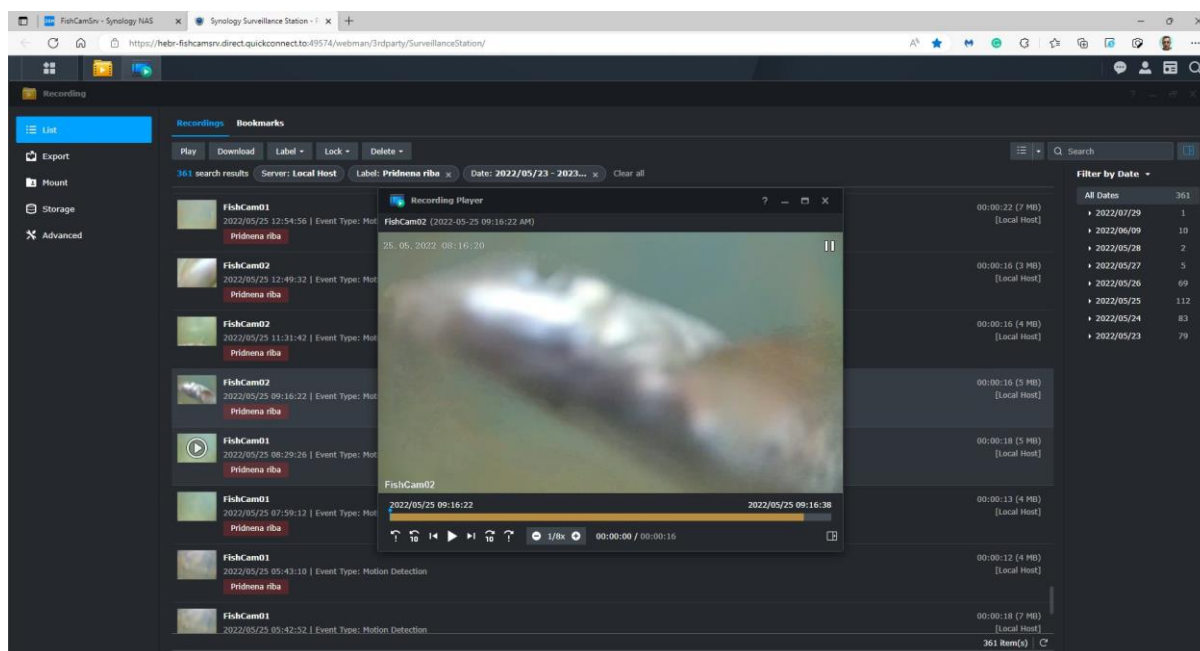
Primer kriterijev iskalnega filtra obeh kamer:

Label: Pridnena riba

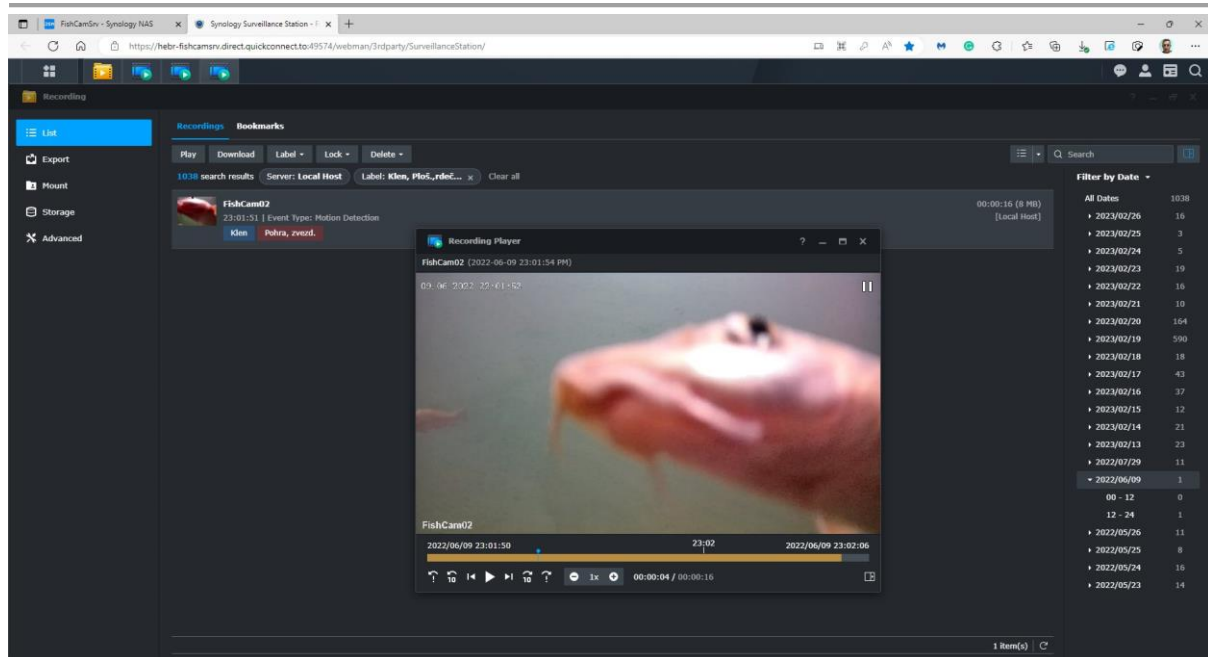
Server: Local Host FishCamSrv

Date: 23.5.2022-26.5.2022 (op.: 4 dnevi)

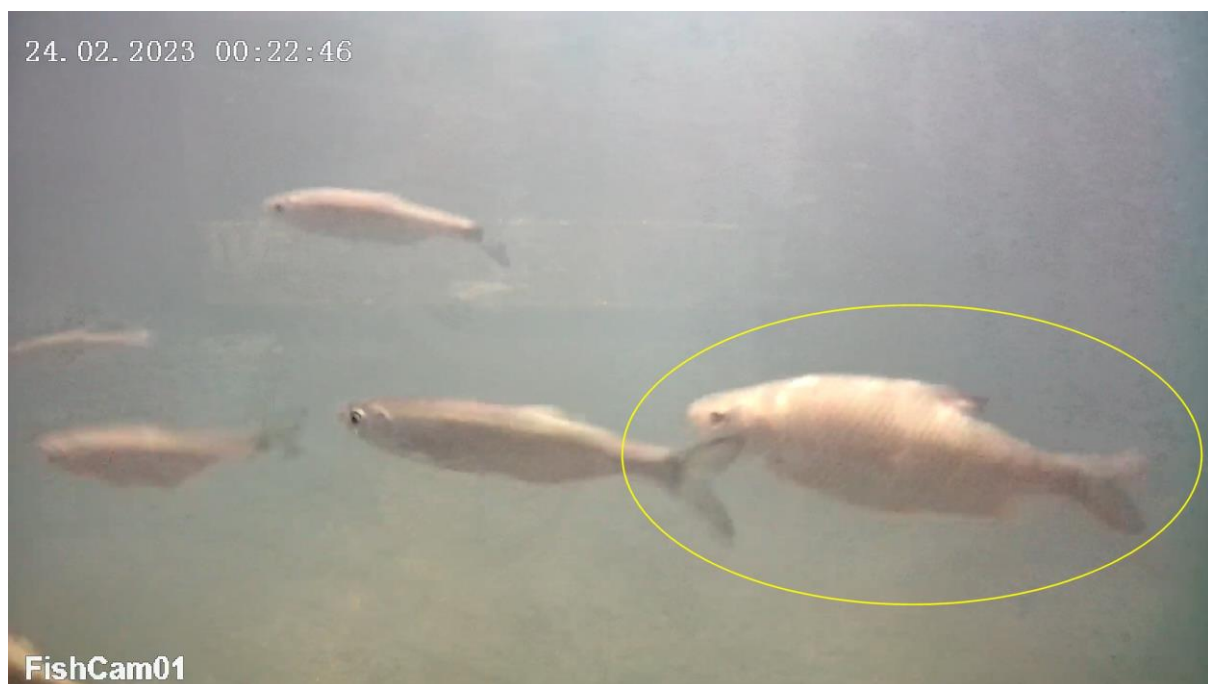
Dobimo 361 "search results". To pomeni, da se je ta dogodek pojavil 361 krat v štirih dneh.



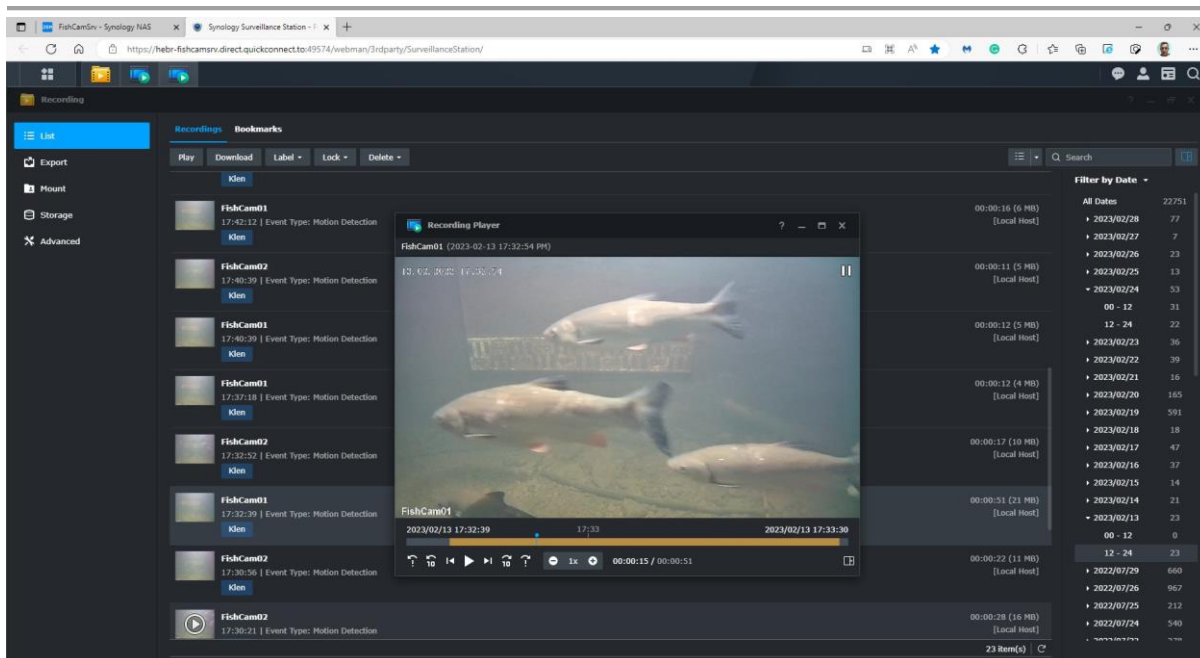
Slika 85. Pridnena riba od 23.5.2022 do 26.5.2022 se pojavi na 343 dogodkih



