



Evropska unija



Evropski sklad za
pomorstvo in ribištvo



Republika Slovenija



PO-TEM RIBE Projekt 2020–2022

Vplivi globalnih sprememb na toplotno okolje salmonidnih vrst s poudarkom na postrvih (*Salmo marmoratus* in *Salmo trutta*) v Zgornjem Posočju

Testi B., Crivelli, A. J., Leban, K., Jesenšek D. in Nicolas, D.

Končno poročilo – december 2022



Kazalo	3
Predgovor	5
Povzetek	6
1 Uvod	7
1.1 Vpliv temperature vode na ekologijo sladkovodnih rib	7
1.2 Posledice naraščanja temperature vode zaradi podnebnih sprememb	7
1.3 Vpliv podnebnih sprememb na ribe v Zgornjem Posočju	8
1.4 Cilji	9
2 Materiali in metode.....	9
2.1 Geografija in podnebne spremembe na območju spremljanja.....	9
2.1.1 Lokacije spremljanja temperature vode.....	10
2.1.2 Meritve temperature vode.....	13
2.2 Karakterizacija toplotnega okolja <i>S. marmoratus</i> , <i>S. trutta</i> in <i>S. marmoratus</i> x <i>S. trutta</i>	13
2.2.1 Razmnoževanje in drst	13
2.2.2 Embrionalni razvoj in valjenje	13
2.2.3 Izplavanje mladic	14
2.2.4 Optimalno temperaturno območje in termična strpnost	14
2.2.5 Bolezni (proliferativni nefritis PKD).....	14
2.3 Izbrane toplotne metrike.....	15
3 Rezultati.....	16
3.1 Pregled spremljanja.....	16
3.2 Glavne reke (Soča, Bača in Idrijca)	19
3.2.1 Splošni opis toplotnega okolja.....	19
3.2.2 Toplotni trendi.....	20
3.2.3 Pretoki rek z največjimi in najmanjšimi trendi	21
3.3 Pritoki	22
3.3.1 Splošni opis toplotnega okolja in primernost habitatov	22
3.3.2 Razmnoževanje in drst	23
3.4 Prostorske spremembe	24
3.4.1 Nadmorska višina kot pomemben dejavnik toplotnega okolja.....	24
3.4.2 Primerjava toplotnih razmer pritokov med porečji.....	24
3.4.3 Regionalna skladnost.....	25
3.5 Časovna raznolikost.....	26

3.5.1	Analiza trendov.....	26
3.5.2	»Zgodaj« ali »pozno«	29
3.6	Nekaj konkretnih primerov	29
4	Razprava	31
4.1	Prostorsko-časovne spremembe temperature vode	31
4.2	Primernost toplotnih okolij za postrvi	33
4.2.1	Primerni habitati.....	33
4.2.2	Fenologija	34
4.3	Pogled v prihodnost.....	35
	Viri in literatura	37
	Priloge.....	43

Projekt **Podnebne spremembe – vpliv na temperature vode in ribe (PO–TEM RIBE)**, sofinanciran s strani Evropske unije in Republike Slovenije iz Evropskega sklada za pomorstvo in ribištvo, se s tem Poročilom končuje.

V okviru Projekta smo 3 leta zbirali podatke o temperaturah vode na 18 lokacijah v zgornjem porečju reke Soče. V Poročilo smo poleg teh podatkov vključili tudi stare podatke s teh lokacij in dodali še stare podatke s 7 lokacij, ki niso bile vključene v Projekt. Te lokacije so: Tolminka, Kozjak, Godiča, Dabrček, Hotenja, Sevnica in spodnji del izvira Idrijce.

Vsi stari podatki so bili zbrani v okviru programa repopulacije soške postrvi v zgornjem porečju reke Soče, ki je potekal pod vodstvom biološke postaje Tour du Valat v sodelovanju z Ribiško družino Tolmin. Zahvaljujemo se jima, da smo te podatke lahko uporabili v končnem Poročilu.

Ker so bili nekateri stari podatki zbrani pod drugačnim nazivom lokacij, kot smo jih uporabili v Projektu, so v Poročilu te lokacije navedene s temi imeni. Staro ime za lokacijo Podbreg je zgornja Volarja, za lokacijo Podmlaka zgoraj je zgornja Brinta, za lokacijo Podmlaka spodaj pa spodnja Brinta.

V tabelah in grafih so imena lokacij napisana v angleščini, ker nam statistični program, po katerih so bili narejeni, ni dopuščal uporabe slovenščine. Na koncu poročila je v Prilogi 1 dodan prevod terminov.

Za vsebino Poročila so odgovorni avtorji.

V Tolminu, december 2022

Namen tega projekta je pregledati glavne vplive globalnih sprememb na gorske vodotoke in z njimi povezano ribjo združbo, zlasti predstavnike družine postrvi (salmonide), z vidika naraščanja temperature vode. Analizirani so bili časovni nizi podatkov o temperaturi vode, ki so bili zbrani na različnih lokacijah v zgornjem delu porečja Soče (v nadaljevanju Zgornje Posočje) daljše obdobje (z začetkom leta 1996), da bi ocenili morebitne trende kot možne vplive globalnih sprememb. Izračunane so bile različne temperaturne metrike, da bi podrobneje preučili morebitne vplive na trenutno prisotne vrste postrvi, na ciljnih lokacijah: endemična soška postrv (*Salmo marmoratus*), tujerodna potočna postrv (*Salmo trutta*) in križanec med obema vrstama (*Salmo marmoratus x Salmo trutta*; v nadaljevanju križanec). V okviru raziskave poročamo o splošnem naraščanju temperatur vode v celotnem Zgornjem Posočju, pri čemer se t.i. hladna obdobja (temperature, ki so nižje od 5 °C) skrajšujejo, medtem ko ekstremno visoke temperature postajajo vse pogostejše, zlasti poleti. Večino časa ostajajo toplotne razmere ugodne za salmonide na vseh lokacijah. Toda na nekaterih lokacijah so vse pogostejše zabeležene temperature nad 15°C ali celo 19 °C, kar podaljšuje kratka obdobja s stresnimi toplotnimi razmerami za salmonide, še najbolj za *S. marmoratus*, ki predstavlja pomembno naravno dediščino.

1 Uvod

Dva bistvena izsledka sta poskrbela za motivacijo za izvedbo te študije: temperatura vode je glavna značilnost, ki vpliva na vodno življenje in zaradi globalnega segrevanja je temperatura vode ena glavnih okoljskih spremenljivk, ki se bo verjetno zelo spremenila.

1.1 Vpliv temperature vode na ekologijo sladkovodnih rib

Temperatura velja za enega najbolj pomembnih fizikalno-kemijskih parametrov za opis lastnosti vodnega življenjskega okolja in splošnega zdravja vodnih ekosistemov (Coutant, 1999; Caissie, 2006) zlasti zato, ker je ključen faktor presnovnih in bioloških procesov (Brown in sod., 2004). Neposredno vpliva na biologijo in ekologijo vodnih vrst, in sicer na njihovo fiziologijo in stopnje rasti, s spreminjanjem njihovih obdobj razmnoževanja in vedenja ter, navsezadnje, njihovo prostorsko razširjenost. Temperatura posredno vpliva na vsak gradnik vodnega ekosistema; močno vpliva na vidike kakovosti vode, kot so koncentracija raztopljenega kisika in sposobnost organizmov, da ga asimilirajo ter povečanje toksičnosti različnih onesnaževal (Verneaux, 1977; Vannote in sod., 1980; Webb, 1996; Giller in Malmqvist, 1998; Chu in Jones, 2010; Govedič, 2018).

Ribe so med najbolj znanimi prebivalci vodnih ekosistemov, predvsem zaradi gospodarskega pomena v smislu prehranskega vira in rekreacijskih dejavnosti (Elliott in Elliott, 2010; Giller in Malmqvist, 1998; FAO, 2016). Pogosto so vključene v oceno zdravja vodotokov (npr. Okvirna direktiva EU o vodah 2000/60/ES), saj so občutljive na antropogene motnje. Kot večina sladkovodnih živali so ribe poikilotermni organizmi. To pomeni, da fiziološko ne morejo ustvarjati ali ohranjati toplote, zato je njihova telesna toplota odvisna izključno od toplotnega okolja (Brett, 1956; Giller in Malmqvist, 1998). Zahteve glede temperaturnega območja že dolgo preučujejo in jih vse bolj razumemo za številne vrste rib in različne faze njihovega življenjskega kroga (Coutant, 1977; Alabaster in Lloyd, 1980; Daufresne in Boët, 2007). Na primer, rast, ki vključuje od temperature odvisne presnovne procese, zahteva izbiro določenega temperaturnega območja (t.i. okno), ki je specifično za posamezno vrsto in razvojni stadij (Meynard in sod., 2012; Neuheimer in Taggart, 2007; Wolter, 2007). Najprimernejše temperature za rast so praviloma vezane na ožji del tega okna (Elliott in Hurley, 1998a). Zunaj tega temperaturnega okna, zlasti ko temperature presežejo zgornjo mejo, so posamezni osebki pod fiziološkim stresom, ki lahko neposredno vpliva na njihovo zmogljivost (Hemmer-Brepson in sod., 2014) ali celo na preživetje (Elliott in Elliott, 2010; Miller in Stillman, 2012). Poleg tega je večina vedenj, kot so iskanje hrane, selitvena gibanja in razmnoževanje, vezana na toplotne pragove (Kottelat in Freyhof, 2007) ali trajanje posebnih toplotnih razmer (Nunn in sod., 2007). Zato je opredelitev toplotnega okolja ključni dejavnik za določitev, ali je habitat primeren za vrsto (Magnuson in sod., 1979) in hkrati omogoča izdelavo kartografije primernih območij za različne vrste ter združbe rib (Daufresne in Boët, 2007).

1.2 Posledice naraščanja temperature vode zaradi podnebnih sprememb

Podnebne spremembe so že spremenile toplotne režime vodotokov in so napovedane kot glavni stresor v prihodnjih desetletjih tako na lokalni kot svetovni ravni (Bates in sod., 2008; IPCC, 2021; Mohseni in sod., 2003; Mohseni in Stefan, 2001; Vörösmarty in sod., 2000; Woodward in sod., 2010). V Evropi je bilo dokumentiranih že veliko primerov dvigov temperature vode (Arora in sod., 2016; Bonacci in sod., 2008; Orr in sod., 2015; Tibaldi in sod., 2010; Webb in Nobilis, 2007) do skoraj 0,1 °C na leto (Basarin in sod. l., 2016; Markovic in sod., 2013) in pričakovano je nadaljnje segrevanje (Calbó, 2010; Tibaldi in sod., 2010; van Vliet in sod., 2011). Atmosferski pogoji so zelo pomembni pri toplotnem obnašanju vodotokov in so v glavnem odgovorni za procese izmenjave toplote, ki potekajo na vodni površini (Pletterbauer in sod., 2018; Caissie, 2006). Izkazalo se je, da je temperatura zraka zelo močan napovedovalec temperature v vodotokih (Webb in Nobilis, 2007) in lahko pojasni do 80 %

spremenljivosti temperature vode (Markovič in sod., 2013; Basarin et al., 2016). Vprašanje pa je, ali je mogoče lokalno ovrednotiti naraščanje temperature in hkrati identificirati posebnosti, ki so značilne za vsak vodotok, saj je toplotna bilanca vodotoka vsota več komponent¹, ki se spreminjajo na različnih nivojih.

Biološke reakcije, povezane z dvigom temperature vode, lahko vključujejo toplotne šoke, stres in spremembe v delovanju encimskega sistema ali genetskih struktur (Angilletta, 2009; Alabaster in Lloyd, 1980; McCullough in sod., 2009; Simčič in sod., 2015; Pletterbauer in sod., 2018). Segrevanje vode lahko na organizem različno vpliva glede na njegovo termično strpnost (preživetje) in subletalne učinke (npr. rast), določene z genetskim potencialom (Alabaster in Lloyd, 1980; Wenger in sod., 2011; Killen in sod., 2008; McCullough in sod., 2009; McCarthy in Houlihan, 1997). Strpnost na višjo temperaturo je zlasti povezana s stadijem razvoja, toplotno aklimacijo, kemijskimi značilnostmi vode (npr. raztopljeni kisik), onesnaženostjo, letnim časom in dvigom temperature (Alabaster in Lloyd, 1980; Pletterbauer in sod., 2018). Natančnejša opazovanja več vrst rib so pokazala določene vedenjske odzive v času povišanih temperatur, kot je iskanje toplotnih zatočišč (refugijev). V toplotno raznolikih vodnih okoljih se ribe običajno preselijo/premaknejo v toplotno primernejše mikrohabitate/predele, kot so pritoki s hladno vodo ali globlji tolmuni (Kottelat in Freyhof, 2007; Ebersole in sod., 2001; 2003; Sutton in sod., 2007; McCullough in sod., 2009). Spreminjanje toplotnega okolja zaradi podnebnih sprememb lahko privede do zmanjšanja števila in velikosti le-teh za večino vrst, kar negativno vpliva na sposobnost preživetja njihovih populacij (številčnost, rast in genetsko raznovrstnost) (Pletterbauer in sod., 2018; Pörtner in Knust, 2007; Comte in sod., 2013) in vodi v spreminjanje prostorskih razširjenosti ali prostorske porazdelitve (Carlson in sod., 2017; Lyons in sod., 2010). Za številne vrste so že poročali o krčenju prostorske razširjenosti in premikih na višjo nadmorsko višino ali geografsko širino (Hari in sod., 2006; Almodóvar in sod., 2012; Comte in sod., 2013; Hickling in sod. 2006; Govedič, 2018). Comte in Grenouillet (2015) sta ugotovila, da je hitrost izgub habitatov običajno hitrejša v primerjavi z odzivom rib pri iskanju novih in razkrila razlike v ranljivosti lokalnih populacij znotraj prostorske razširjenosti vrst. Poleg tega naj bi toplejše vodno okolje omogočilo tujerodnim vrstam hitrejšo širjenje in ponudilo več možnosti za pojav novih (Rahel in Olden, 2008). Predvideva se tudi, da se bo zaradi podnebnih sprememb spremenila dinamika prehranjevalnih spleto, kar bi spremenilo prehranjevanje ali povzročilo pomanjkanje hrane (Alabaster in Lloyd, 1980; Pletterbauer in sod., 2018).

Druga pomembna posledica podnebnih sprememb je, da segrevanje vode pospeši metabolizem parazitov in poveča njihovo namnožitev. Obstaja tudi nezanemarljivo zdravstveno tveganje za ribe (Maire, 2021), še posebej za hladnovodne vrste, ki bodo verjetno okužene pogosteje in intenzivneje kot vrste, ki prenašajo višje temperature (Marcos-López in sod., 2010).

1.3 Vpliv podnebnih sprememb na ribe v Zgornjem Posočju

V Sloveniji je bil med leti 1953 in 2015 za površinske vode ugotovljen povprečni trend naraščanja povprečne letne temperature 0,19 °C na desetletje, v Zgornjem Posočju pa med 0,15 in 0,20 °C na desetletje. Največja rast temperature je bila ugotovljena za spomladansko in poletno obdobje (Vertačnik in sod., 2018; Drakslar in sod., 2018).

Projekcije segrevanja za Zgornje Posočje napovedujejo spremenjen časovni vzorec srednjih mesečnih vrednosti padavin (toplejše in bolj vlažne zime ter bolj vroča in suha poletja), povečanje dejanske evapotranspiracije, zmanjšanje količine snega in poletnega napajanja podzemne vode ter spremenjene mesečne povprečne pretoke (Janža, 2013), kar bo verjetno še dodatno povečalo segrevanje vode in njeno toplotno spremenljivost. Zaradi napovedanih sprememb je mogoče pričakovati,

¹ Kot so na primer sevanje, izhlapevanje in kondenzacija, prenos zrak/voda, prevajanje skozi strugo, trenje, prenos padavin, hiporeične in podtalne izmenjave, pritoki, obrežna vegetacija itd.

da se bo negativen vpliv obstoječih antropogenih dejavnikov na vodotoke (npr. spremembe preto-kov) še povečal (Ormerod, 2009; Vörösmarty in sod., 2000).

Zgornje Posočje naseljuje 14 vrst rib (RIBKAT, 2022) in njihovo preživetje ogrožajo tudi podne-bne spremembe (Priloga 2). Ribjo združbo iz družine Salmonide so že močno prizadele človeške de-ja-vnosti, zlasti naselitev tujerodnih vrst v rekreacijske namene. Domorodno soško postrv (*Salmo mar-moratus*) ogrožata tako šarenka (*Oncorhynchus mykiss*) kot potočna postrv (*Salmo trutta*). Posledica genetskega onesnaženja (hibridizacije) avtohtone soške postrvi s tujerodno potočno postrvjo je priso-tnost križancev med vrstama (*Salmo marmoratus* x *Salmo trutta*) v mnogih vodotokih (Berrebi in sod. 2000, 2022; Fumagalli in sod. 2002; Stanković in sod. 2015; Vincenzi in sod. 2016, 2018, 2019). Na seznam tujerodnih vrst bi lahko uvrstili tudi lipana (*Thymallus thymallus*). Z nedavnimi genetskimi raziskavami je bilo v reki Soči ugotovljeno, da populacijo lipana sestavljajo križanci med jadranskim lipanom in lipanom (*Thymallus aeliani* x *Thymallus thymallus*) (Bravničar in sod., 2020; Bravničar, 2021). Salmonide spremljajo tudi druge reofilne vrste, kot so kapelj (*Cottus gobio*), pohra (*Barbus balcanicus*), štrkavec (*Squalius squalus*), grba (*Barbus plebejus*), primorski blistavec (*Telestes muticel-lus*), blistavec (*Telestes souffia*), pisanec (*Phoxinus lumaireul*), linj (*Tinca tinca*) in tujerodni klen (*Squalius cephalus*) (RIBKAT, 2022; BiosWeb, 2022).

Salmonidi so hladnovodne stenotermne (majhna toplotna strpnost) vrste z visoko stopnjo pre-snovne in potrebe po kisiku, zato so zelo občutljive na dvig temperature vode. Nanje še posebno vpli-vajo visoke temperature v obdobjih vročine, ko obstaja veliko tveganje, da se presežejo njihove optimalne temperature ali celo dosežejo temperature praga smrti (Elliot, 1994; Giller in Malmqvist, 1998). *S. marmoratus* ima nižje in ožje temperaturno območje kot *S. trutta*, in je zato verjetno bolj ogrožena zaradi naraščajočih temperatur. Poleg tega ima endemična *S. marmoratus* omejeno razšir-jenost v jadranskem povodju in vsaka sprememba v kakovosti in razpoložljivosti primerne toplo-tnega okolja ima lahko pomembne posledice za njeno populacijo in dolgoročno ohranjanje.

Spremljanje temperature vode v daljšem časovnem obdobju in ocenjevanje trendov ter obsega sprememb omogoča proučevanje razvoja prostorske razširjenosti vrst in napovedovanje možnih sce-narijev. Natančnejše kot je spremljanje, lažje je identificirati najbolj občutljive in ranljive dele vodoto-kov ter prepoznati možna zatočišča. Takšne informacije so ključne za predlaganje ukrepov upravljan-ja, ki so prilagojeni značilnostim ciljnih vodnih območij.

V Zgornjem Posočju je bilo od leta 1996 postopno uvedeno spremljanje temperature vode na 25 vodotokih. Nekateri vodotoki imajo tako nabor podatkov za več kot 25 let, kar okvirno že omogoča ugotavljanje trendov. Za ostale, kjer je bil monitoring vzpostavljen pred kratkim, pa imamo vsaj desetletne baze podatkov. Čeprav so te baze premajhne za trdne ugotovitve, lahko z njihovimi trendi utrdimo splošne zaključke na regionalni ravni in hkrati pridobimo pomembne informacije o lokalnih posebnostih teh vodotokov.

1.4 Cilji

Namen te raziskave je (i) podati podroben prostorski opis značilnosti toplotnega okolja treh glavnih rek (Soča, Bača in Idrijca) in njihovih pritokov v Zgornjem Posočju, (ii) oceniti in ovrednotiti spremembe v času ter (iii) oceniti morebitne posledice za dve reprezentativni vrsti postrvi, soško postrv in potočno postrv. Prostorska in časovna raznolikost toplotnih značilnosti med vodotoki je podana tako, da se regionalni trendi ločijo od lokalnih posebnosti.

2 Materiali in metode

2.1 Geografija in podnebne spremembe na območju spremljanja

Zgornje Posočje leži na južnem robu jugovzhodnih Alp (Julijske Alpe) v severozahodnem delu Slovenije. Severni alpski del območja sta močno zaznamovala procesa ledeniške erozije in akumulaci-

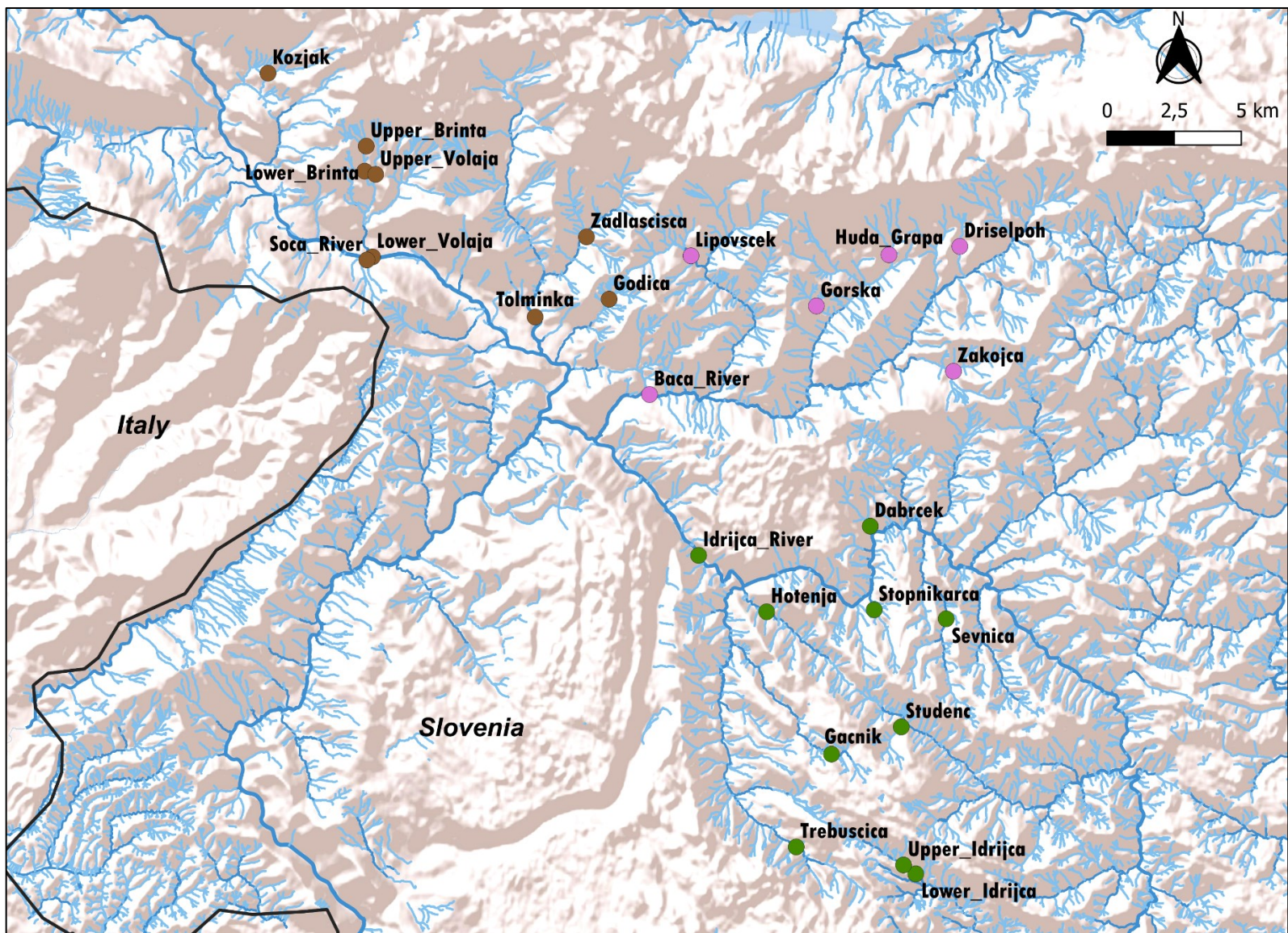
je (Bavec in sod., 2004; Janža, 2013; Rojšek, 1991). Nad globoko erodiranimi rečnimi dolinami so vrhovi in grebeni, ki presegajo gozdno mejo (okoli 1700 m nadmorske višine). Kroženje vode v južnem delu, ki ga predstavlja Dinarska planota (višave z največjo nadmorsko višino okoli 1000 m), je zaradi kraških procesov in rečne erozije zelo kompleksno (Rojšek, 1991; Janža, 2013; Knez in Kranjc 2009).

Na območju se prepletajo trije podnebni tipi: gorsko, submediteransko in zmerno celinsko podnebje. V alpskem delu prevladuje gorsko podnebje s hladno zimo in hladnim poletjem, medtem ko je zmerno celinsko podnebje (vroče poletje in mrzla zima) opazno nižje v dolinah in bolj značilno za osrednji in južni del preučevanega območja. Toplota Jadranskega morja (vpliv submediteranskega podnebja) sega od izliva reke Soče po dolini vse do mesta Tolmin in še višje proti povirju Soče (Ogrin, 1998; Janža, 2013; Rojšek, 1991).

Julijske Alpe in Dinarska pregrada imajo močan vpliv na padavinski režim. Ko vlažni jugozahodni vetrovi z morja prečkajo dinarsko-alpsko pregrado, pade večina padavin na privetrni strani, kar pojasnjuje, zakaj je Zgornje Posočje eno najbolj namočenih v Evropi (Zupančič, 1998; Cegnar in sod., 1996). Najvišja dnevna količina padavin je bila zabeležena nad 400 mm. Skupna letna količina pa je več kot 2500 mm, v goratem delu preseže 3000 mm z najizrazitejšim maksimumom jeseni (Zupančič, 1998; Kolbezen in Pristov, 1998). Zgornje Posočje je zato izpostavljeno pogostim obilnim padavinam, tudi več kot 100 mm na uro (Zupančič, 1998). Za porečje Soče je do sotočja Idrijce značilen snežno-dežni rečni režim (Kolbezen in Pristov, 1998).

2.1.1 Lokacije spremljanja temperature vode

Temperaturo vodotokov smo merili na skupno 25 lokacijah, ki so bile razdeljene na tri porečja, ki napajajo reko Sočo: Zgornja Soča (v nadaljevanju Soča), Bača in Idrijca (slika 1). Tri opazovane lokacije so v nižinah, na glavnih rekah treh porečij, medtem ko je ostalih 22 na pritokih, na bolj ali manj visokih nadmorskih višinah. Glavne značilnosti lokacij in prisotnost salmonidnih vrst so navedene v tabeli 1. Prvi monitoring je bil vzpostavljen leta 1996 v dveh vodotokih porečja Bače (Zakojška grapa in Gorska grapa); nato se je mreža postopoma širila na celotno območje raziskave (Tabela 1). Od leta 2019 poteka spremljanje le na 18 lokacijah (Tabela 1). Podrobne informacije in fotografije vsake lokacije so v Prilogi 4, ki je na voljo na spletu.