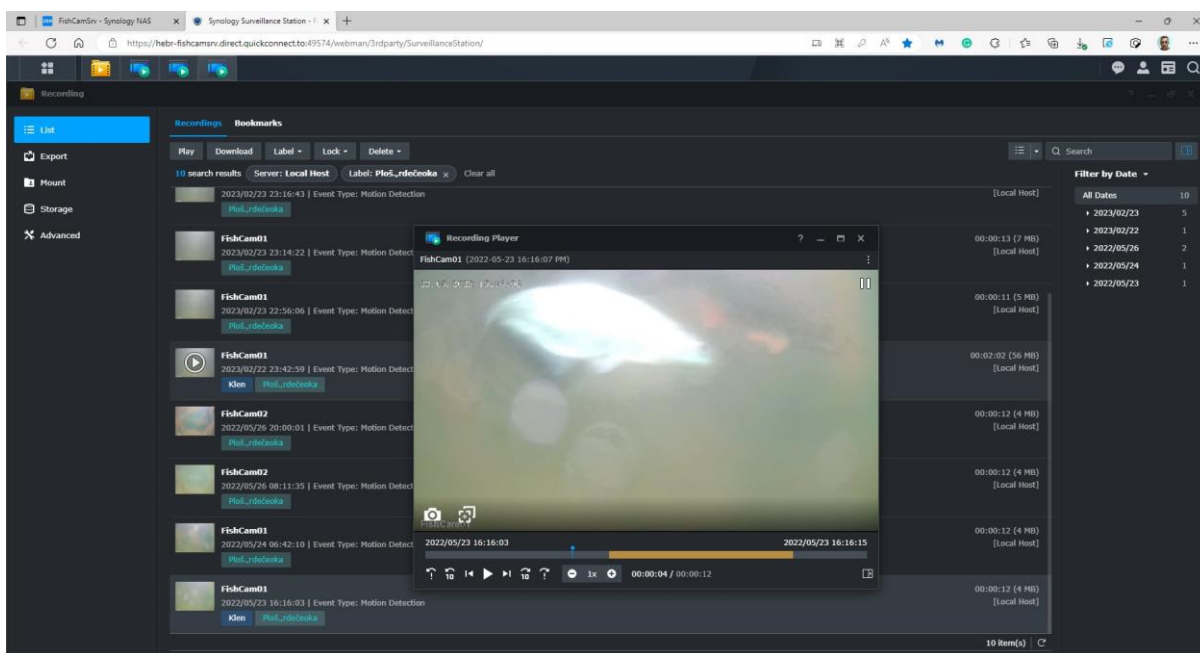
Slika 86. Pridnena riba, pohra



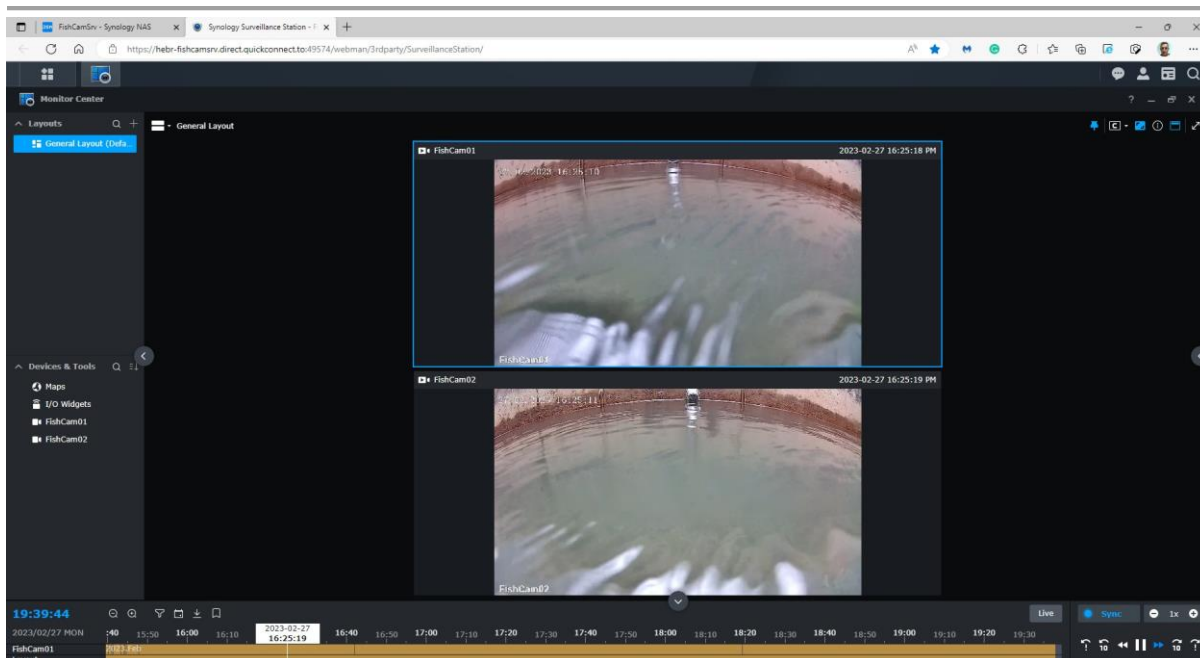
Slika 87. Rdečeočka in zelenike



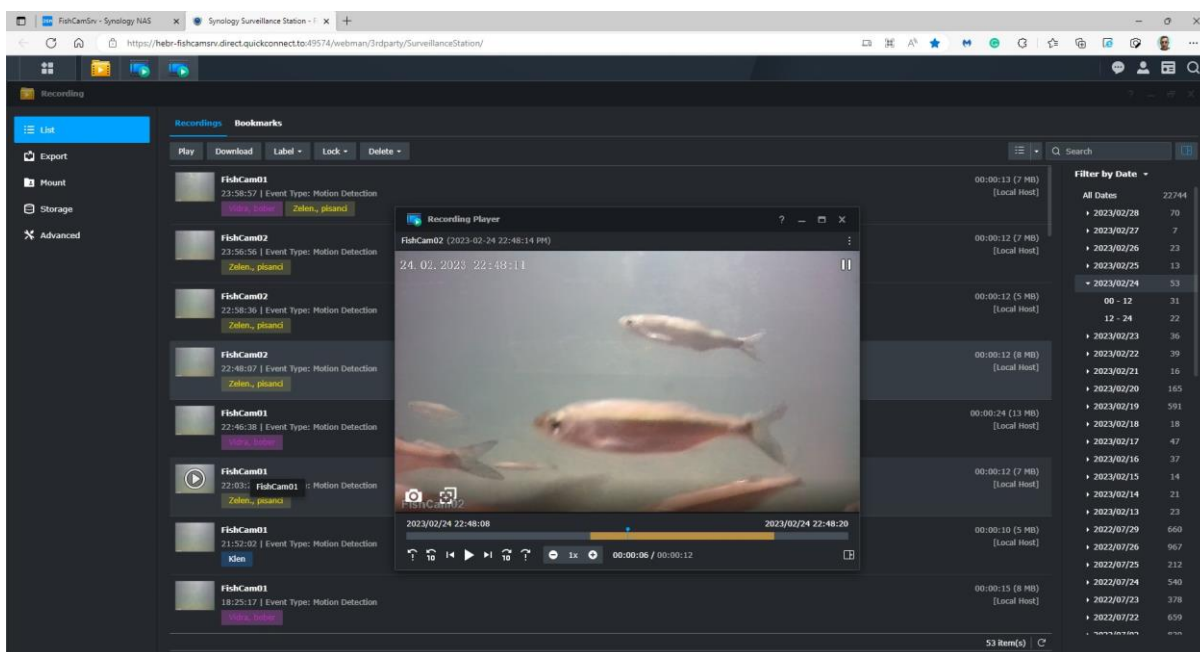
Slika 88. Klen



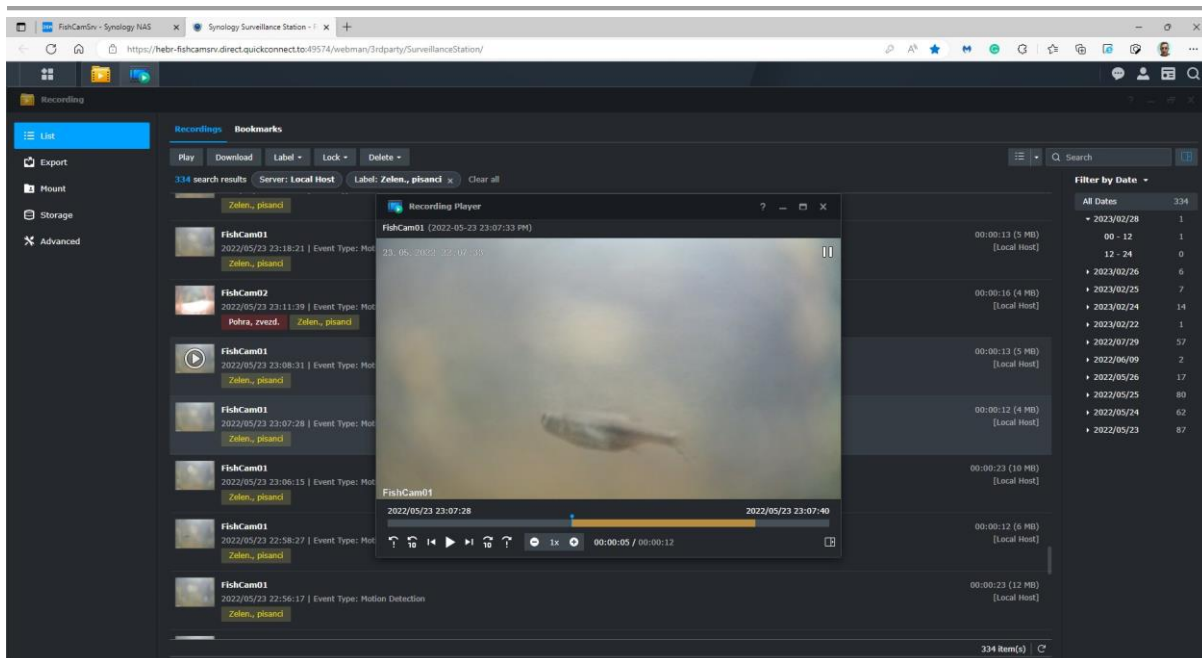
Slika 89. Androga



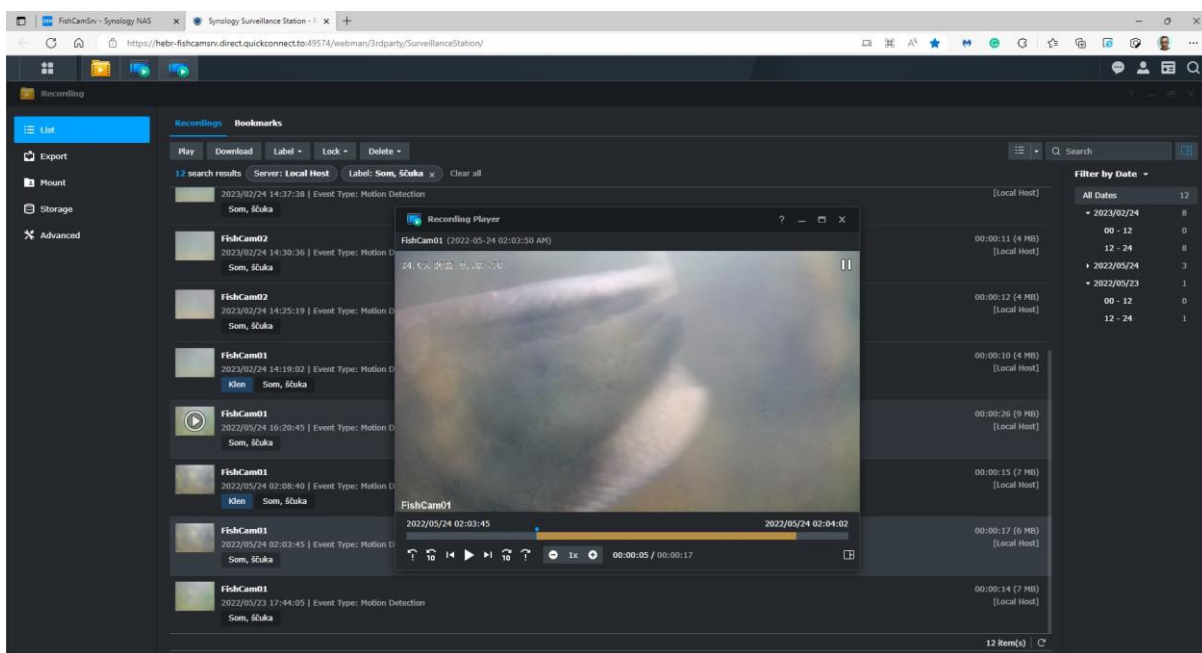
Slika 90. Plavje, drugo



Slika 91. Zelenika



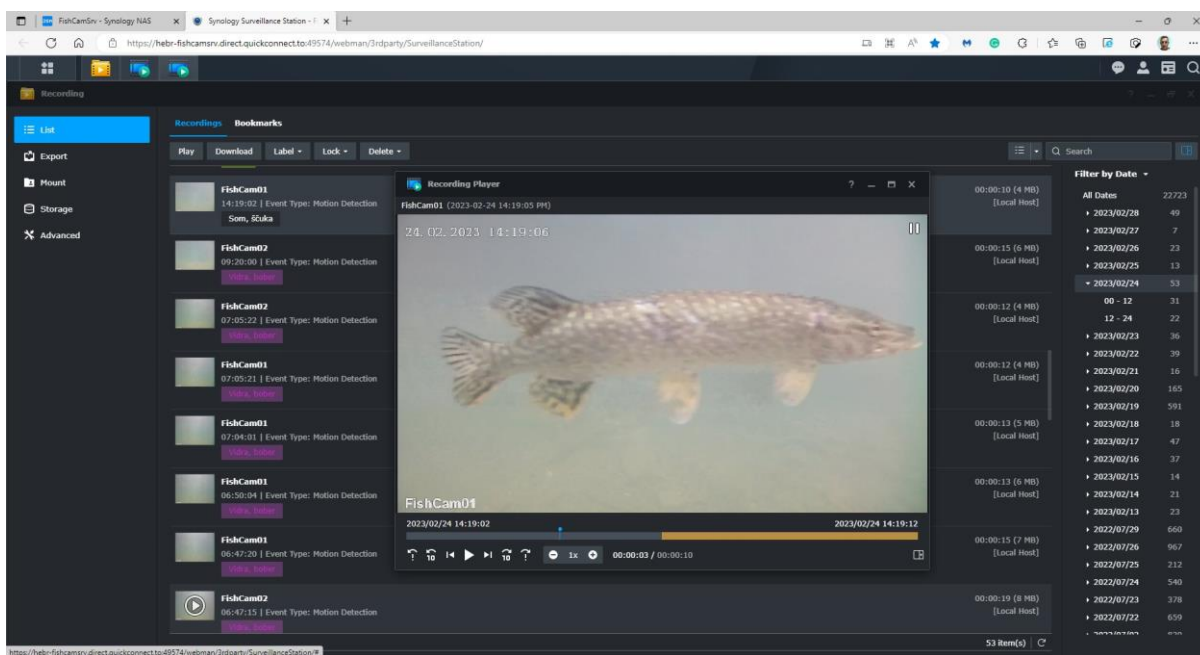
Slika 92. Pisanka



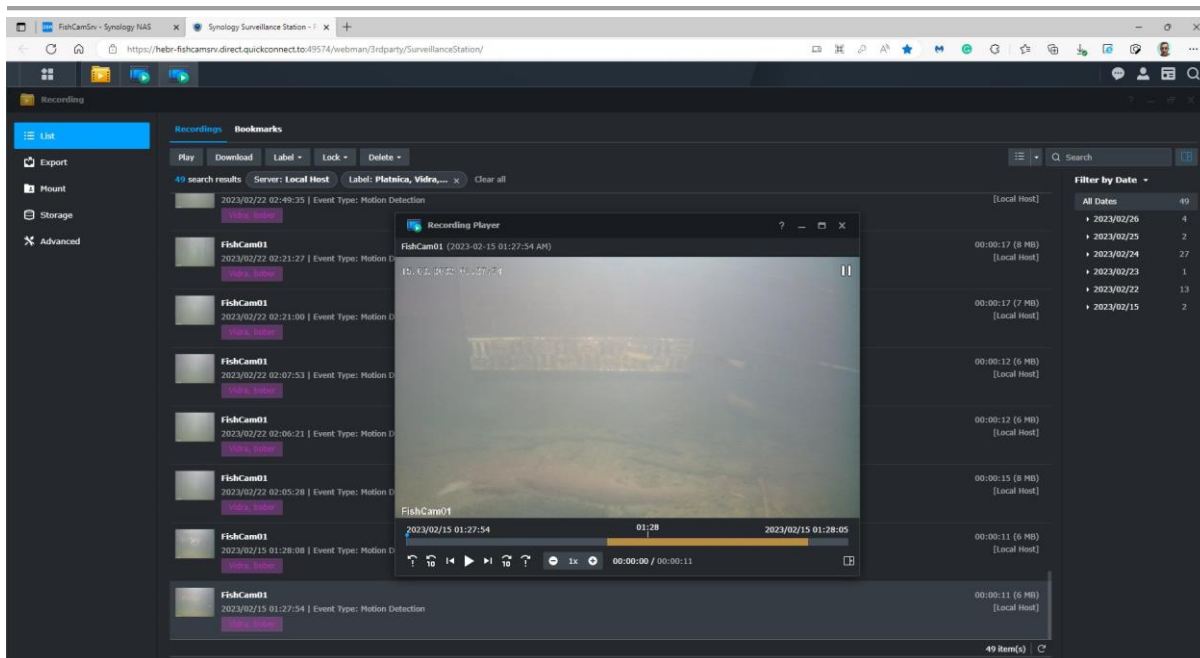
Slika 93. Som



Slika 94. Glava soma

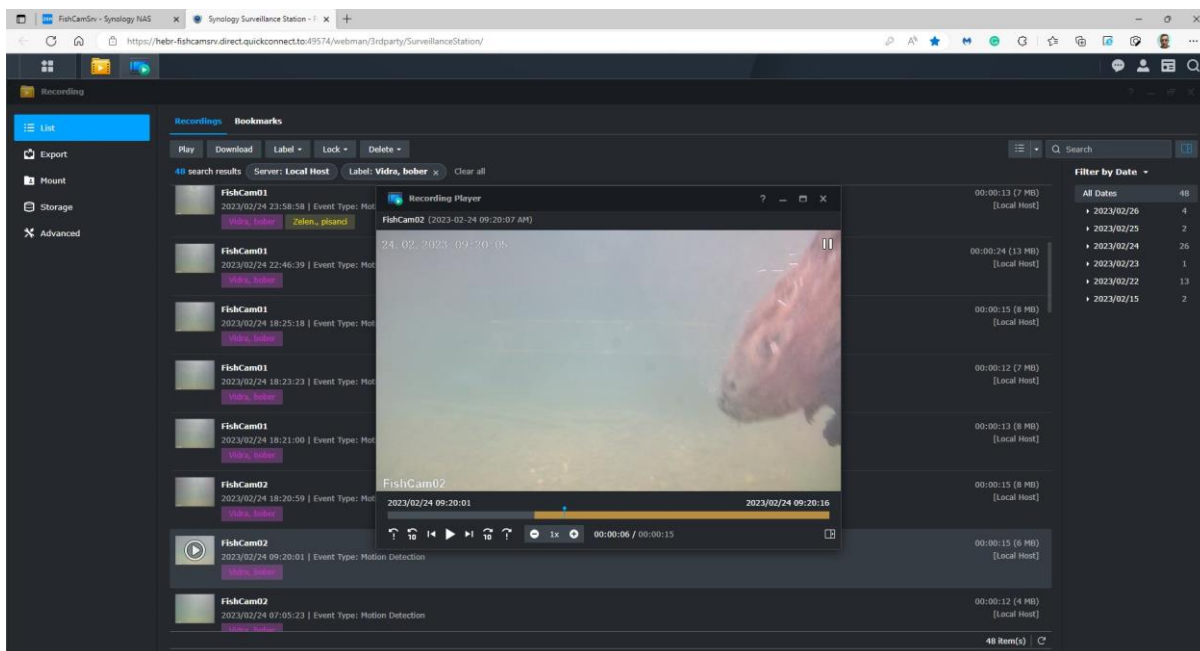


Slika 95. Ščuka



Slika 96. Vidra (z ribo v gobcu)

Vidra se kar pogosto pojavlja v PzVO, ker ima postrežbo na pladnju. To je opazno na veliko poškodovanih ribah, predvsem klenih. Pojav plenilcev v ribji stezi hkrati pomeni, da je v njej hrana – ribe. Prav tako 'samopostrežno' lovita som in ščuka.



Slika 97. Bober

3.7.3 Splošne ugotovitve videonadzora

1. Videonadzorni sistem spremljanja prehajanja rib v ribji stezi z dvema video kamerama se je izkazal za uspešnega, kljub kalnosti vode in posledično manj ostrih posnetkov. Vemo, da so razmere v vodi in tehnični pogoji v vodi veliko bolj zahtevni kot pri video nadzornih sistemih v zraku. Sistem je kljub vsemu deloval