Slika 1: Zemljevid lokacij spremljanja temperature vode. Barve točk ustrezajo porečju (rjava: porečje Soče, roza: porečje Bače, zelena: porečje Idrijce).

Tabela 1: Vodotoki, na katerih poteka spremljanje temperature, z njimi povezane značilnosti in prisotne salmonidne vrste.

Porečje	Lokacija	Leto začetka spremljanja	Leto konca spremljanja	Nadmorska Višina	Porečje	Porečje območje na krasu	Povprečni naklon	Povprečni padec	Povprečna letna količina padavin	Razdalja do izvira	Povprečni pretok	Prisotnost salmonidnih vrst
Soča	Soča	2007		180	437	8,6	73,2	1	2658	50,54	33,63	Križanec, <i>Onchorhynchus mykiss</i> , <i>Thymallus thymallus</i>
Soča	Tolminka	2002	2019	168	73,08	0	65	4,9	2403	9,87	7,73	Križanec
Soča	Kozjak	2009	2019	538	6,35	0		5,2	2658	1,28		Križanec, <i>Onchorhynchus mykiss</i>
Soča	Spodnja Volarja	2005		186	17,3	0		1,5	2631	5,39	0,64	Križanec, <i>Onchorhynchus mykiss</i>
Soča	Zgornja Volarja	2005		725	4,49	0	53,1	15,5	2950	1,54	0,5	<i>Salmo trutta</i>
Soča	Spodnja Brinta	2008		775	2,22	0	57,5	11	2950	1,82	0,23	<i>Onchorhynchus mykiss</i>
Soča	Godiča	2010	2019	775	1,89	0		7	2232	0,74		<i>Onchorhynchus mykiss</i>
Soča	Zadlaščica	1997		356	14,64	2,73	63,9	15,55	2990	1,34	1,66	<i>Salmo marmoratus</i>
Soča	Zgornja Brinta	2017		950								<i>Onchorhynchus mykiss</i>
Bača	Bača	2009		164	142,3	0	61,6	1,64	2990	21,53	7,08	Križanec, <i>Onchorhynchus mykiss</i> , <i>Thymallus thymallus</i>
Bača	Huda grapa	2002		578	3,21	0	68,1	28,4	2600	1,76	0,16	<i>Salmo marmoratus</i>
Bača	Lipovšček	1999		432	7,16	0	64,9	17,4	2810	3	0,39	<i>Salmo marmoratus</i>
Bača	Gorska grapa	1996		415	2,19	0	65,1	13,1	2490	0,92	0,11	<i>Salmo marmoratus</i>
Bača	Driselpoh	1999		573	1,06	0		9,8	2490	1,41	0,22	Križanec
Bača	Zakojška grapa	1996		632	6,26	0	56,3	13,4	2250	2,33	0,13	<i>Salmo marmoratus</i>
Idrijca	Idrijca	2007		172	442,8	16,57	46,8	0,59	1952	56,44	23,41	Križanec, <i>Onchorhynchus mykiss</i>
Idrijca	Studenc	2000		509	2,08	0,53	42,7	5,4	2600	0,85	0,11	<i>Salmo marmoratus</i>
Idrijca	Zgornja Idrijca	1998		720	2,16	0,08	27,2	7,1	2850	1,6	0,12	<i>Salmo marmoratus</i>
Idrijca	Gačnik	1998		908	3,68	0,77	25,2	3,7	2607	3,85	0,19	<i>Salmo marmoratus</i>
Idrijca	Stopnikarca	1999		333	1,67	0		13,5	2600	1,67	0,25	Križanec
Idrijca	Trebuščica	1997		663	3,49	0	47,2	11,3	2840	1,5	0,2	<i>Salmo marmoratus</i>
Idrijca	Spodnja Idrijca	2003		537	5,02	0	28,7	2,6	2850	10,97	0,17	<i>Salmo marmoratus</i>
Idrijca	Dabrček	2009	2019	280	2,78	0			2250	2,4		Križanec, <i>Onchorhynchus mykiss</i>
Idrijca	Hotenja	2009	2019	260	8,7	0			2607	3,95		Križanec, <i>Onchorhynchus mykiss</i>
Idrijca	Sevnica	2001	2019	601	2,77	0	41	6,2	2100	0,34	0,11	<i>Salmo marmoratus</i>

2.1.2 Meritve temperature vode

Temperatura vode se meri na vsaki lokaciji z voodpornim zapisovalnikom podatkov (©HOBO; v nadaljevanju zapisovalnik). Da bi povečali varnost zapisovalnika v primeru poplav, je le-ta nameščen v dolgi kovinski cevi, ki je pritrjena na skalo. Skrajni del cevi, kjer je nameščen zapisovalnik, je preluknjan na več mestih, kar zagotavlja kroženje vode in odvajanje drobnih usedlin. Cev je postavljena pod vodo, pogosto pod veliko skalo, ki jo lahko zaščiti pred morebitnimi plavjem. Poleg tega je lokacija izbrana tako, da zapisovalnik ostane v vodi vse leto. Kljub temu so bili nekateri zapisovalniki izgubljeni ali pa smo jih našli zunaj vode. To pojasnjuje manjkajoča mesta v nizih podatkov. Do leta 2018 se je zapisovalnike zamenjalo enkrat ali dvakrat letno (junija in/ali septembra), od leta 2019 pa le enkrat – septembra.

Vsak zapisovalnik ima nastavljene parametre za beleženje povprečne temperature vode na vsaki dve uri, kar omogoča varčevanje z baterijo in spominom. Te meritve temperature v času *i* so v nadaljevanju označene kot »Ti«.

2.2 Karakterizacija toplotnega okolja *S. marmoratus*, *S. trutta* in *S. marmoratus* x *S. trutta*

Temperaturo vode je mogoče opisati s preprostimi statističnimi deskriptorji (npr. povprečje, minimum, maksimum), ki povzemajo letne, sezonske ali mesečne meritve srednje dnevne temperature. To je bilo opravljeno predvsem za analizo preteklih in prihodnjih trendov temperature vode (Webb in sod., 2008). Z modeliranjem temperaturnih krivulj se lahko vključi dodatne deskriptorje za opis letnega toplotnega režima vodotokov, kar omogoča enostavno primerjavo z zmanjšanim številom merjenih parametrov (Tasker in Burns, 1974; Maheu in sod., 2016). Kljub temu vsi ti preprosti deskriptorji nudijo malo informacij o natančnejši prostorski in časovni spremenljivosti temperature, ki jo občutijo ribe (Caissie, 2006), zato je mogoče vključiti dodatne metrike, ki so bolj biološko pomembne, za opis časa, trajanja in pogostosti določenih dogodkov ali toplotnih razmer (Dunham in sod., 2005; Arismendi in sod., 2013). Te metrike je mogoče dopolniti s poznavanjem termopreferenc ciljnih vrst ali združb, povezanih z njihovimi toplotnimi območji/v povezavi s njihovo termično strpnostjo (Eaton in sod., 1995; Dunham in sod., 2005). V okviru raziskave smo skušali opisati toplotne razmere znotraj izbranih vodotokov in identificirati nekatere prostorske in časovne razlike med lokacijami in leti. Izbira temperaturnega območja *S. marmoratus* in *S. trutta* je v nadaljevanju povzeta (z zaokroženimi vrednostmi) glede na različne znane faze in obdobja življenjskega kroga. Za križance smo uporabili enake podatke kot za *Salmo trutta*.

2.2.1 Razmnoževanje in drst

Prehod temperature vode pod določeno mejno vrednost (10–14 °C ali 6–12 °C, odvisno od hidroloških razmer) (Gouraud in sod., 2014) sproži gorvodno drstno migracijo *S. trutta*, ki se zdi, da za *S. marmoratus* ni značilna (Kottelat in Freyhof, 2007). Sezona drstenja se običajno začne novembra leta *n-1* za obe vrsti in konča januarja leta *n* za *S. trutta* (Cattanéo in sod., 2002; Elliott in Hurley, 1998a; Gouraud in sod., 2014; Hari in sod., 2006; Keith in sod., 2020; Kottelat in Freyhof, 2007; Ovidio, 1999) in za *S. marmoratus* (Kottelat in Freyhof, 2007; Povž in sod., 1996; Povž, 1989). Temperature vode morajo biti nižje od 12 °C za *S. trutta* (optimalna 5–6 °C) ali 6 °C za *S. marmoratus* (optimalna 4–6 °C) (Bruslé in Quignard, 2001; Kottelat in Freyhof, 2007; Povž in sod., 1996). Šarenka se drsti februarja – marca, zarod pa izplava julija (Crivelli, osebna korespondenca).

2.2.2 Embrionalni razvoj in valjenje

Za *S. trutta* je opisano, da se izvalitev zgodi med februarjem in začetkom marca (Elliott, 1994; Gouraud in sod., 2014), pri tem je čas tesno povezan s temperaturo vode (Crisp, 1981; Elliott in Hurley, 1998a). V enem od valilnih poskusov so se ličinke *S. trutta* izvalile pri 415 dnevni stopinjah, ličinke *S. marmoratus* pri 464 dnevni stopinjah in ličinke križancev (*S. marmoratus* x *S. trutta*) pri 420–435 dnevni stopinjah (Simčič in sod., 2017). Pri soški postrvi so pri konstantni temperaturi 10 °C

opazili ikre z očmi pri 260–280 dnevni stopinjah in izvalitev pri 460–480 dnevni stopinjah (Simčič in sod., 2015). Predpostavlja se torej, da v vodotokih do izvalitve traja približno 400 dnevni stopinj za obe vrsti ali približno 40 do 45 dni (Keith in sod., 2020; Vignes in Heland, 1995; Kottelat in Freyhof, 2007). Embrionalni razvoj je za *S. trutta* optimalen med 1 in 12 °C (prim. Vigier in Caudron, 2007). Če je temperatura med inkubacijsko dobo prenizka (< 4–5 °C), je pri *S. marmoratus* lahko ogrožen razvoj pol-letnih mladice (0+) (Crivelli, osebna korespondenca).

2.2.3 Izplavanje mladice

Pojav se zgodi v stadiju mladice (tj. ko osebki zapustijo drstno jamo) (Elliott, 1994). Zgodi se lahko okoli aprila (Cattanéo in sod., 2002; Elliott in Hurley, 1998a; Gouraud in sod., 2014) z razponom dveh mesecev (Elliott in Hurley, 1998a, 1998b) ali celo več mesecev na višjih zemljepisnih širinah (Kottelat in Freyhof, 2007). *S. trutta* potrebuje po drstenju do izplavanja od 520 (Vignes in Heland, 1995) do skoraj 800 dnevni stopinj (Bruslé in Quignard, 2001; Keith in sod., 2020) in *S. marmoratus* približno 500 (Specchi in sod., 2004) ali 592–632 dnevni stopinj pri 10–12 °C (Ocvirk, 1994; Povž in sod., 1996) ali 59–63 dni pri 10 °C (Kottelat in Freyhof, 2007).

2.2.4 Optimalno temperaturno območje in termična strpnost

Ker gre za poikilotermne vrste, je njihov metabolizem vse življenje odvisen od temperature okolja. Optimalno toplotno okolje in meje strpnostnega temperaturnega območja pa se s starostjo spreminjajo.

Primerno temperaturno območje za zarod *S. trutta* je med 1 in 15 °C. V fazi mladice je strpnostno območje med 4 in 19 °C (prim. Gouraud in sod., 2014) ali celo do 22–25 °C (Elliott in Elliott, 2010) s termopreferenco 17,6 °C (Coutant, 1977). V odrasli dobi je optimalno območje za *S. trutta* med 7 in 19 °C s termopreferenco 13,8 °C. Medtem ko je spodnja kritična meja tolerance blizu 0 °C, se izogibanje pri visokih temperaturah pojavi pri 20 °C. Pri temperaturi nad to vrednostjo lahko nastopi smrt: preživetje je 1 teden nad 25 °C in 10 minut nad 30 °C. Rast se ustavi pod približno 3 °C in nad 19,5 °C ter je optimalna pri okoli 13,5 °C (Hari in sod., 2006; Coutant, 1977; Vigier in Caudron, 2007; Bruslé in Quignard, 2001; Keith in sod., 2020; Cianfrani in sod., 2015).

Termopreferenčno območje *S. marmoratus* se zdi ožje v primerjavi s *S. trutta*. Njena toleranca navzdol seže do 5 °C (Keith in sod., 2020) ali pod 5 do 0 °C (Vincenzi in sod., 2008; Povž in sod., 1996). Zgornja meja je pri 14 °C (Vincenzi in sod., 2008) ali 15 °C (Keith in sod., 2020; Povž in sod., 1996; Kottelat in Freyhof, 2007).