neprekinjeno in je zaznal najmanjše in največje ribe. Programsko sistem temelji na Linuxu Debian izpeljanki, ki je znana po svoji stabilnosti. Debian Linux se množično uporablja za strežniške sisteme. Celotni sistem IT je vseskozi deloval brez najmanjše prekinitve v delovanju programskega in hardverskega dela.
2. Potrebno je poudariti, da je delovanje videonazornega sistema v smislu jasnosti posnetkov in njihove uporabnosti zelo tehnično omejeno in podvrženo nenehnemu čiščenju leče objektiva. V kalni vodi in pri povečanem biološkem obraščanju in zarasti v poletnem obdobju je potrebno očistiti leči objektivov najmanj vsak teden. In še posebno vsakič po padavinskem dogodku, ko se voda zakali in se ti lebdeči delčki suspendiranih snovi lepijo na stekleni objektiv.
3. V letu 2023 čiščenja nismo več izvajali, kot leta 2022 in zato je veliko manj posnetkov. Pogostnost terenskega obiska Ljubljana -Brežice in težave s čiščenjem objektivov kamer, se da delno odpraviti in omiliti z namestitvijo podvodnih avtomatskih brisalcev. Pri tem se je pa potrebno zavedati, da bi dodani brisalci dodatno povzročili še čiščenje brisalcev zaradi rastlinja (slika spodaj), ki se bi še bolje nabiralo in zatikalo za brisalce.



4. V PzVO HEBR voda niha za več kot meter in zaradi omejene vidnosti zaradi kalnosti in ožje zornega kota kamer v vodi kot na suhem je zaznavanje rib omejeno. Sistem ne pokriva scene celotnega pretočnega profila, ampak nekako zajema v celoti le srednji del višine vode v kanalu PzVO. Pri dnu so slike manj ostre in z mrtvimi koti pokritosti ob straneh kanala tako, da je nadzorni video sistem takšen kot sedaj, manj primeren za specifično snemanje pridnenih vrst. Posebno še, če hočemo slediti manjšim pridnenim ribicam, kot je na primer zvezdogled. Zaradi navedenega je ločevanje podobnih vrst zelo oteženo in v veliko primerov zaradi določanja specifik vrst celo nemogoče.
5. Zvezdogleda sistem ni uspel zaznati.
6. V času monitoringa od konca aprila do konca julija 2022, nekako v obdobju drstitev, smo zaznali več kot 40 000 dogodkov oziroma video zapisov v trajanju 12 sekund do 30 minut.
7. Na posameznih slikah je lahko tudi več kot trideset ribic, kar je težko prešteti posebno še, ker ne mirujejo, a štetje rib niti ni namen sedanje zasnove postavitve kamer in nadzora. Slika štetja ne bi bila popolna oziroma natančna, ker sedanja scena zaradi nihanja gladine ne pokriva celotnega profila prehajanja in bi določeni osebki lahko plavali mimo ne, da bi bili zaznani.
8. Dnevno se je zgodilo tudi do 1600 zabeleženih dogodkov, kar pa je bilo po pregledu vsebine v večini zabeleženo plavje.

9. Zelo opazno je tudi sezonsko nihanje števila rib, ki prehajajo skozi ribjo stezo. Opazili smo, da se je predvsem v zimskem času število rib, ki prehajajo skozi ribjo stezo zelo zmanjšalo. To smo ugotovili kljub temu, da rib nismo šteli, na osnovi manjšega števila posnetkov.
10. Izvedli smo kratko in delno analizo posnetih slik. Opazili smo, da skozi PzVO prehaja vsaj deset vrst rib in celo vidra ter bober. Z veliko gotovostjo smo zaznali soma, klene, androge, mreene, ščuke, rdečeočke, pisanke, zelenike, pohre in platnice.
11. Vseh posnetkov dogodkov leta 2022, nismo obdelali, ker jih je enostavno preveč. Glede ciljnih vrst je potrebno poudariti, da smo zaznali platnico, ne pa tudi zvezdogleda.
12. Obloustk oziroma piškurjev nismo ugotovili, kar pa še ne pomeni, da jih ni.

3.7.4 Servisiranje in nadzor delovanja opreme

Servisiranje in vzdrževanje opreme še zlasti podvodnega dela je izredno pomembno, če hočemo nemoteno spremljati dogajanja v PzVO HEBR 24/7. Če je kamera prekrita z rastlinjem in zablatena, potem je jasno, da ni dobrega posnetka. Servisiranje ni tehnično zahtevno, a potrebuje veliko vložnega časa. Delovanje kamer potrebuje dnevni nadzor. Če se kaj zatakne in plapolja, to sproža neželene dogodke. Neželene dogodke je potrebno sproti pobrisati, ker vemo kaj imamo v mislih sveže in še vemo zakaj. Pozneje je to malo težje. V poletnem času zaradi cvetenja alg in motnosti je potrebno čiščenje stekla objektiva na kameri najmanj vsak teden.

3.8 Platnica in zvezdogleda v prehodu za vodne organizme HE Brežice ob interventnem elektroizlovu

Ob izlovu ribje steze HE Brežice zaradi remonta Nuklearne elektrarne Krško (NEK) v oktobru 2022 Ribiška družina Brežice globočkov ni uvrstila na seznamu ulovljenih vrst rib, čeprav so v slikovnem gradivu o izlovu ribje steze z dne 1.10.2022 prisotni (RD Brežice, 2022a,b,c). Dne 8.10.2022, ko smo tudi sami preverjali prisotnost platnice in zvezdogleda, prisotnosti slednjega nismo zabeležili. Ker pa je bil vodostaj močno znižan (slike 98-100), ga zaradi močno spremenjenih hidroloških razmer (npr. zelo plitva voda in nizke hitrosti vode), ki zvezdogledu ne ustrezajo, tudi nismo pričakovali, čeprav bi ob običajnih razmerah v prehodu za vodne organizme HE Brežice (hitrosti tudi do 1 m/s in več; Ciuha in sod. 2017), lahko bil prisoten.

Prisotnost platnice v prehodu za vodne organizme HE Brežice smo potrdili tudi dne 8.10.2022 ob izlovu ribje steze HE Brežice zaradi remonta Nuklearne elektrarne Krško (NEK). V poročilih Ribiške družine Brežice o interventnem izlovu ribje steze v začetku oktobra 2022, platnica ni uvrščena na seznamu ulovljenih vrst rib, prav tako ni prisotna v slikovnem gradivu z dne 1.10.2022 (RD Brežice, 2022a,b,c). V prehodu za vodne organizme smo dne 8.10.2022 zabeležili prisotnost samo mladostnih osebkov platnice, kar je dokaz, da se platnica v prehodu za vodne organizme ali v njegovi bližini tudi drsti. Ker je bil vodostaj močno znižan zaradi denivelacije, so spremenjene hidrološke razmere verjetno vplivale tudi na platnico v prehodu.



Slika 98. Del odseka – “brzica” prehoda za vodne organizme HE Brežice dne 1.10.2022. Vir: <https://www.ribiska-druzina-brezice.si/obvestila/izlov-ribje-steze-he-brezice-2022> (pridobljeno 16.3.2023)



Slika 99. Del odseka –“tolmun” prehoda za vodne organizme HE Brežice dne 8.10.2022 ob interventnem izlovu rib RD Brežice (foto: G. Urbanič).



Slika 100. Del odseka –“brzica” prehoda za vodne organizme HE Brežice dne 8.10.2022 (foto: G. Urbanič).

3.9 Diseminacija projekta

Vzpostavili smo spletno stran ARRS CRP projekta št. V1-2142 na naslovu: <http://gorazdurbanic.com/projekti/raziskava-zvezdogleda-in-platnice/>. Na spletni strani sproti objavljamo novice o aktivnostih povezanih s projektom.

Za 33. Mišičev vodarski dan smo pripravili prispevek z naslovom »POSTAVITEV VIDEO NADZORNEGA SISTEMA ZA SPREMLJANJE RIB SKOZI PREHOD ZA VODNE ORGANIZME NA PREGRADI HE BREŽICE » (Vidmar in sod. 2022).

V mednarodno revijo z odprtim dostopom »Sustainability« založnika MDPI bomo poslali v objavo članek z delovnim naslovom »Coexistence of hydroelectric powerplants and Natura 2000 fish species; the casestudy of Stone gudgeon and Cactus roach in the impounded Sava river.

4. RAZPRAVA

4.1 Zvezdogled in platnica na območju akumulacije

Bless (1997) navaja, da je zvezdogled tipični prebivalec plitvih kamnitih rek v submontanskem (podgorskem) pasu, ki preferira odseke struge s hitrostjo vodnega toka med 70 in 115 cm/s, kjer je dno prekrito s srednje velikimi kamni. Tudi Čaleta in sod. (2015) navajajo, da je zvezdogled reofilna vrsta, ki najpogosteje naseljuje pas lipana in pas mreine v vodah s hitrim vodnim tokom in kamnitim oziroma grobim substratom. V naši raziskavi smo osebkke zvezdogleda ujeli v akumulaciji. V znanstveni literaturi nismo zasledili, da bi kdo ujel in poročal prisotnost zvezdogleda v akumulacijah. Odsek akumulacije pod HE Krško, kjer smo ujeli osebkke zvezdogleda, predstavlja koren akumulacije. Dno je razgibano s prisotnim tudi grobim substratom v obliki kamnov in skal (tudi živa skala). Na tem odseku je bila globina vode ob vzorčenju v akumulaciji HE Brežice konec junija 2022 najmanjša na celotnem odseku akumulacije in je znašala med 1,5 m in 2,0 m. Povprečna hitrost vodnega toka je ob meritvah (marec 2022) znašala 0,46 m/s, pri čemer je bila najvišja izmerjena hitrost v preseku >1,5 m/s. Ob desnem bregu akumulacije pod HE Krško, kjer smo ujeli mladostne osebkke zvezdogleda, smo zabeležili nekoliko nižje hitrosti vodnega toka t.j. v rangu povprečne hitrosti (med 0,4 in 0,5 m/s). Mladostni osebki zvezdogleda preferirajo zmeren tok nad peščeno podlago (Bless 1997) oziroma počasen tok in plitve obrežne habitate s peščenim dnom (Kottelat in Freyhof 2007). Preferiranje navedenega habitata morda pojasnjuje ulov samo mladostnih osebkov zvezdogleda v vzorčenem habitatu. V naši raziskavi smo ugotovili, da v velikih rekah zvezdogled preferira longitudinalna habitata tek in brzica in da je v tolmunu redko prisoten. Zvezdogled je redka vrsta, saj smo ugotovili, da je tudi v optimalnih razmerah njegova številčnost približno 10 osebkov/ha. Tudi v ihtiološki raziskavi spodnje Save od od HE Vrhovo do JE Krško iz leta 2003 (Šumer in sod. 2003) so ugotovili relativno malo (27) osebkov zvezdogleda, pri čemer je predstavljal manj kot 0,5 % celotnega vzorca združbe rib. Na odseku od Blanščice do tovarne Vipap Krško so isti avtorji ujeli 5 primerkov zvezdogleda z deležem < 0.5 %. Tudi v ihtiološki raziskavi reke Save pred izgradnjo Nuklearne elektrarne Krško v obdobju 1978-1980 so na odseku spodnje Save pri Skopicah (danes je na tem območju akumulacija HE Brežice) ugotovili samo dva osebka zvezdogleda, kar je predstavljalo manj kot 0,5 % ulovljenih rib (Habeković in sod. 1990).