2.2.5 Bolezni (proliferativni nefritis PKD)

Ena nevarnejših boleznih pri salmonidih, proliferativni nefritis (PKD), je bila ugotovljena kot eden možnih vzrokov za zmanjšanje staležev na več lokacijah v Veliki Britaniji, Švici in v francoski regiji Savoie (Burkhardt-Holm et. sod., 2002; Feist in sod., 2002; Vigier in Caudron, 2007; Wahli in sod., 2002). V toplejših vodotokih sta razvoj in potek boleznih intenzivnejši (Bailey in sod., 2017; Debes in sod., 2017). Za miksozojski patogen (*Tetracapsuloides bryosalmonae*; žganjarji), ki je povzročitelj PKD, so briozoji (mahovnjaki) eni izmed glavnih končnih gostiteljev. Ti sproščajo množice aktinospor, ko temperatura vode doseže 14 °C (Debes in sod., 2017), kar omogoča disperzijo patogena in invazijo rib s parazitom. Znaki boleznih in pogin postrvi se običajno pojavijo, ko temperatura preseže 15 °C (Sudhagar in sod., 2020; Gay in sod., 2001; Wahli in sod., 2002).

V Sloveniji do danes še ni bilo ugotovljenega nobenega primera. Ker je PKD resna bolezen rib v sosednjih alpskih regijah, jo upoštevamo kot oceno tveganja za zdravje, v primeru nenamerne vnosa povzročitelja.

2.3 Izbrane toplotne metrike

V tem poglavju so opisane metrike, izbrane za opis toplotnega režima vodotokov in toplotnega okolja vrst *S. marmoratus* in *S. trutta* (Tabela 2). Večina metrik je povzeta iz literature (Arismendi in sod., 2013; Cianfrani in sod., 2015; Dumoutier in sod., 2010; Hari in sod., 2006; Vigier in Caudron, 2007). Nekatere metrike so bile izračunane iz dvournih meritev temperature (T_i), kar je zlasti omogočilo identifikacijo ekstremnih temperaturnih situacij, ki jih ribe vsakodnevno doživljajo. Povprečne dnevne vrednosti (T_j) so bile izračunane iz vrednosti T_i , z namenom izračuna posplošenih metrik za opis sprememb toplotnega okolja vodotokov v zadnjih dveh desetletjih (tabela 2).

Po Maheuju (2015) so bile metrike izračunane samo v primeru, če je manjkalo manj kot 10 % podatkov v obdobju spremljanja (npr. vsaj 329 dnevni meritev je bilo potrebnih za izračun metrike v obdobju enega leta ali vsaj 82 dnevni meritev za obdobje 3 mesecev). Vse te metrike bi lahko izračunali za celotno podatkovno bazo T_i ali T_j , in sicer za vsako leto in vsak vodotok, a ko so bili podatki samo za del leta zadostni, smo se odločili ta obdobja dopolniti, da bi omejili število manjkajočih obdobj (tako na primer pomanjkanje meritev poleti ni preprečilo izračuna metrike za hladno obdobje).

Tabela 2: Seznam metrik, izračunanih za vsak časovni niz temperature vode.

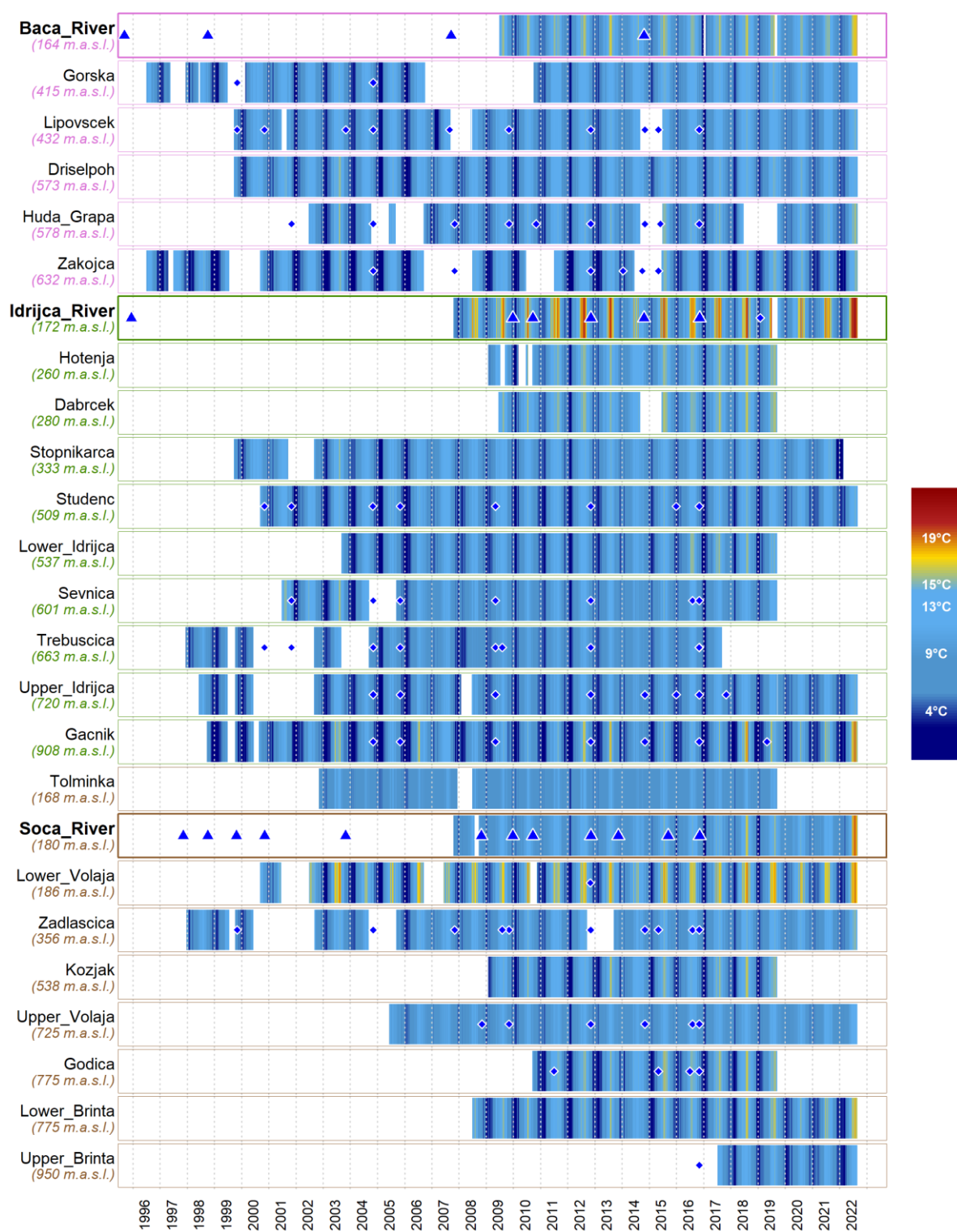
Kategorija metrike	Okrajšava	Opis
Karakterizacija toplotnega režima vodotokov		
Stopnja	Tmp	Povprečna letna temperatura T_j
	Tmp_fall_winter	Povprečna temperatura T_j med 21. septembrom leta $n-1$ in 21. marcem leta n
	Tmp_spring	Povprečna temperatura T_j med 21. marcem in 21. junijem
	Tmp_summer	Povprečna temperatura T_j med 1. julijem in 31. avgustom
	Ti_min	Najnižja absolutna temperatura (T_i), izmerjena v koledarskem letu
	Ti_max	Najvišja absolutna temperatura (T_i), izmerjena v koledarskem letu
	Ati	Razlika med »Ti_max« in »Ti_min«
"Zgodnje", "pozno" in toplotni dogodki	Dd_Tmj_inf5	Začetek "hladnega" obdobja; tj. dan ko v zglajeni krivulji temperatura pade pod 5 °C, izračunan za vsako leto
	Df_Tmj_inf5	Konec "hladnega" obdobja; tj. dan ko v zglajeni krivulji temperatura preseže 5 °C, izračunan za vsako leto
	DUR_cold_inf5	Trajanje hladnega obdobja, izračunano z razliko med zadnjima dvema metrikama
	D_Tmj_max	Julijanski dan, ko je v zglajeni krivulji temperatura najvišja
	Dd_Tmj_supTm	Julijanski dan, ko v zglajeni krivulji temperatura presega skupno povprečno temperaturo lokacije (»Tm«)
	Df_Tmj_supTm	Julijanski dan, ko v zglajeni krivulji temperatura pade pod 'Tm'
	Dd_Tmj_supTmp Df_Tmj_supTmp	Julijanski dan, ko v zglajeni krivulji temperatura preseže 'Tmp' Julijanski dan, ko v zglajeni krivulji temperatura pade pod 'Tmp'
Karakterizacija toplotnega okolja za <i>S. marmoratus</i> in <i>S. trutta</i>		
Razmnoževanje in drst	D_SpawnSma_inf6	Na podlagi datumov drsti <i>S. marmoratus</i> , pridobljenih iz terenskih opazovanj (od leta 2005 do 2012) (Crivelli, osebna korespondenca., Slika 8), smo za to vrsto identificirali julijanski dan, ko v zglajeni krivulji temperatura (T_j) (lowess regresija), na 3-tedensko obdobje, pade pod prag 6 °C. Prej ko nastopi ta dan, prej lahko pričakujemo začetek drstne sezone.
Optimalne in preferenčne	ND_Ti_5_15	Kumulativno število ur, ko je temperatura (T_j) optimalna za odrasli stadij <i>S. marmoratus</i> (5–15 °C), pretvorjeno v število dni

Kategorija metrike	Okrajšava	Opis
omejitve	ND_Ti_4_19	Kumulativno število ur, ko je temperatura (T_i) optimalna za odrasli stadij <i>S. trutta</i> (4–19 °C), pretvorjeno v število dni
	ND_Ti_15_19	Kumulativno število ur, ko je temperatura (T_i) nad zgornjo mejo za odrasle <i>S. marmoratus</i> (15 °C) in še vedno pod zgornjo mejo za odrasle <i>S. trutta</i> (19 °C)
Stres in prag preživetja	ND_Ti_sup15	Število ur, ko je temperatura (T_i) nad zgornjo mejo za odrasle <i>S. marmoratus</i> (15 °C, kar je tudi prag za PKD, glej spodaj) v koledarskem letu, pretvorjeno v dneve
	ND_Ti_sup19	Število ur, ko je temperatura (T_i) nad zgornjo mejo za odrasle <i>S. trutta</i> (19 °C) v koledarskem letu, pretvorjeno v dneve
	ND_Ti_inf5	Število ur, ko je temperatura (T_i) pod spodnjo mejo za odrasle <i>S. marmoratus</i> in nizka za <i>S. trutta</i> (5 °C, v nadaljevanju "hladno") v koledarskem letu, pretvorjeno v dneve
Proliferativni nefritis	ND_Ti_sup14	Kumulativno število ur, ko je najverjetneje, da se bo <i>Tetracapsuloides bryosalmonae</i> namnožila (ko je T_i nad 14 °C), pretvorjeno v dneve
	ND_Ti_sup15	Število ur, v katerih se lahko pojavijo simptomi zaradi invazije <i>Tetracapsuloides bryosalmonae</i> (ko je T_i nad 15 °C), pretvorjeno v dneve
	N_max_Ti_csh_sup15	Najdaljše trajanje obdobj (zaporednih ur), ko se lahko pojavijo simptomi

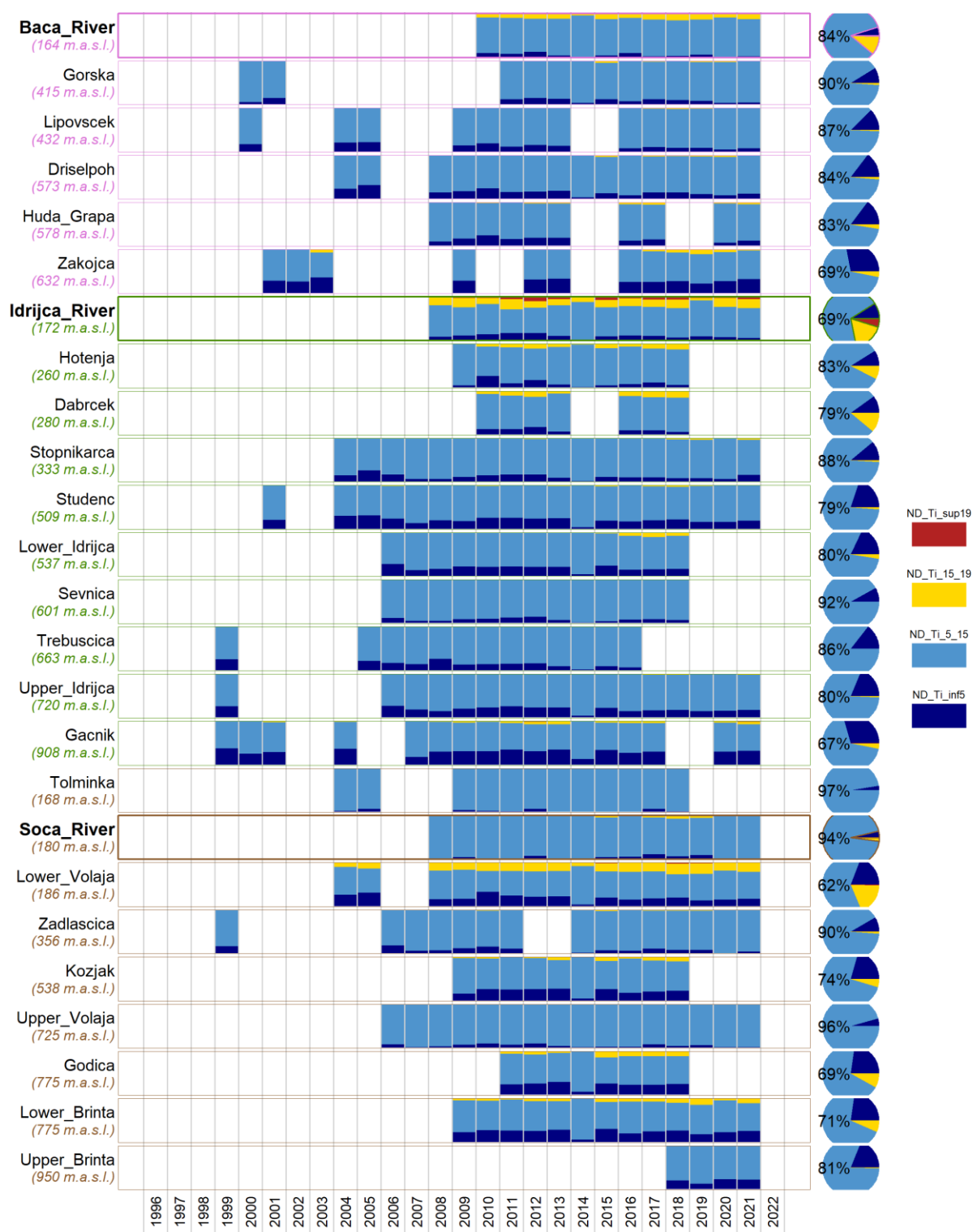
3 Rezultati

3.1 Pregled spremljanja

Vse povprečne dnevne vrednosti so predstavljene na Sliki 2. Letni deleži kumulativnega trajanja glavnih temperaturnih območji, pomembnih za biologijo postrvi (< 5 °C; 5-15 °C; 15-19 °C; > 19 °C), so prikazani na Sliki 3. Ti podatki bodo v prvem delu obravnavani za tri glavne reke (Sočo, Bačo in Idrijco) in nato še za njihove pritoke.