Povž in Sket (1990) navajata, da platnica živi v glavnih rečnih tokovih v zmernem pretoku in da gre v času drsti od aprila do maja tudi v pritoke in rečne rokave med gosto vodno rastlinje in ali na prodišča. Kottelat in Freyhof (2007) navajata, da je platnica vrsta, ki živi v srednje-velikih in velikih rekah in da je biologija vrste skoraj nepoznana. Platnica je značilna vrsta ribjih tipov velikih rek v Sloveniji (Podgornik in Urbanič 2015). V naši raziskavi smo ugotovili, da je platnica prisotna v vseh longitudinalnih (tolmun, tek in brzica) in prečnih (breg, struga) habitatih velikih rek, pri čemer preferira mezohabitat tek v sredini struge. V akumulaciji smo platnico našli v korenu akumulacije pri nekoliko večji globini vode (2- 4 m) in manjši hitrosti vodnega toka (0.2 – 0.4 m/s) kot zvezdogleda. Talabishka in sod. (2015) so poročali, da so platnice ujeli v zelo počasi tekočih vodotokih - hitrost vodnega toka 0,1 m/s globine do 4 m. Čaleta in sod. (2015) pa navajajo, da so platnice prisotne tudi v jezerih. Platnice so prisotne tudi v mezohabitatih prehoda za vodne organizme HE Brežice, kjer so hitrosti vodnega toka precej višje (do 1 m/s in več), globine pa manjše (0,5 m in manj).

4.2 Metodologije vzorčenja zvezdogleda in platnice v pretočnih akumulacijah

V stoječih vodah in pretočnih akumulacijah se pogosto uporablja metoda ribolova z zabodnimi mrežami (EN 14757:2015) v kombinaciji z elektroribolovom v priobalnem delu. Ta metoda vzorčenja se uporablja tudi v Sloveniji v povezavi z metodologijo vrednotenja ekološkega stanja jezer (Podgornik in sod. 2016, Urbanič in Podgornik 2017, 2018). Čeprav se uporabljajo tudi bentoške zabodne mreže, se pridnene vrste kot je zvezdogled, pogosto ne ulovijo (npr. Podgornik in sod. 2020). Zajicek in Wolter (2018) sta predlagala, da se v velikih globokih rekah za "Natura 2000" vrste rib uporablja poleg elektroribolova še druge metode vzorčenja npr. vlečna mreža, driftna mreža, zabodne mreže, s katerimi lahko ustrezneje zajamemo vrste, ki živijo na dnu (bentivorne vrste) ali v predelih struge z globino > 2 m. S primerjavo dodatnih metod vzorčenja so največjo največjo učinkovitost ugotovili z uporabo vlečnih mrež. Ustreznost vlečnih mrež za ulov pridnenih (bentoških) in migrirajočih vrst (tudi platnice) so ugotovili tudi na akumulacijah reke Drave (Honsing-Erlenburg in sod. 2008) in reki Donavi (Szalóky in sod. 2021). V naši raziskavi smo testirali in razvili metodologijo vzorčenja rib v pretočnih akumulacijah z uporabo električne pridnene mreže E-KECE. Ugotovili smo, da je razvita metoda učinkovita za vzorčenje rib v pretočnih akumulacijah, vključno s ciljno vrsto zvezdogleda, saj smo v akumulaciji HE Brežice nad in pod Nuklearno elektrarno Krško ujeli osebke 25 vrst rib vključno s platnico in zvezdogledom.

Za pridobitev informacij o pestrosti združbe in stanju združb v akumulaciji je pomembno, da se izvaja tudi vzorčenje vodnih habitatov ob bregu akumulacije. Ključno je, da se najprej prepozna in opiše obrežne habitate akumulacije in na podlagi popisa izvede vzorčenje rib. V tej raziskavi smo uporabili kategorije vodnih habitatov, ki so osnovane na tipu podlage ob bregu, pri čemer smo ločili neživi (anorganski) in živi (organski) del ter pri razlikovanju dali prednost organskemu substratu. Uporabili smo sistem, ki se v osnovi uporablja za opis habitatov pri multihabitatnem vzorčenju bentoških nevretenčarjev (AQEM 2002, Urbanič 2014). Metodologija izhaja iz predpostavke, da je podlaga ključni dejavnik, ki določa bentoške združbe organizmov in da prisotnost rastlinskih delov-organskega substrata pomembno vpliva na te združbe. Z analizami smo potrdili, da se združbe rib ob bregu akumulacije pomembno razlikujejo med obravnavanimi habitatami. Še posebej pomembno je razlikovanje med habitatami s prevladujočim organskim in brez prevladujočega organskega substrata. Enako pomembno kot značilnost habitata je tudi lokacija habitata vzdolž pretočne akumulacije. Združbe rib se pomembno spreminjajo vzdolž dna pretočne akumulacije, kar smo ugotovili tudi v naši raziskavi (Urbanič in sod. to delo). Vzrok so longitudinalne spremembe v hitrosti vodnega toka, velikosti in tipu substrata, temperaturi vode in globini vode. Nekatere od teh značilnosti so ob bregu pretočne akumulacije manj izrazite npr. velikost substrata; zaradi umetnega vnosa substrata (kamnov) lahko najdemo substrat podobne velikosti vzdolž celotne pretočne akumulacije. Nekatere ostale ekološke značilnosti so v obrežnem delu veliko bolj izražene kot ob dnu akumulacije, npr. povišana temperatura vode zgornjega sloja vode zaradi plastovitosti in segrevanja zgornje epilimnijske plasti, medtem ko je razlika v temperaturi ob dnu vzdolž akumulacije lahko veliko manjša. Ob bregu akumulacije HE Brežice nismo ugotovili platnice in zvezdogleda. V naši raziskavi smo ugotovili, da sta obe vrsti v akumulaciji HE Brežice redki in omejeni predvsem na del korena akumulacije. Čeprav smo korenu akumulacije povzorčili 17 habitatov v plitvini ob bregu, ju nismo ugotovili. V pretočni akumulaciji zvezdogled preferira habitate z večjo hitrostjo kot so hitrosti neposredno ob bregu akumulacije. Platnica je že bila najdena v habitatih ob bregu pretočne akumulacije (npr. Urbanič in sod. 2020), vendar smo ugotovili, da platnica v velikih rekah ne preferira habitatov ob bregu, ampak v sredini struge (Urbanič in sod. to delo). Ugotavljamo, da je za habitat značilno točkovno vzorčenje rib – HS-PASE v plitvini ob bregu

pretočne akumulacije ustrezen za ugotavljanje značilnosti celotne združbe rib in prisotnosti mladih osebkov v pretočni akumulaciji. Za namen ugotavljanja populacijskih značilnosti zvezdogleda in platnice pa smo ugotovili, da je ribolov z uporabo električne pridnene mreže ustrežnejši.

4.3 Prehod za vodne organizme

Videonadzorni sistem spremljanja prehajanja rib v ribji stezi s kamero se je izkazal za zelo uspešnega. Tako po neprekinjenem delovanju kot zaznavanju najmanjših in največjih rib. V času monitoringa od konca aprila do konca julija 2022, nekako v obdobju drstitev, smo zaznali več kot 40 000 dogodkov oziroma video zapisov v trajanju 12 sekund do 30 minut. Z izvedbo kratke in delne analize posnetih slik smo opazili, da skozi prehod za vodne organizme HE Brežice prehaja vsaj deset vrst rib in celo vidra ter bober. Sistem je zaznal zelo veliko dogodkov pojavljanja ribjih osebkov z oznako » Pridnena riba«. Take ribe so npr. beloplavuti globoček, Kesslerjev globoček in tudi zvezdogled, ki so bili ugotovljeni v akumulaciji HE Brežice (Urbanič In sod. to delo). Za dobro prepoznavanje je potrebna vsaj kvalitetna profilna slika, ki pa vedno ni bila na voljo. V prihodnje je treba video nadzorni sistem optimizirati tudi za zaznavanje pridnenih vrst rib. Z izlovi rib, zaznanih ob kameri, ki so s posnetkov težje razpoznavne npr. globočki, bi njihovo taksonomsko pripadnost lahko z gotovostjo potrdili. Ob izlovu ribje steze HE Brežice zaradi remonta Nuklearne elektrarne Krško (NEK) v oktobru 2022 Ribiška družina Brežice globočkov ni uvrstila na seznamu ulovljenih vrst rib, čeprav so v slikovnem gradivu o izlovu ribje steze z dne 1.10.2022 prisotni (RD Brežice, 2022a,b,c). Dne 8.10.2022, ko smo tudi sami preverjali prisotnost platnice in zvezdogleda, prisotnosti slednjega nismo zabeležili. Ker pa je bil vodostaj močno znižan, ga zaradi močno spremenjenih hidroloških razmer (npr. zelo plitva voda in nizke hitrosti vode), ki zvezdogledu ne ustrezajo, tudi nismo pričakovali, čeprav bi ob običajnih razmerah v prehodu za vodne organizme HE Brežice (hitrosti tudi do 1 m/s in več; Ciuha in sod. 2017), lahko bil prisoten. Zvezdogleda prav tako nismo ugotovili v prehodu za vodne organizme HE Brežice julija 2023. Prisotnost zvezdogleda v prehodu za vodne organizme HE Brežice so ugotovili v interventnem izlovu RD Brežice leta 2019, ne pa v ihtiološkem monitoringu (Zabric in sod. 2020), kar potrjuje, da je zvezdogled vsaj občasno lahko prisoten v prehodu za vodne organizme HE Brežice. Redne denivelacije akumulacije zaradi remontov Nuklearne elektrarne Krško, ko se pretok in tudi hitrost vode v prehodu za vodne organizme HE Brežice močno zmanjšata, gotovo neugodno vplivajo na prisotnost zvezdogleda v prehodu za vodne organizme. Zvezdogled je vrsta, ki se ne seli (Bless 1997). Osebkni vrst, ki se ne selijo, so sposobni nizke plavalne hitrosti. Zanje je značilno, da je njihov življenjski prostor omejen le na del vodotoka. V kolikor so v prehodu za vodne organizme podobne razmere kot v bližnjem vodotoku, obstaja možnost naselitve rib iz vodotoka, ki se bodo v njem lahko tudi hranile in nekatere tudi drstile (Ciuha in sod. 2017). Prehodi za vodne organizme na spodnji Savi so lahko ugoden habitat za številne vrste rib, vendar je za prisotnost vrst, ki se ne selijo potreben ugoden habitat v prehodu za vodne organizme skozi daljše obdobje oz. ves čas in ne samo v času drsti.

Z videonadzornim sistemom spremljanja prehajanja rib v prehodu za vodne organizme HE Brežice s kamero je bila prepoznana tudi platnica. Prisotnost platnice v prehodu za vodne organizme HE Brežice smo potrdili tudi dne 8. 10. 2022 ob izlovu ribje steze HE Brežice zaradi remonta Nuklearne elektrarne Krško (NEK) in tudi ob vzorčenju v ribji stezi julija 2023. V poročilih Ribiške družine Brežice o interventnem izlovu ribje steze v začetku oktobra 2022, platnica ni uvrščena na seznamu ulovljenih vrst rib, prav tako ni prisotna v slikovnem gradivu z dne 1.10.2022 (RD Brežice, 2022a,b,c). V prehodu za vodne organizme smo dne 8.10.2022 zabeležili prisotnost samo mladostnih osebkov platnice, medtem

ko smo julija 2023 ulovili tako mlade kot odrasle osebkve. Prisotnost mladih osebkov je dokaz, da se platnica v prehodu za vodne organizme ali v njegovi bližini tudi drsti. Ker je bil v oktobru 2022 vodostaj močno znižan zaradi denivelacije, so spremenjene hidrološke razmere verjetno vplivale tudi na platnico v prehodu. Prehod za vodne organizme HE Brežice je ugoden habitat za platnico, saj so platnico ugotovili v večini ihtioloških monitoringov in interventnih izlovih RD Brežice do leta 2020 (Zabrc in sod. 2020). V naši raziskavi smo ugotovili platnico v dveh različnih mezohabitatih prehoda za vodne organizme HE Brežice: brzica-tek in tek-tolmun, kar potrjuje naše ugotovitve, da je v velikih rekah platnica prisotna v vseh longitudinalnih mezohabitatih (tolmun, tek in brzica). Na spodnji Savi so platnico ugotovili tudi v vseh ihtioloških monitoringih prehodov za vodne organizme HE Arto-Blanca med leti 2009 in 2015 (Zabrc 2020).