Slika 2: Izmerjena dnevna povprečja na lokacijo. Lokacije so barvno označene glede na porečje (Bača, Idrijca ali Soča) in razvrščene po nadmorski višini. Poplave, ki so povzročile spremembe v strugah, so bile zabeležene na terenu (modri diamanti) ali identificirane iz največjih pretokov (glej sliko 6; modri trikotniki).

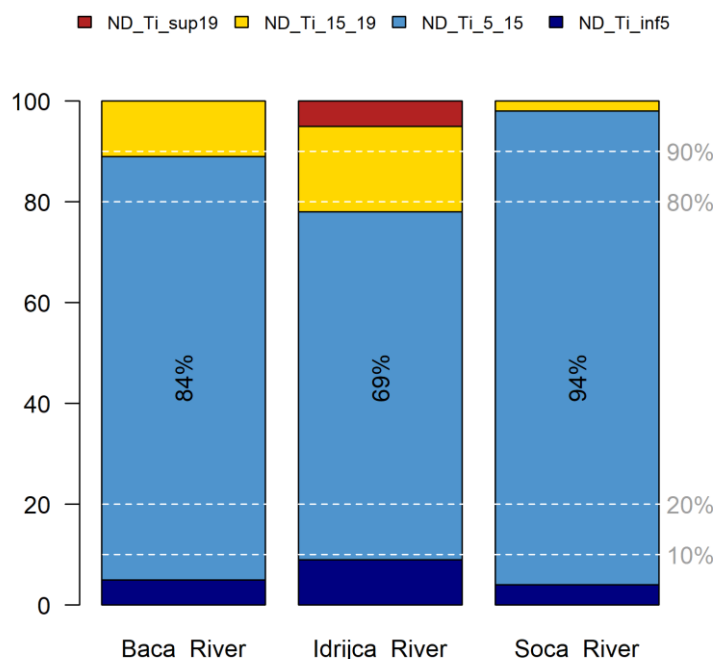


Slika 3: Delež števila ur na leto s temperaturami, porazdeljenimi med različna temperaturna območja (< 5 °C; 5–15 °C; 15–19 °C; > 19 °C). Tortni diagrami predstavljajo povprečja za vsako reko in njene pritoke, pri tem je odstotek kumulativnega časa, ko je temperatura primerna za *S. marmoratus* (5–15 °C), zabežen na tortnih diagramih.

3.2 Glavne reke (Soča, Bača in Idrijca)

3.2.1 Splošni opis toplotnega okolja

Merjenje toplotnih razmer na Soči in Idrijci poteka od jeseni 2007, na reki Bači pa od jeseni 2009. Soča je s povprečno letno temperaturo 9,4 °C najhladnejša. Prav tako je toplotna amplituda Soče razmeroma nizka; 90 % meritev od leta 2008 se giblje med 5,3 °C in 14,7 °C, kar ustreza preferenčnemu temperaturnemu območju tako za *S. marmoratus* kot za *S. trutta*. Kumulativno trajanje, ko je temperatura primerna² za obe vrsti (med 5 in 15 °C; 'ND_Ti_5_15'), je v povprečju 338 dni na leto (Slika 4).



Slika 4: Povprečni letni deleži temperaturnih območij za vsako reko. Odstotek 'ND_Ti_5_15' je zapisan s črno v stolpcih.

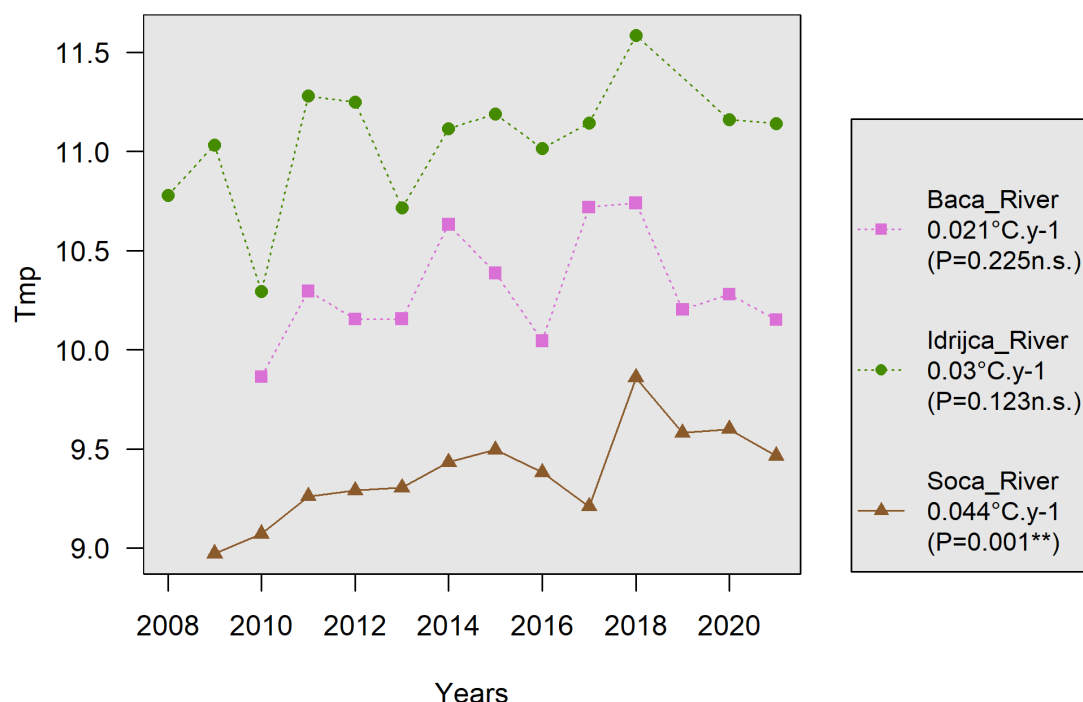
Sledi Bača s povprečno temperaturo vode 10,3 °C in nekoliko višjo amplitudo (90 % meritev med 4,9 °C in 16,4 °C). Kumulativno trajanje, ko je temperatura primerna za obe vrsti, je v povprečju 287,5 dni na leto.

Reka Idrijca ima manjši padec, širšo strugo in je daljša v primerjavi z Bačo, zato je bolj izpostavljena segrevanju. Je najtoplejša med vsemi (povprečna temperatura vode 11,1 °C) z največjo toplotno amplitudo (90 % meritev med 4 in 19,4 °C). Na Sliki 2 je jasno razvidno, da ima Idrijca najvišje srednje dnevne vrednosti, ki so poleti pogosto nad 19 °C. Zapisovalnik na Idrijci je edini v rekah, s katerim ni bila zabeležena vrednost temperature pod ali enako 0 °C. Toplotno okolje je primernejše za *S. trutta* (90 % časa) kot za *S. marmoratus*, ker je bilo 21 % meritev nad 15 °C. Kumulativno trajanje, ko je temperatura primerna za obe vrsti, je v povprečju 237,8 dni na leto. To je tudi reka z najvišjo zabeleženo temperaturo: 23,5 °C, ki sicer ostaja pod enotedenskim smrtnim pragom 25 °C za *S. trutta*, vendar nad zgornjo mejo, ko se pri vrsti že pojavi izogibanje višjim temperaturam - 20 °C. Idrijca zato predstavlja najbolj stresno toplotno okolje za *S. trutta* s 16,6 dni na leto s temperaturami nad 19 °C ('ND_Ti_sup19'), medtem ko tako visoke temperature trajajo povprečno manj kot 1 dan na leto na drugih dveh rekah. Največje opaženo kumulativno trajanje temperatur nad tem pragom je bilo 1,07 dni v Bači (leta 2010), 1,27 dni v Soči (2018) in kar 35,72 dni v Idrijci (2012).

² Toplotno okolje je ugodno za *S. marmoratus* in s tem za *S. trutta*, ki ima širši razpon tolerance, ko je temperatura med 5 in 15 °C. To ustreza tudi pogojem, ki omejujejo simptome, povezane s PKD (če je patogen prisoten). Zato menimo, da so pogoji ugodni za obe vrsti v smislu toplotnih in sanitarnih preferenc.

Letno kumulativno trajanje toplotnega stresa za *S. marmoratus* (nad 15 °C; 'ND_Ti_sup15') je v Idrijci povprečno 81,2 dni (največ 108 dni v letu 2011) in 38 dni v Bači (največ 53 dni v letu 2018), v Soči pa le 7,8 dni (v letu 2018 največ 30 dni). V obdobjih spremljanja je trajanje, ko je temperatura stalno nad 15 °C ('N_max_Ti_csh_sup15'), v Idrijci precej daljše (povprečno 37,4 dni, največ 86,6 dni v letu 2012) kot v Soči in Bači (povprečno 1,7 in 6,5 dni). V slednjih je to trajanje preseglo dva tedna samo eno leto (leta 2018), kar najverjetneje zadostuje za razvoj PKD pri šarenki (Vigier in Caudron, 2007). Idrijca torej predstavlja manj primerno toplotno okolje za *S. marmoratus* zaradi dolgotrajne izpostavljenosti temperaturam nad zgornjo tolerančno mejo (zlasti ob odsotnosti toplotnih zatočišč) in potencialno primerno okolje za razvoj bolezni, kot je PKD (ki lahko predstavlja tveganje, v primeru vnosa patogena).

3.2.2 Toplotni trendi



Slika 5: Trendi letne srednje temperature za reke (Soča, Bača in Idrijca), testirani z Mann-Kendallovim testom in ocenjeni s Senovim naklonom.

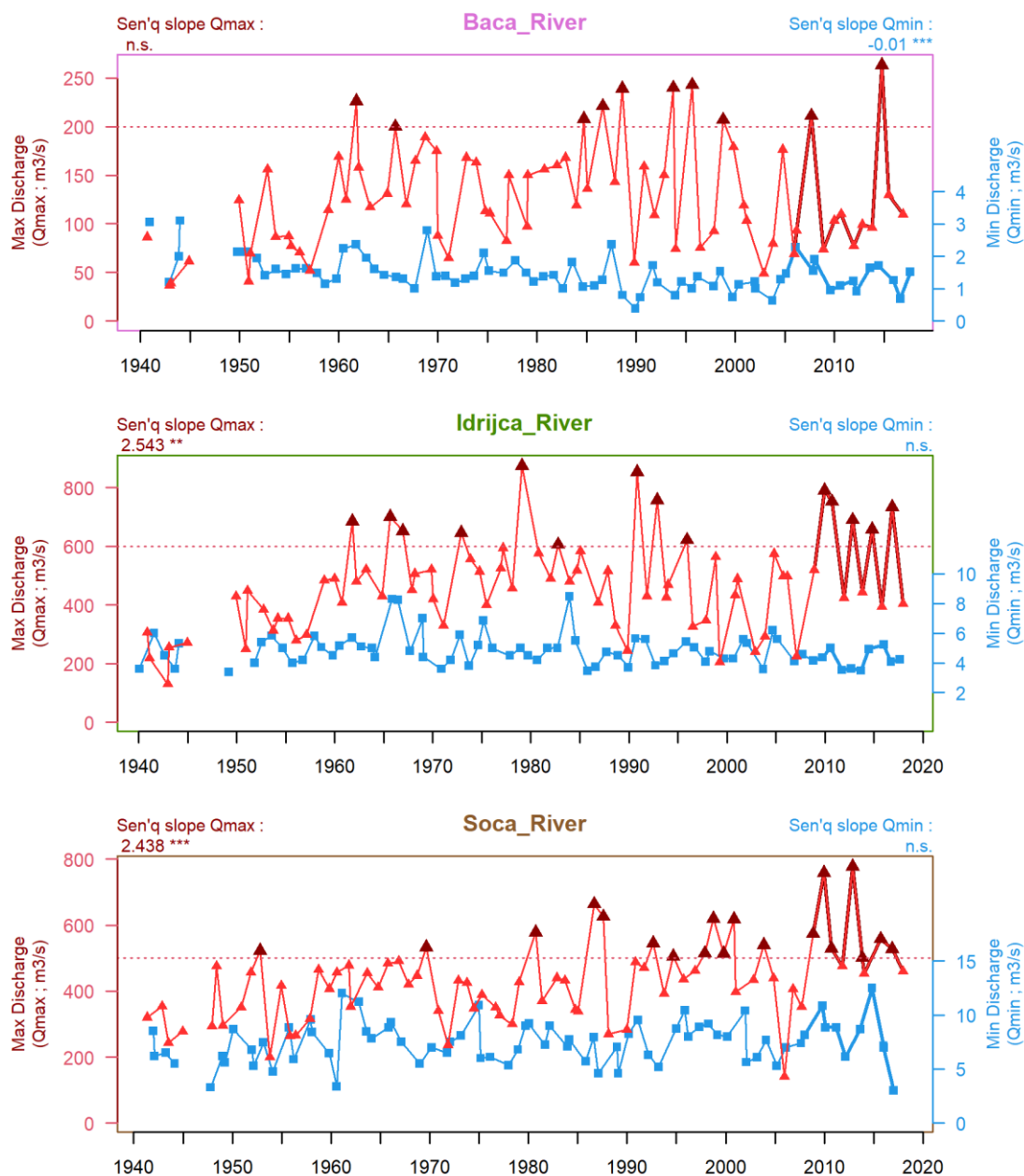
Slika 5 grafično prikazuje naraščajoče trende povprečnih letnih temperatur ('Tmp') med leti 2008 in 2020 za vse tri reke. Trend ugotovljen z Mann-Kendallovim testom ($P = 0,001$) je s povišanjem za $0,044\text{ °C}$ na leto statistično značilen samo za Sočo. Za Sočo sta pomembni tako povišanje poletnih temperatur ($0,22\text{ °C}$ na leto, $P = 0,016$) kot letnih maksimumov ('Ti_max', $0,24\text{ °C}$ na leto, $P = 0,009$). Povišanje povprečnih letnih temperatur je povezano s povečanjem števila dni s temperaturo nad 15 °C („ND_Ti_sup15“, $0,9$ dni na leto, $P = 0,032$).

Za Idrijco ni opaziti bistvenih sprememb v povprečnih temperaturah ('Tmp_spring', 'Tmp_summer', 'Tmp_fall_winter') na sezono (slika 12). Kljub temu sta zabeležena tako znatno povišanje letnih minimumov ('Ti_min', $0,15\text{ °C}$ na leto, $P = 0,016$) kot znatno zmanjšanje dolžine hladnega obdobja ('DUR_cold_inf5', $-4,67$ dni na leto, $P = 0,002$).

Za Bačo je bil ugotovljen manjši značilni dvig povprečnih poletnih temperatur ($0,05\text{ °C}$ na leto, $P = 0,1$). Opaziti je tudi znatno zmanjšanje dni na leto, in sicer za $2,34$ dni, s temperaturami pod 5 °C

($P = 0,034$, 'ND_Ti_inf5'), kar lahko izboljša primernost toplotnega okolja za rast postrvi v zimskem obdobju.

3.2.3 Pretoki rek z največjimi in najmanjšimi trendi



Slika 6: Najmanjši (Min Discharge) in največji pretoki (Max Discharge), spremljani od začetka 1940-ih v treh rekah (ARSO, 2019). Črtna vodoravna črta ustreza morfogenemu poplavnemu toku (A. Crivelli; osebna korespondenca.). Za vsak niz podatkov je podan Senov naklon (Sen's slope Qmax/Qmin) glede na Mann-Kendallov test. Odebeljene črte prikazujejo obdobje spremljanja temperatur v rekah.

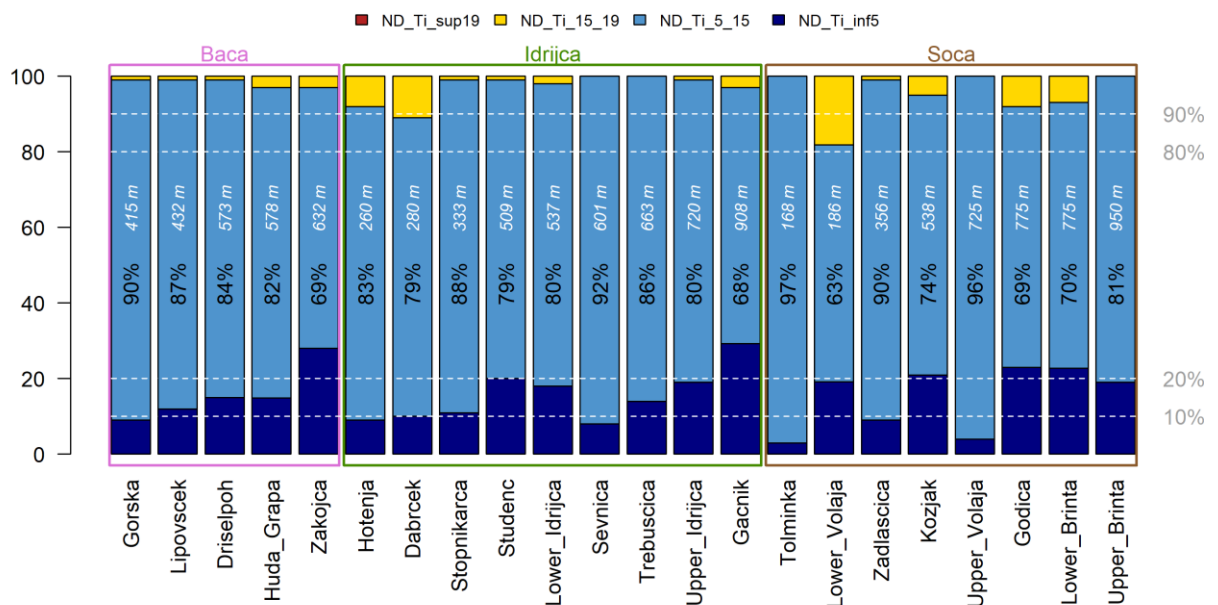
Največji pretoki kažejo značilno naraščajoči trend za Idrijco in še posebej za Sočo, kjer visoke konice pretokov v zadnjem obdobju skoraj sistematično presegajo $500 \text{ m}^3/\text{s}$. To je mogoče pojasniti s povečanjem padavin v obliki dežja namesto snega in zgodnejšemu taljenjem snega (zlasti v porečju Soče), kar je tudi skladno s hipotezo o prehodu k bolj dežnemu (pluvialnemu) rečnemu režimu (Kolbezen in Pristov, 1998; EEA, 2009). Nizki pretoki ne kažejo značilnega trenda, rahel padajoči trend izkazuje le Bača. Čeprav so trendi še vedno precej rahli, je mogoče skozi časovne nize podatkov opaziti premikanje k bolj vlažnim zimam in bolj suhim poletjem.

3.3 Pritoki

3.3.1 Splošni opis toplotnega okolja in primernost habitatov

Povprečna letna temperatura (T_{mp}) pritokov, ki so večinoma v povirnih delih, se giblje med 7,6 °C (Gačnik) in 10,2 °C (Dabrček). Najvišje letne temperature (T_{i_max}), spremljanje v pritokih, so v povprečju 16,3 °C in se gibljejo med 12,4 °C (Trebušnica) in 18,95 °C (Gačnik). Povprečje 'T_{i_max}' v letih spremljanja je pod 19 °C za večino pritokov; izjema je le Spodnja Volarja z 19,8°C, ki pravzaprav ustreza nižinskemu vodotoku. Stresne toplotne razmere za *S. trutta* so zato v teh pritokih redke. Kumulativno število ur s temperaturo nad 19 °C ('ND_Ti_sup19') je za vsako lokacijo v povprečju vedno manjše kot 1 dan, razen za Spodnja Volarjo (povprečno 1,7 dni, do 8,4 dni v 2018).

Toplotno okolje za rast postrvi je večinoma primerno v vseh pritokih, zlasti v Tolminki, Zgornji Volarji, Sevnici in Zadlaščici s temperaturnim območjem pod 15 °C več kot 90 % časa (glej 'ND_Ti_5_15' v slika 7). Spodnja Volarja kaže ekstremno toplotno obnašanje z najmanjšim deležem izmerjene temperature med 5 in 15 °C, kar je povezano z relativno visokimi deleži meritev tako pod 5 °C ('ND_Ti_inf5'; 18,3 %) kot nad 15 °C (18,2 %, Slika 2 in Slika 7).



Slika 7: Povprečni letni deleži temperaturnih območij za pritoke. Pritoki so razvrščeni po porečju in naraščajoči nadmorski višini (od leve proti desni). Odstotek 'ND_Ti_5_15' je napisan s črno v stolpcih; nadmorska višina mesta meritev je označena z belo.

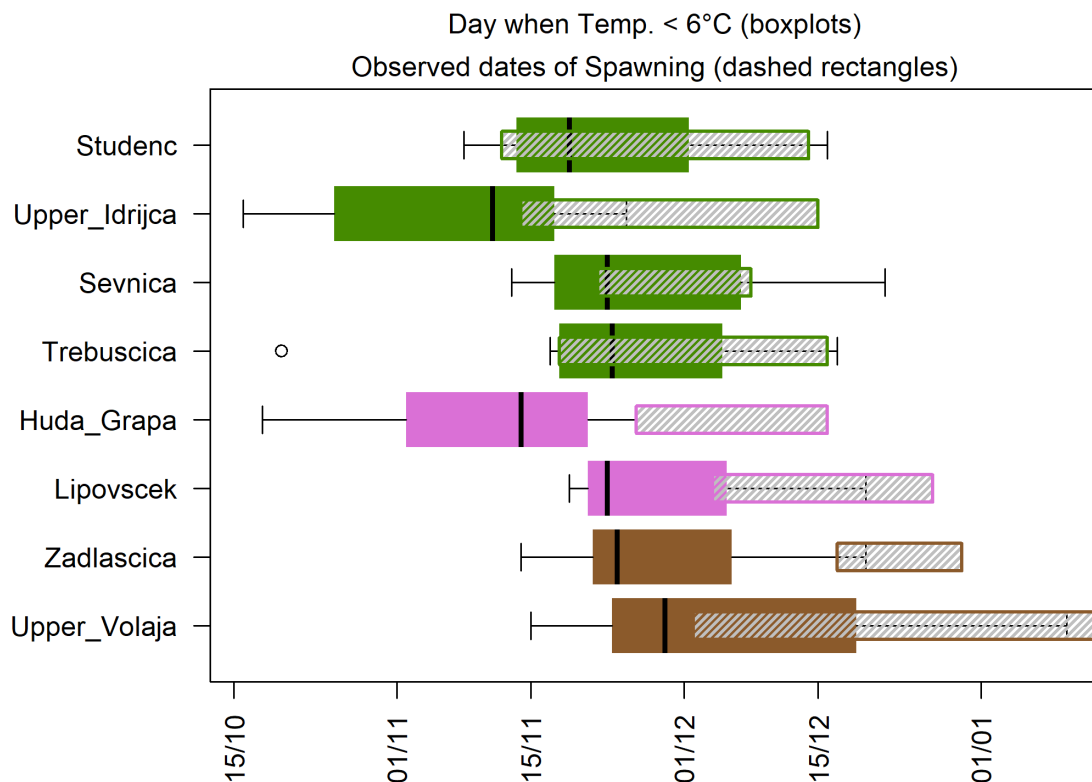
Kljub visoki nadmorski višini ima Gačnik močna nihanja temperature vode med poletji, ki so včasih lahko zelo vroča (zlasti v letu 2018), in zimami, ki so pogosto zelo mrzle. Znano je, da so majhni, plitvi in izpostavljeni vodotoki bolj občutljivi na atmosferske vplive kot večji, globlji in osenčeni (Torgersen in sod., 2001; Zwieniecki in Newton, 1999). Gačnik leži na položnem visokogorju in se napaja iz izvirov, ki imajo včasih nizek pretok. Zaradi nizkih pretokov in hitrosti je zato izpostavljen močnemu ohlajanju pozimi in močnemu segrevanju poleti. Zaradi odsotnosti obrežne vegetacije na velikem delu struge je prav tako bolj izpostavljen soncu, kar poveča poletno segrevanje vode (Johnson, 2004). Tolminka in Zgornja Volarja imata med letnimi časi bolj konstantno temperaturo. To je predvsem pri Tolminki posledica močnega pretoka skozi vse leto. Nizke temperature ohranja tudi v poletnem času, poleg tega ima velik padec in je v večjem delu svojega toka malo izpostavljena direktnemu sončnemu sevanju. Zgornja Volarja, katere padec je še večji, pa pozimi ohranja relativno hladne temperature (Slika 2).

V večini pritokov so zaskrbljujoče temperature nad zgornjo tolerančno mejo za *S. marmoratus* (15 °C) in za potencialni razvoj PKD (v primeru vnosa patogena). Zaenkrat je kumulativno trajanje teh obdobij še razmeroma kratko: od povprečno 16,8 dni za Kozjak do 66,5 dni za Spodnjo Volarjo. Samo za dve lokaciji, Trebuščica in Zgornja Volarja nismo izmerili temperatur nad 15°C (na Sliki 12 v beli barvi). Trajanje obdobij, ko je temperatura stalno nad 15 °C ('N_max_Ti_csh_sup15'), presega dva tedna, za vsaj tri leta spremljanja, le na dveh lokacijah, Zakojška grapa in Spodnja Volarja.

3.3.2 Razmnoževanje in drst

Datumi drsti *S. marmoratus* opaženi na terenu med leti 2005 in 2012, so prikazani na sliki 8 kot šrafirani pravokotniki. Segajo od začetka novembra do začetka januarja in se razlikujejo med pritoki in porečji. Na istem grafu je prikazana porazdelitev dni v letih na lokacijah spremljanja, ko temperatura pade pod 6 °C („D_SpawnSma_inf6“).