4.4 Priporočila za obratovanje prehoda za vodne organizme

Pri nadzoru funkcionalnosti in delovanja prehoda za vodne organizme (PvZO) na HE Brežice opozarjamo na nujnost zagotavljanja ustreznih hidravličnih pogojev pri obratovanju. Vtok v PvZO je zasnovan tako, da je treba vzdolž celotnega natočnega dela do regulacijskih zapornic na iztoku v prekatni del vzdrževati enakomerno gladinsko stanje, ki ustreza trenutni gladini v pretočni akumulaciji. Samo na ta način je zagotovljen ustrezen energijski nivo na vtoku v prekatni del, ki je z ustreznim pripiranjem/odpiranjem regulacijskih zapornic vedno enak in temu ustrezno so tudi natočne razmere enakomerne ne glede na nivo pretočne akumulacije HE Brežice. Vsaka manipulacija z regulacijskim zapornicami izven predpisanih obratovalnih pogojev ni dovoljena, saj povzroča motnje v pretoku, pulzacije, vpliva na turbulentnost vodnega toka in je vzrok za višjo hitrost toka vode, ki lahko presegajo plavalne sposobnosti posameznih vrst vodnih organizmov (lokalne neugodne razmere namreč vplivajo na funkcionalnost celotnega prehoda).

Natočni del v PvZO je oblikovan kot stransko zajetje. Glede na velikost pretočne akumulacije in majhne hitrosti vode so zaradi sorazmerno velikega pretoka hitrostni vektorji v območju vtoka v PvZO usmerjeni v vtočno odprtino. Posledica tega je, da se pred vtokom akumulira plavje, ki v velikih količinah lahko tudi funkcionalna ovira za delovanje PvZO (slika 101). Za preprečitev vnosa plavja so na vtočnem objektu nameščene betonske preklade in dodatna zaporna plošča. Te ovire so seveda funkcionalne, če se sočasno izvaja tudi odstranjevanje prekomernih količin, ki ga zgolj rečni tok v pretočni akumulaciji sam ne more odplaviti. Tekom spremljanja migracij vodnih organizmov smo opazili, da se v določenih obdobjih pretok v PvZO regulira tudi z glavno vtočno zapornico in ta ostaja priprta še tudi potem, ko ni razlogov za to. S tem režimom seveda niso ogrožene natočne razmere v PvZO, se pa izraziteje povečajo hitrosti na natočnem delu, kar predstavlja še bolj izrazit atrakcijski tok za plavje in posledično lahko še dodatno poslabša že neugodne hidravlične razmere na vtočnem objektu. Zato je iz hidravličnega vidika v primeru normalnih obratovalnih razmer nujno vzdrževati glavno zapornico povsem odprto, saj samo na tak način zagotavljamo največjo varnost pred vtokom plavja v PvZO.

Neodvisno od obratovalnih razmer pa bi bilo treba nujno predvideti način kako preprečiti dotok (vnos) plavja v neposredno območje vtočnega objekta. Reka Sava je tudi ob običajnih pretočnih režimih sorazmerno močno obremenjena s plavjem, pravzaprav je nabiranje plavja na vtoku bolj povezano z običajnim vodnim režimom, kot z visokovodnimi dogodki. Že zaradi fenomena zastajanja plavin pri normalnih obratovalnih razmerah je morda smiselno razmisliti o možnosti namestitve samodejnega

čistilnega stroja na vtoku s katerim bi bilo omogočeno sprotno čiščenje vtoka in na ta način zagotovljena polna funkcionalnost vtočnega objekta. Pri višjih pretokih Save so tudi hitrosti v pretočni akumulaciji višje, takrat je atrakcijski tok v smeri vtoka v PvZO manj izražen. S podoben problemom smo se že srečali v preteklosti, in sicer pri vtoku na ribjo stezo na Ambroževem jezu na Ljubljani, ki smo ga rešili tako, da smo na vtoku namestili deflektor, ki preprečuje vtok plavja na ribjo stezo in hkrati preusmerja plavje, ker sega toliko izven vplivnega območja vtoka, da ga lahko tok Ljubljane sprotno odplavlja mimo vtoka v ribjo stezo (slika 102) (LIFE10 NAT/SI/000142, Obnova koridorja Ljubljane in izboljšanje rečnega vodnega režima). Podoben deflektor bi bilo smiselno namestiti tudi na vtok v PvZO HE Brežice s funkcijo preprečitve vtoka plavja v PvZO, dodatno bi z ustreznim oblikovanjem zaporne ploskve lahko dosegli tudi to, da v vtočni objekt vteka hladnejša voda pod epilimnijsko plastjo. Na ta način bi rešili tudi problem vtekanja površinske vode v PvZO, ki je v poletnem času bistveno toplejša kot voda v globini.



Slika 101. Kopičenje plavja pred vtočnim objektom v PvZO.



Slika 102. Deflektor na vtoku v ribjo stezo na jezu Ambrož na Ljubljani

4.5 Videonadzorni sistem - predlogi in izzivi za naprej

Reševanje perečih problematik plavja in zablatenja, ter bolj učinkovitega sledenja pridnenih vrst je izziv za naprej, ki se ga je možno odpraviti z namestitvijo kamer na drugo lokacijo. S posebnim prirejenim video nadzornim koridorjem (video nadzorni hodnik) prehajanja rib bi bilo možno določene težave odpraviti in znatno izboljšati kontrolo nad prehajanjem rib in s tem povečati učinkovitost nadzora. Ob jasnejših posnetkih, ostrejših in s tem kakovostnejših v smislu prepoznavanja rib, bi bilo teoretično tudi možno uporabiti avtomatsko zaznavanje rib z uporabo umetne inteligence oziroma AI računalniških metod učenja.

V bistvu so sedanje namestitve kamer v pregloboki vodi, ker voda zaradi denivelacij v akumulacijskim bazenu niha gor dol za več kot meter. Če bi hoteli biti bolj učinkoviti in uspešni za sledenje pridnenim ribam, kar ni bil prvotni koncept zasnove video nadzora, je potreben drugačen konstrukt postavitve kamer. Lahko bi dodali še več kamer nižje, a na obstoječi konstrukciji v kanalu na izhodu PzVO nima smisla vztrajati. Za povečanje učinkovitosti sledenja, je potrebna kontrolna scena zožiti, znižati in približati, tudi podnevi umetno enakomerno osvetliti. Poskrbeti je potrebno za kontrastno sceno z belim ozadjem sten in dna. Nujno je potrebno odpraviti težave zaradi biološkega obraščanja »biofoulinga« na mestih objektiv in kontinuirano čistiti alge, blato, kamenec in celo školjke. Izkušnje LIFE projekta na Ljubljani so pokazale, da je bolje delovalo, ker ni bilo toliko plavja. Biološko obraščanje in plavje je na Savi velik problem. Namestiti se bi moralo strgalo (krtača) in brisalce (gumica).

Glede na pridobljene izkušnje ugotavljamo, da bi bilo smiselno narediti pokrit hodnik, lahko rečemo tudi prehodna video nadzorna vrata "fishcam gate" s postavitvijo na prvem pragu potoka 20 m pred denivelacijsko umirjevalno konstrukcijo PzVO. Z meritvami hitrostnih vektorjev tokovnic je bilo ugotovljeno, da je na tej lokaciji stalni enakomerni pretok, voda ne niha in ne pulzira. Tu je tudi manjša globina oziroma ravno pravšnja okoli 80 cm. Skonstruirala bi se nekakšna mobilna nerjavna "inox 2 mm, ojačana z 40 x 40 profili" škatla - hodnik, sidrana v dno in z manjšo površino nadzorne scene. Pretok v PzVO je $0,6 \text{ m}^3/\text{s}$. Pri odprtini $0,8 \times 1,25 \text{ m} = 1 \text{ m}^2$ bi bile hitrosti okoli $0,6 \text{ m/s}$. Takšen prečni profil s površino enega kvadratnega metra bi bilo veliko bolje nadzirati kot je sedanj s površino $2 \times 1,6 = 3,2 \text{ m}^2$. V sredini škatle bi se na zunanji straneh izdelal dva suha jaška s steklenima stenama v notranjost. Tako znotraj škatle ne bi bilo nobenih ovir, da bi se kaj zatikalo, nabiralo in mašilo. Na vrhu škatle bi bil pokrovom, da se izključi neželene refleksije in potujoče sence sonce-oblaki. Pokrov se bi lahko odpiralo za potrebe občasnega detajlnega čiščenja steklenih površin in servisiranja. Ob strani na sredi škatle bi bili v suhih vertikalnih jaških nameščeni kameri. Kameri se bi namestilo vertikalno v sredino in pristonili čisto do stekla. Na vrhu pokrova bi za osvetlitev scene zadostoval 40 W LED reflektor, ki bi enakomerno osvetljeval steni in dno. Na notranji del hodnika bi nad stekli namestili avtomatske brisalce - krtače na konstrukciji z vertikalnim pomikanjem gor in dol. To bi se lahko skonstruiralo s kakšnim počasnejšim aktuatorjem 12 V in časovnim stikalom, ker ni potrebe po hitrosti brisanja kot pri brisalcih na avtomobilu. Zunaj vode nad tunnelski video-nadzorni prehod bi lahko namestili še kakšno video nadzorno kamero, kot samostojni 4G sistem, ki je usmerjena na vhod "fishcam gate", kar bi dalo dodatni pregled nad delovanjem na daljavo z namenom preglednosti in zmanjšanja obhodov vzdrževanja na terenu.

5. POVZETEK IN ZAKLJUČKI

Podajamo povzetek in zaključke glede na izvedeno raziskavo.

1. Opravili smo hidrološko-hidravlične meritve na 10 merilnih mestih spodnje Save in pritokov (Savinja, Mirna, Krka, Sotla). Meritve so skupaj z drugimi pridobljenimi podatki predstavljale izhodišče za izbor odseka za vzorčenje rib z na novo vzpostavljeno ciljno metodo za zvezdogleda - električno pridneno mrežo.
2. Razvili smo metodologijo vzorčenja rib v pretočnih akumulacij na spodnji Savi z uporabo električne pridnene mreže E-KECE. Na vsakih 500 m dolžine akumulacije smo v osrednjem delu struge opravili poteg dolžine 100 m. Ugotovili smo, da je razvita metoda učinkovita za vzorčenje rib v akumulacijah, vključno s ciljno vrsto zvezdogleda, saj smo v akumulaciji HE Brežice nad in pod Nuklearno elektrarno Krško ujeli osebke 25 vrst rib vključno s platnico in zvezdogledom.
3. Za zvezdogleda in platnico smo ugotovili, da sta v akumulaciji HE Brežice redki vrsti. Ugotovili smo ju samo v korenu akumulacije, kjer so bili prisotni habitati značilni za zmerno-hitro tekoče velike reke. Zvezdogled je bil ugotovljen samo v odseku ≈ 500 m pod pregrado HE Krško, kjer smo izmerili dokaj visoke hitrosti vodnega toka in zmerno temperaturo vode, prisoten pa je bil kamniti substrat. Platnico smo ujeli vzdolž nekoliko daljšega odseka ($\approx 1,5$ km) korena akumulacije.
4. Hitrost vodnega toka v povezavi s substratom, temperatura vode in globina vode akumulacije so ključne značilnosti, ki določajo združbo rib v pretočni akumulaciji. Število vrst rib se zmanjšuje od korena akumulacije proti pregradi HE Brežice, t.j. od mesta z značilnostmi zmerno-hitro tekoče velike reke proti mestu z značilnostmi zelo počasi tekoče velike reke.
5. Razvili smo metodologijo za habitat značilnega točkovnega vzorčenja rib – HS-PASE v plitvini ob bregu pretočne akumulacije na spodnji Savi. Osnova metode je popis in kartiranje obrežnih habitatov akumulacije, ki smo jih uporabili kot izhodišče za izbor vzorčnih točk vzdolž brega akumulacije za vzorčenje rib. Razvita metoda je učinkovita za vzorčenje mladostnih osebkov rib v plitvini ob bregu akumulacij; ujeli smo predvsem mlade osebke 14 vrst rib do dolžine 9 cm. Osebkov zvezdogleda in platnice nismo ugotovili.
6. Razvili smo tudi metodologijo za habitat značilnega elektroribolova v prehodu za vodne organizme. Ugotovili smo prisotnost osebkov platnice in dveh vrst globočkov, medtem ko osebkov zvezdogleda nismo ugotovili. Nekatere značilnosti habitatov v prehodu za vodne organizme so ustrezni za prisotnost zvezdogleda (npr. substrat in hitrost vodnega toka), vendar ne vse (npr. visoka poletna temperatura vode).
7. Postavili smo video nadzorni sistem za spremljanje rib skozi prehod za vodne organizme na pregradi HE Brežice. Z video nadzornim sistemom smo ugotovili prehod različnih vrst rib, med katerimi je tudi platnica. Ugotovili smo, da postavljeni video nadzorni sistem ne omogoča registracijo prehoda majhnih pridnenih vrst rib npr. zvezdogleda, ker se vrste gibljejo preblizu dna in bi bilo zato treba video nadzorni sistem nadgraditi v obsegu: (1) postavitve dveh dodatnih kamer pri dnu, ki bi zajele območje prehoda pridnenih vrst rib; (2) dodati dodatno linijsko osvetlitev, s katero bo mogoče doseči večji kontrast pri zajemu video posnetkov; (3) dodati dodatno kontrastno oblogo, ki bo ustrezno reflektirala osvetlitev in še dodatno izboljšala svetlobne razmere pri video zajemu.
8. Ugotavljali smo povezave med združbami rib v katerih sta prisotna platnica in/ali zvezdogled ter spremenljivkami pokrovnosti tal in hidromorfoloških razmer. Ugotovili smo, da regionalni dejavniki rabe tal boljše pojasnijo združbe rib kot lokalni dejavniki hidromorfoloških razmer.

9. Izvedli smo modeliranje spreminjanja številčnosti zvezdogleda in platnice glede na izbrane spremenljivke rabe tal, hidromorfoloških razmer in sestavljenih okoljskih gradientov. Ugotovili smo, da je pri optimalnih razmerah v vodotoku zvezdogled redek s povprečno številčnostjo ≈ 10 osebkov/ha, platnica pa pogostejša s številčnostjo nekaj 100 osebkov/ha.
10. Spreminjanje številčnosti platnice najbolje opišemo s hidromorfološkima spremenljivkama oddaljenost od dolvodne pregrade in dolžina prostega odseka, podobno dobro pa tudi s sestavljenim gradientom pokrovnosti tal, ki odraža predvsem spreminjanje deleža naravnih površin v prispevnem območju.
11. Spreminjanje številčnosti zvezdogleda najbolje opišemo s spremenljivkama delež naravnih/kmetijskih površin v prispevnem območju in s sestavljenim gradientom pokrovnosti tal, od spremenljivk hidromorfoloških razmer pa z oddaljenostjo od dolvodne pregrade in indeksom morfoloških razmer.
12. Zvezdogled in platnica se različno odzivata na spremenljivke pokrovnosti tal glede na obravnavan gradient obremenitve. Za zvezdogleda smo v večini primerov ugotovili unimodalni odziv z optimumom pri majhnih ali srednjevelikih deležih spremenjene rabe tal, medtem ko smo za platnico ugotovili optimum pri srednje velikih do velikih deležih spremenjene rabe tal z izjemo deleža urbane rabe tal v prispevnem območju, kjer smo za obe vrsti ugotovili optimum pri zelo nizkih (nekaj %) vrednostih.
13. Platnica in zvezdogled se različno odzivata na hidromorfološke razmere. Z večanjem razdalje do dolvodnega prečnega objekta in z večanjem dolžine odseka struge brez pregrade se številčnost platnice povečuje, številčnost zvezdogleda pa zmanjšuje. Ugotovitev je verjetno tudi posledica dejstva, da obe vrsti preferirata različne ekološke razmere; zvezdogled je vrsta tekočih voda, ki najpogosteje naseljuje reke s hitrim vodnim tokom in kamnitim oziroma grobim substratom in se ne seli, medtem ko platnica živi v srednje velikih in velikih rekah s počasnejšim vodnim tokom in v jezerih, vendar se v času drsti seli v pritoke in na odseke reke s hitrejšim tokom vode. Za zvezdogleda smo ugotovili širok unimodalni odziv na indeks morfoloških razmer (1.-5. razred) z optimumom pri srednje visokih vrednostih – zmerno spremenjeni odseki vodotoka (2.-3. razred). Srednje vrednosti indeksa običajno zabeležimo v odsekih, z utrjenimi bregovi in hitrejšim vodnim tokom, kar preferira zvezdogled. Za platnico smo ugotovili ozek unimodalni odziv na indeks morfoloških razmer z optimumom pri nizkih vrednostih indeksa - (1-2. razred), ki odraža predvsem nespremenjene odseke vodotokov.
14. Izvedli smo analizo mezohabitatnih preferenc platnice in zvezdogleda v velikih rekah. Zvezdogled preferira tek in brzice, v tolmunu je redko prisoten. Platnica je prisotna v vseh mezohabitatih, pri čemer preferira mezohabitat tek v sredini struge.
15. Na podlagi izvedenih analiz ugotavljamo, da je zvezdogled prisoten na območju akumulacije HE Brežice, vendar je omejen na odsek v korenu akumulacije, kjer je habitat podoben srednje-hitro tekoči veliki reki. Ulov mladostnih osebkov nakazuje, da se zvezdogled v korenu akumulacije verjetno tudi drsti. Prehod za vodne organizme HE Brežice zvezdogledu verjetno ne predstavlja ugodnega habitata zaradi velike variabilnosti hidrološko-hidravličnih razmer in (pre)visoke temperatura vode v poletnem obdobju. Za potrditev ugotovitev bo treba v prihodnje v prehodu za vodne organizme izvesti dodatne meritve in ekološke analize, pri čemer bi bilo treba raziskavo izvajati dolgoročno, vsaj v obdobju 5-10 let. .
16. Na podlagi izvedenih analiz ugotavljamo, da je platnica prisotna na območju akumulacije HE Brežice, saj so osebki bili ugotovljeni v akumulaciji in v prehodu za vodne organizme (PzVO), ugotovljena pa je bila tudi migracija posameznih osebkov skozi PzVO HE Brežice. Ulov mladih osebkov v akumulaciji in prehodu za vodne organizme nakazuje, da se platnica na tem območju verjetno tudi drsti.

6. ZAHVALA

Za pomoč pri terenskem delu in determinaciji rib se zahvaljujemo dr. Maji Pavlin Urbanič, dr. Samu Podgorniku, kolegom s Prirodoslovno-matematične fakultete Univerze v Zagrebu: prof. dr. Davor Zanella,izr. prof. dr. Marko Čaleta, doc. dr. Zoran Marčić, Roman Karlović, Goran Tvrđinić in Siniša Vajdić.

7. VIRI

- Anderson, M.J. 2001. A new method for non-parametric multivariate analysis of variance. *Aust. Ecol.*, 26: 3
- AQEM Consortium. Manual for the application of the AQEM system. In *A Comprehensive Method to Assess European Streams Using Benthic Macroinvertebrates, Developed for the Purpose of the Water Framework Directive*. Version 1. 2002, p. 198. Available online: <http://www.aqem.de/mains/products.php> (dostopano 22 februar 2020).
- ARSO 2022. Atlas okolja. (dostopano 20.6.2022)
- ARSO 2023. Atlas okolja. (dostopano 11.7.2023)
- Bless R. 1997. Threatened fishes of the world: *Gobio uranoscopus* (Agassiz, 1828) (Cyprinidae). *Environmental Biology of Fishes* 49: 20.
- Borcard D., Legendre P., Drapeau P. 1992. Partialling out the spatial component of ecological variation. *Ecology*, 73(3): 1045–1055
- Ciuha, D., Bombač M., Povž M., Kvaternik K., Mlačnik J. 2017. Zasnova, hidravlična optimizacija, projekt in izvedba prehoda za vodne organizme HE Brežice. Mišičev vodarski dan 2017, str. 133-146.
- Cowx I.G. in Harvey J.P., 2003. Monitoring the Bullhead, *Cottus gobio*. *Conserving Natura 2000 Rivers Monitoring Series No.4*. English Nature, Peterborough.
- Čaleta, M., Buj, I., Mrakovčić, M., Mustafić, P., Zanella, D., Marčić, Z., Duplić, A., Mihinjač, T., Katavić, I. (2015): *Endemic Fishes of Croatia*. Croatian Environment Agency, Zagreb, 116 pp.
- Direktiva Sveta 92/43/EGS z dne 21. maja 1992 o ohranjanju naravnih habitatov ter prosto živečih živalskih in rastlinskih vrst (»Habitatna direktiva«), Bruselj, 65 str.
- Dužling U., Berg R., Klinger H., Wolter C. (2004). Assessing the ecological status of river systems using fish assemblages. *Handbuch Angewandte Limnologie* 12/04 (20.Erg.Lfg.): 1-84.
- EN 14011:2003. Water quality – Sampling of fish with electricity.
- EN 14757:2015. Water quality - Sampling of fish with multi-mesh gillnets
- Čaleta M., Buj I., Mrakovčić M., Mustafić P., Zanella D., Marčić Z., Duplić A., Mihinjač T., Katavić I. 2015. *Endemic Fishes of Croatia*. Croatian Environment Agency. Zagreb. 116 str.
- EEA, 2012. *Corine Land Cover*. Copenhagen.
- Fricke, R., Eschmeyer, W. N., Van der Laan, R. (2021). Eschmeyer's catalog of fishes: genera, species, references. (<http://researcharchive.calacademy.org/research/ichthyology/catalog/fishcatmain.asp>). Dostopano 08.06.2022.
- Grenouillet G., Pont D., Olivier J. M., (2000). Habitat occupancy pattern of juvenile fishes in a large lowland river: interactions with macrophytes. *Archiv für Hydrobiologie* 149(2): 307-326.
- Habeković D., Homen Z., Fašaić K. (1990). Ihtiofauna dijela rijeke Save. *Ribar*. Jugosl. 45:8-14.
- Hammer, Ø.; Harper, D.A.T.; Ryan, P.D. (2001). PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontol. Electron.* 4: 1–210.
- Johnson, B. L., W. B. Richardson & T. J. Naimo (1995). Past, present, and future concepts in large river ecology. *BioScience* 45: 134–141.
- Kottelat M., Freyhof J. (2007). *Handbook of European freshwater fishes*. Publications Kottelat, Cornol, Switzerland.
- Knehtl, M., Podgornik, S., Urbanič, G. (2021). Scale-dependent effects of hydromorphology and riparian land-use on benthic invertebrates and fish: Implications for large river management. *Hydrobiologia* 23: 1–21, doi:10.1007/s10750-021-04589-8.
- Metodologija vrednotenja ekološkega stanja vodotokov na podlagi rib. (2016). Ministrstvo za okolje in prostor, 58 str.