Teoretično se drst začne vsaj z dnevom 'D_SpawnSma_inf6', vendar je bila zakasnitev sistematično opažena v pritokih Huda grapa, Lipovšček ali Zadlaščica. Dnevi 'D_SpawnSma_inf6' in opažen začetni dan drsti so bili najkasnejši in najbolj spremenljivi za Zgornjo Volarjo. Dan »D_SpawnSma_inf6« (tukaj ocenjen na podlagi meritev temperature ene same točke v pritokih) sam po sebi morda ne zadostuje za natančno razlago začetka drsti, vendar pomaga ugotoviti, kdaj se drst lahko prične.



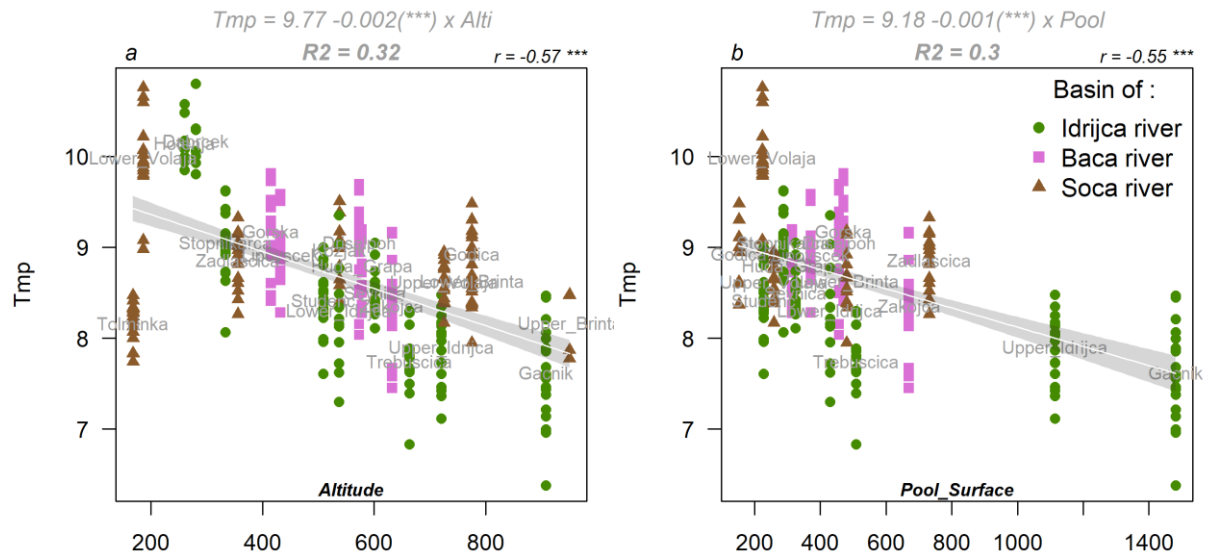
Slika 8: Porazdelitev datumov drsti za *S. marmoratus* in *S. trutta*; opaženi datumi med leti 2005 in 2012 so prikazani s šrafiranimi pravokotniki (dashed rectangles). Ocenjeni datumi glede na dan prehoda temperature pod 6 °C ('D_SpawnSma_inf6') v istem obdobju (2005 do 2012) pa so prikazani z okvirji z ročaji (boxplots).

Na nekaterih lokacijah metrika 'D_SpawnSma_inf6' že izrazito nakazuje poznejši začetek drsti (Gorska grapa, Huda grapa, Zakojška grapa, Sevnica, Zgornja Volarja, Zgornja in Spodnja Idrijca, Zadlaščica in reka Bača, Slika 12). Zato je mogoče pričakovati, da se bo dejanski začetek drsti na teh mestih sčasoma zamaknil.

3.4 Prostorske spremembe

3.4.1 Nadmorska višina kot pomemben dejavnik toplotnega okolja

Na splošno se povprečna letna temperatura pritokov ('T_{mp}') znižuje z nadmorsko višino mesta spremljanja (Pearsonov korelacijski koeficient = -0,57; Slika 9a). Tolminka v porečju Soče leži na nizki nadmorski višini in ima nižje povprečne temperature kot ostali pritoki, kar kaže na vpliv dodatnih dejavnikov, značilnih za to porečje (npr. taljenje snega v zaledju). Medtem ko v porečjih Bače in Idrijce število izmerjenih nizkih temperatur ('ND_Ti_inf5') narašča z nadmorsko višino, kar pa ne velja za porečje Soče (Slika 7). Rezultati namreč kažejo, da na nihanja temperature vode lahko vpliva več dejavnikov.



Slika 9: Graf letne srednje temperature za vsak pritok in leto spremljanja v odvisnosti od: a) nadmorske višine (m) in b) skupne površine tolmunov (m²). Koeficienti linearne regresije so podani v sivi barvi nad grafoma z R². Pearsonov korelacijski koeficient (r) je označen s črno.

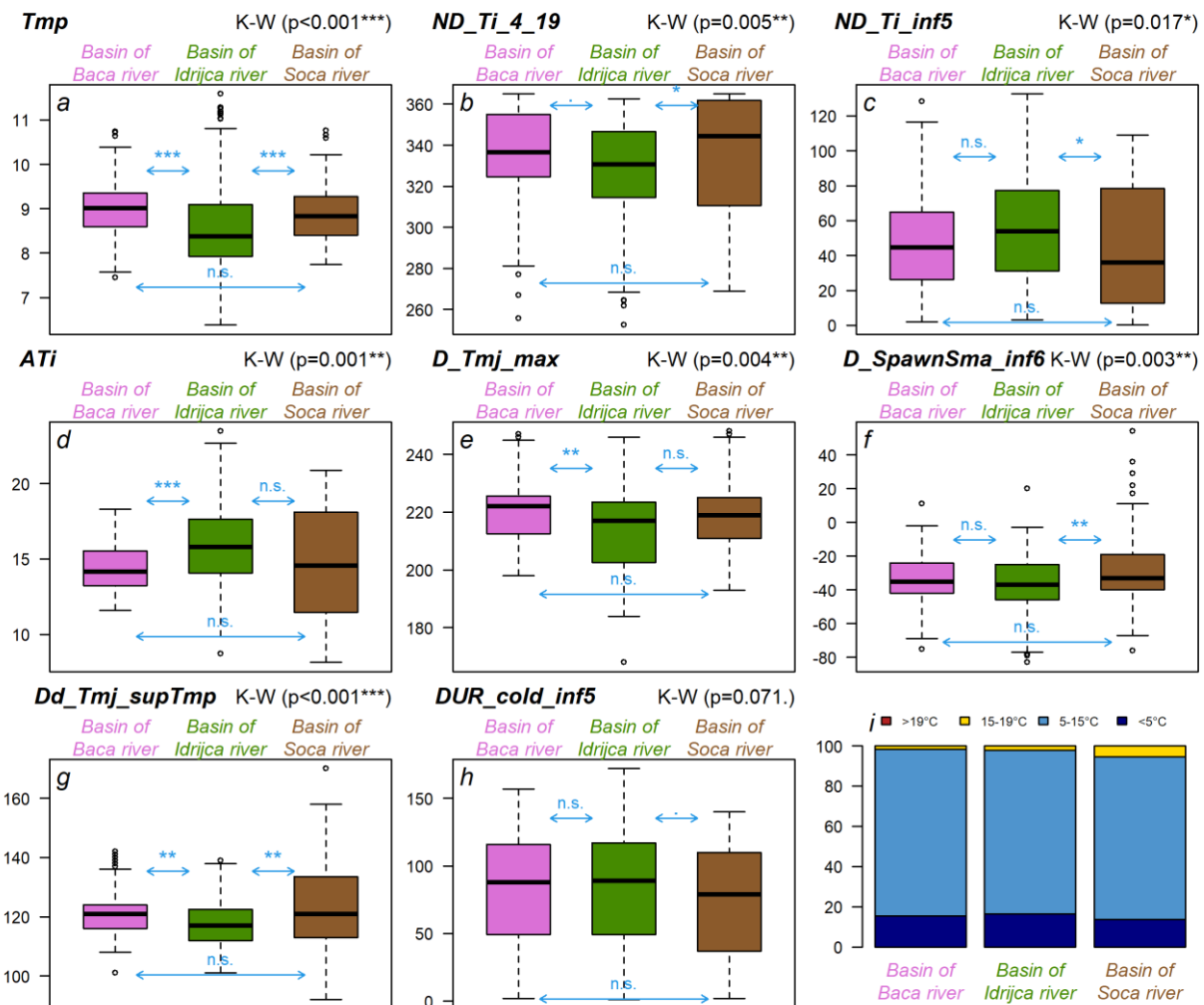
Dodatna ugotovitev, ki je mogoče zanimiva, vendar jo je treba previdno interpretirati zaradi številnih možnih interakcij med dejavniki, ki vplivajo na toplotno okolje, je: skupna površina tolmunov v opazovanih odsekih pritokov je negativno povezana s povprečnimi temperaturami (Slika 9b) in ni v korelaciji z nadmorsko višino (Kendallov tau = 0,21; P = 0,23). Prisotnost tolmunov pomeni prisotnost globljih delov v strugi, kjer lahko temperatura ostane nižja, zlasti če so tolmini v senci. Na splošno velja to za pritoke v globljih dolinah, kjer prevladujejo gozdovi. Izjema je na primer Zadlaščica, kjer so tolmini precej izpostavljeni soncu. Povprečna temperatura ('T_{mp}') Zadlaščice je višja glede na površino tolmunov, vsaj v primerjavi z drugimi pritoki (točke nad regresijsko črto, Slika 9b).

3.4.2 Primerjava toplotnih razmer pritokov med porečji

Na splošno je raznolikost toplotnih razmer pritokov v treh porečjih podobna. Kljub temu so bile ugotovljene nekatere statistično značilne razlike (Slika 10).

Pritoki v porečju Idrijce imajo v povprečju nižje temperature kot v drugih dveh porečjih (Slika 10a). V porečju Idrijce imajo pritoki več dni temperaturo pod 5 °C kot tisti v porečju Soče (slika 10c) in trajanje hladnega obdobja je v porečju Idrijce običajno daljše kot v porečju Soče (vendar post-hoc test ni značilen na ravni 5 %; Slika 10h). Toplotna amplituda je bistveno višja v pritokih porečja Idrijce kot v porečju Bače (Slika 10d). Dan prehoda temperature pod prag 6 °C ('D_SpawnSma_inf6') se v pritokih porečja Idrijce zgodi prej kot v porečju Soče (Slika 10f). Prvi dan, ko v zglajeni krivulji

temperatura preseže letno povprečno temperaturo, je v pritokih porečja Idrijce zgodnejši (Slika 10g) in toplotni vrh nastopi prej kot v pritokih Bače (Slika 10e).



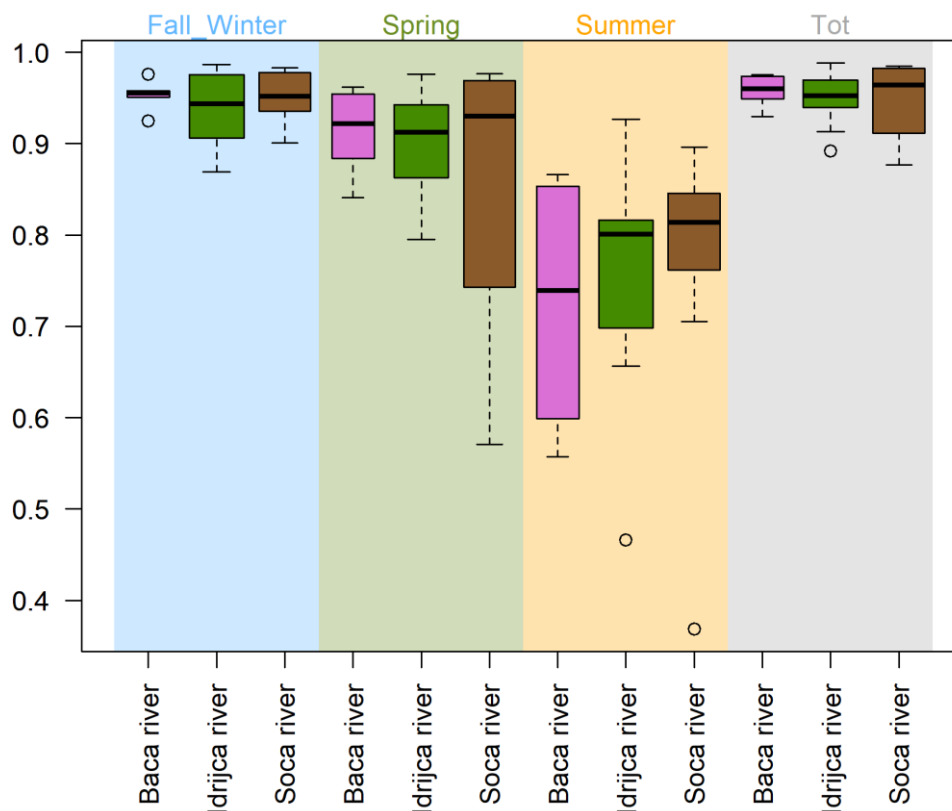
Slika 10: (a–h) okvirji z ročaji za 8 metrik, izračunanih na leto in pritoke, ki so združeni v porečja. Kruskal-Wallisov test (p -vrednosti so navedene v črni barvi; K-W) in Tukeyjev neparametrični post-hoc test (prikaz s puščicami in statistična značilnost je navedena v modri barvi; $p < 0,001$, *** ; $p [0,001; 0,01]$, ** ; $p [0,01; 0,05]$, * ; $p [0,05; 0,1]$, $^{\circ}$; $p > 0,1$, 'n.s.'-ni statistično značilno). Povprečni deleži različnih temperaturnih območij med vsemi pritoki na porečje so prikazani na zadnjem črtnem grafu.