- Mrakovčić, M., Brigić, A., Buj, I., Čaleta, M., Mustafić, P., Zanella, D. (2006). Red Book of Freshwater Fish of Croatia. Ministry of Culture, State Directorate for Environmental Protection, Zagreb, Croatia.
- Lepš, J., Šmilauer, P. (2003). Multivariate Analysis of Ecological Data using CANOCO (p. 269). Cambridge: Cambridge University Press.
- Olajos P., Kiss B., Sallai Z. (2021). E-KECE. ELEKTROMOS FENÉKHÁLÓ. Patent pending. 8 str.
- Pavlin, M. (2012). Povezava med spremenljivkami evtrofikacije in združbo bentoških nevretenčarjev v celinskih vodah Slovenije. Doktorska disertacija. Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Ljubljana, 156 str.
- Peterlin, M., Urbanič, G. (2013). A lakeshore modification index and its association with benthic invertebrates in alpine lakes. *Ecohydrology*, 6: 297-311.
- Peterlin, M., Urbanič, G. (2013). Metodologija vrednotenja ekološkega stanja jezer na podlagi hidromorfoloških elementov kakovosti. V: Urbanič G. (ur.) Uredba o stanju površinskih voda; priprava strokovnih podlag. Poročilo o delu za leto 2013. Inštitut za vode Republike Slovenije, Ljubljana.
- Podgornik, S. (2006). Metodologija vzorčenja in laboratorijske obdelave rib za vrednotenje ekološkega stanja voda na podlagi rib v skladu z zahtevami Vodne direktive (Direktiva 2000/60/ES). Končno poročilo o projektni nalogi. Zavod za ribištvo Slovenije, Ljubljana, 119 str.
- Podgornik S., Urbanič G. (2011). Metodologija vrednotenja ekološkega stanja z ribami za male in srednje velike reke donavskega porečja ekoregije Alpe. Poročilo o projektni nalogi. Zavod za ribištvo Slovenije. Spodnje Gameljne.
- Podgornik S., Urbanič G. (2012). Metodologija vrednotenja ekološkega stanja z ribami za male in srednje velike reke jadranskega povodja ekoregije Alpe. Poročilo o projektni nalogi. Zavod za ribištvo Slovenije. Spodnje Gameljne.
- Podgornik S., Urbanič G. (2014). Vrednotenje ekološkega stanja malih in srednje-velikih rek ekoregije Panonska nižina na podlagi rib. Poročilo o projektni nalogi. Zavod za ribištvo Slovenije. Spodnje Gameljne, 70 str.
- Podgornik S., Urbanič G. (2015). Vrednotenje ekološkega stanja velikih rek na podlagi rib. Zavod za ribištvo Slovenije in Inštitut za vode Republike Slovenije, Spodnje Gameljne, Ljubljana, 84 str.
- Podgornik S., Urbanič G. (2016). Razvoj metodologije vrednotenja ekološkega stanja in razvrščanja vodnih teles hidroekoregij Dinaridi in Padska nižina na podlagi rib; določitev ribjih tipov. Zavod za ribištvo Slovenije in Inštitut za vode Republike Slovenije, Spodnje Gameljne, Ljubljana, 70 str.
- Metodologija vrednotenja ekološkega stanja vodotokov na podlagi rib. (2016). Ministrstvo za okolje in prostor, 58 str.
- Podgornik S. (2012). Monitoring populacij izbranih ciljnih vrst rib. Platnica. Zavod za ribištvo, Ljubljana-Šmartno.
- Pont, D., Hugueny, B. & Oberdorff, T. 2005. Modelling habitat requirement of European fishes: do species have similar responses to local and regional environmental constraints? *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 62: 163–173.
- Povž M., Sket B. (1990). Naše sladkovodne ribe. Mladinska knjiga, Ljubljana, 376 str.
- QGIS.org, 2021. QGIS Geographic Information System. QGIS Association. <http://www.qgis.org>
- RD Brežice, 2022a. Zapisnik o elektroizlovu. Izlov ribje steze HE Brežice dne 1.10.2022.
- RD Brežice, 2022b. Zapisnik o elektroizlovu. Izlov ribje steze HE Brežice dne 8.10.2022.
- RD Brežice, 2022c. Ribe ujete ob izlovu ribje steze HE Brežice; slikovno gradivo. <https://www.ribiskadruzina-brevice.si/obvestila/izlov-ribje-steze-he-brevice-2022> (pridobljeno 27.2.2023)

- Schmutz S., Zauner G., Eberstaller J. in Jungwirth M., 2001. Die »Streifenbefischungs-methode«: Eine Methode zur Quantifizierung von Fishbetaenden mittelgrosser Fliessgewaesser. Oesterreichs Fischerei. 54: 14-27.
- Seber, G. A. F. in Le Cren, E. D. (1967). Estimating population parameters from catches large relative to the population. *The Journal of Animal Ecology*, 36: 631–643.
- Szalóky, Z., György, A. I., Tóth, B., Sevcsik, A., Specziár, A., Csányi, B., ... Eros, T. (2014). Application of an electrified benthic frame trawl for sampling fish in a very large European river (the Danube River)—is offshore monitoring necessary? *Fisheries Research*, 151: 12–19.
- Szalóky Z, Füstös V, Tóth B, Eros T. (2021). Environmental drivers of benthic fish assemblages and fish-habitat associations in offshore areas of a very large river. *River Res Applic.* 1–10. <https://doi.org/10.1002/rra.3793>
- Šumer S., Povž M., Podgornik S., Kosi G. 2004. Ihtiološke raziskave Save od HE Vrhovo do JE Krško. Zavod za ribištvo Slovenije. 68 str.
- Talabishka E., Didenko A., Velykopolskiy I. (2015). Some biological data on cactus roach, *Rutilus virgo* (Heckel), in rivers of the Transcarpathian region of Ukraine. *Archives of Polish Fisheries* 23(2): 67–77.
- Tavzes, B., Urbanič, G. (2009). New indices for assessment of hydromorphological alteration of rivers and their evaluation with benthic invertebrate communities; Alpine case study. *Review of Hydrobiology*, 2: 133–161.
- ter Braak, C.J.F., Šmilauer, P. (2012). *Canoco Reference Manual and User's Guide: Software for Ordination, Version 5.0*. Microcomputer Power, Ithaca, USA: 496str.
- Urbanič, G. 2008. Redelineation of European inland water ecoregions in Slovenia. *Review of Hydrobiology*, 1: 17–25.
- Urbanič, G. (2014). Hydromorphological degradation impact on benthic invertebrates in large rivers in Slovenia. *Hydrobiologia* 729: 191–207. <https://doi.org/10.1007/s10750-012-1430-4>
- Urbanič G., Petkovska V., Dolinar N., Kuhar U., Remec-Rekar Š., Rotar B., Sever M., Eleršek T., Francé J., Kosi G., Mavrič B., Orlando-Bonaca M., Germ M., Gaberščik A., Podgornik S. (2015). Dopolnitev metodologij vrednotenja ekološkega stanja in razvrščanja vodnih teles površinskih voda na podlagi bioloških elementov kakovosti, pripravljenih v letu 2013. Poročilo o delu za leto 2015. Inštitut za vode Republike Slovenije, Ljubljana, 21 str.
- Urbanič, G., Šiling R., Petkovska, V., Knehtl, M., Debeljak, B., Podgornik, S. (2018). Poročilo o delu Inštituta za vode Republike Slovenije : razvojna podpora pri oblikovanju sistema za podporo odločanju o rabi voda (nadaljevanje naloge iz leta 2017) - končno poročilo. Inštitut za vode Republike Slovenije, Ljubljana, 257 str.
- Urbanič G., Podgornik S. (2017). Razvoj metodologij vrednotenja ekološkega stanja vodotokov v hidroekoregijah Dinaridi in Padska nižina na podlagi rib – I. faza. Inštitut za vode Republike Slovenije, Ljubljana, 60 str.
- Urbanič G., Podgornik S. (2018). Razvoj metodologij vrednotenja ekološkega stanja vodotokov v hidroekoregijah Dinaridi in Padska nižina na podlagi rib (II. faza) ter validacija indeksov SIFAIR-AL in SIFAIR-PN. Priloga B. Metodologija vrednotenja ekološkega stanja vodotokov na podlagi rib – dopolnitve 2018. Inštitut za vode Republike Slovenije, Ljubljana, 61 str.
- Van Deventer, J.S in Platts, W.S. (1989). *Microcomputer Software System for Generating Population Statistics From Electrofishing Data – User's Guide for MicroFish 3.0*. United states Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Research Station, General Technical Report INT-254.
- Veenvliet P in K. Veenvliet J., (2006). Ribe slovenskih celinskih voda. Priročnik za določanje. Zavod Symbiosis, Grahovo.

Zabrc D., Sotenšek B., Hamzić R. (2020). Ihtiološki pregled na HE Brežice v letu 2019 Monitoring prehoda za vodne organizme. Končno poročilo. Zavod za ribištvo Slovenije, 65 str. https://www.gov.si/assets/ministrstva/MKGP/PODROCJA/RIBISTVO/Monitoring-prehodov-za-vodne-organizme-/IM_PzVO_HEBR_2019.pdf (pridobljeno 17.3.2023)

Zajicek P, Wolter C. (2018). The gain of additional sampling methods for the fish-based assessment of large rivers. Fisheries Research, 197: 15-24.



8. PRILOGE

Priloga A. Hidravlične značilnosti reke Save in pritokov – meritve v letu 2022. (v elektronski obliki)