Temperature ostajajo zelo primerne za obe vrsti postrvi v vseh treh porečjih. Povprečni deleži temperaturnih območij so med pritoki res zelo podobni in še posebej primerni za *S. marmoratus* (visok delež temperaturnega območja 5–15 °C; slika 10h). Pritoki v porečju Idrijce imajo v povprečju manj dni ugodno temperaturo za *S. trutta* (Slika 10b), vendar so bile s post hoc testi ugotovljene razlike značilne le v primerjavi s pritoki Soče. Opozoriti je treba, da so na večini teh lokacij Soče prisotni le križanci postrvi (*S. marmoratus* x *S. trutta*), razen v Zgornji Volarji, kjer je bila najdena edina genetsko čista populacija *S. trutta* (Berrebi in sod., 2000, tabela 1).

3.4.3 Regionalna skladnost

Regionalna skladnost med časovnimi nizi povprečnih dnevni temperatur je ocenjena s kvadratom korelacijskega koeficienta (r^2) med vsako lokacijo in povprečjem drugih lokacij (Hari in sod., 2006). Visoka vrednost kaže na skladnost med temperaturnimi spremembami posamezne obravnavane lokacije in tistimi na ostalih 24 lokacijah. Dejavnike, ki vplivajo na temperaturo vodotokov, je mogoče obravnavati kot homogene na regionalni ravni.

Za vsako lokacijo so bile izračunane štiri korelacije na podlagi niza realno izmerjenih temperatur (Ti) v celotnem časovnem obdobju merjenja ('Tot') ali izbrane na podlagi časovnih nizov, ki ustrezajo obdobjem jesen – zima, pomlad ali poletje. Porazdelitev kvadratov teh koeficientov je predstavljena po sezoni in porečju (Slika 11). Glede na visoke r^2 za skupna dnevna povprečja v treh porečjih, se kaže regionalna skladnost temperaturnih nihanj in zato verjetno na splošno prevladujoč podnebni vpliv.



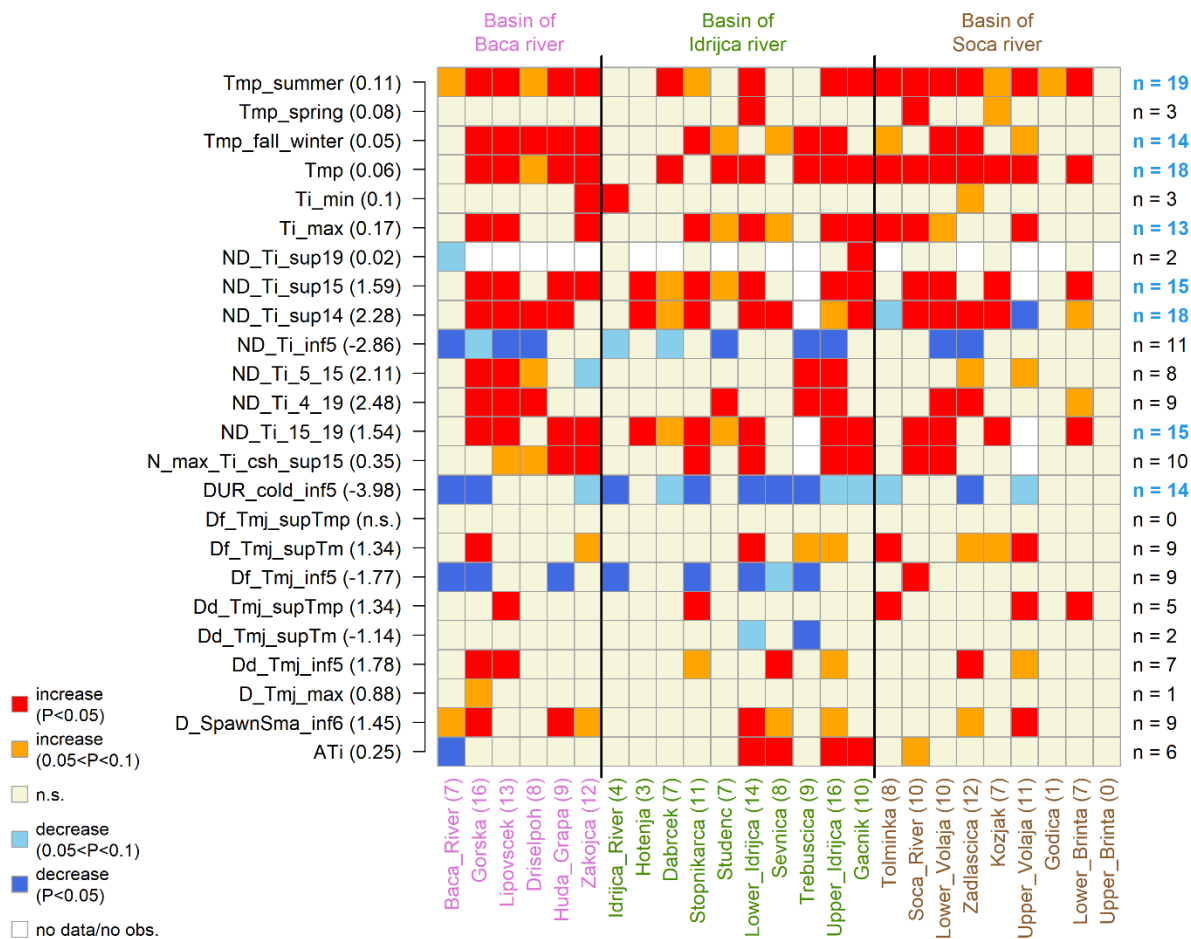
Slika 11: Regionalna skladnost: r^2 med časovnim nizom temperatur posamezne lokacije in povprečjem ostalih lokacij.

Najnižje r^2 se za tri porečja opazi poleti. Pretoki so takrat v splošnem nižji in temperature vode so bolj izpostavljene lokalnim pogojem (npr. senčenje, vrsta substrata, naklon, raba tal); regionalna skladnost je tako delno prikrita z lokalnimi pogoji. Spomladi se lahko nekateri pritoki v porečju Soče, kjer so vrhovi najvišji, še napajajo z vodo, ki je posledica taljenja snega. Temperatura vode je zato nižja v primerjavi z drugimi pritoki, kar lahko pojasni ugotovljen nizek r^2 .

3.5 Časovna raznolikost

3.5.1 Analiza trendov

Medletni trendi metrik glede na lokacijo so bili analizirani z uporabo neparametričnega Mann-Kendallovega testa (Esterby, 1996; Hirsch in sod., 1982; Webb, 1996). Statistično značilni trendi so bili nadalje ocenjeni z uporabo Senovega naklona. Senov naklon predstavlja mediano naklonov izračunano iz vseh opazovanj (Arismendi in sod., 2013; Sen, 1968). Rezultati analize trendov so za vse izračunane meritve povzeti na Sliki 12. Statistično značilni trendi so bili ugotovljeni za vsaj polovico lokacij za skupno 8 metrik.



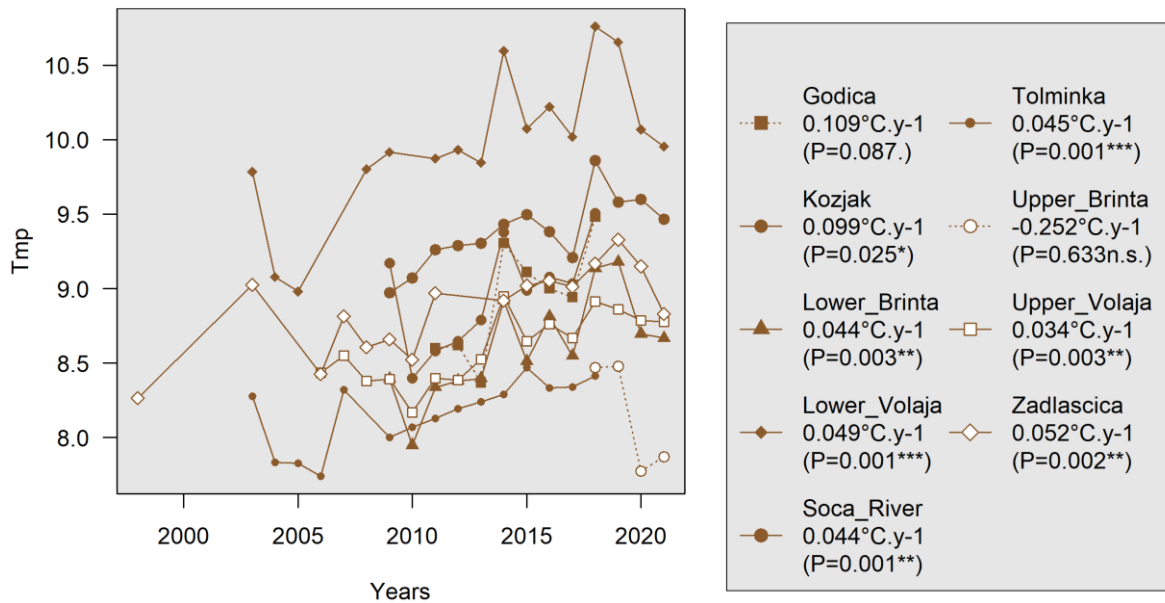
Slika 12: Rezultati testov za ugotavljanje trendov (Mann-Kendallov test in Senov naklon) za vse metrike. Statistično značilni trendi ugotovljeni z Mann-Kendallovim testom so predstavljeni z obarvanimi kvadrati. S Senovim naklonom ocenjen naraščajoči trend je označen z oranžno (0,05<P<0,1) ali rdečo barvo (P<0,05), padajoči trend pa s svetlo modro (0,05<P<0,1) ali temno modro (P<0,05). Trendi, ki niso statistično značilni so obarvani s svetlo zeleno, beli kvadrati pa predstavljajo polja brez podatkov. Število metrik, ki za vsako lokacijo prikazujejo vsaj statistično značilnost na meji, je navedeno v oklepaju za imenom lokacije. Število lokacij, kjer metrike kažejo vsaj statistično značilnost na meji, je navedeno na robu polja s kvadrati na desni. Povprečni Senov naklon (lokacije, kjer Mann-Kendallov test kaže vsaj statistično značilnost na meji) je za vsako metriko naveden v oklepaju.

Poudarjene so naslednje glavne ugotovitve:

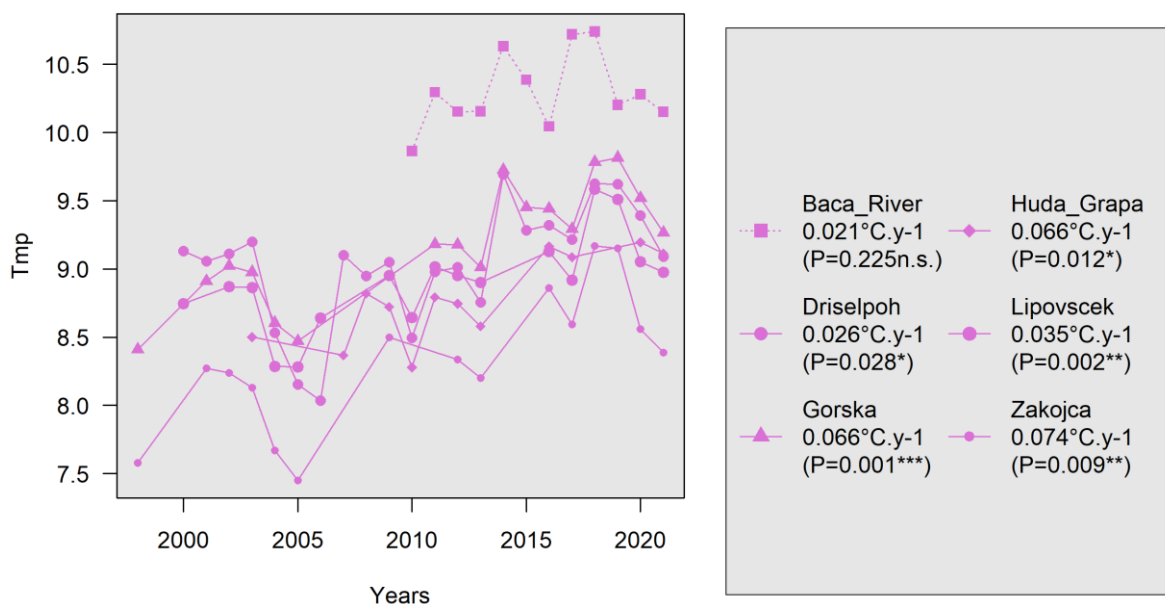
- Povprečne letne temperature ('Tmj') so se v povprečju zvišale za 0,04 °C na leto (od 0,02 °C do 0,13 °C na leto za Studenc in Dabreck).
- Povprečne temperature v obdobju jesen – zima ('Tmj_fall_winter') so se v povprečju zvišale za 0,05 °C na leto (od 0,04 °C na leto za Lipovšček, Driselph in Zgornjo Idrijco do 0,08 °C na leto za Gorsko grapo).
- Povprečne poletne temperature ('Tmj_summer') so se v povprečju zvišale za 0,11 °C na leto (od 0,06 do 0,22 °C na leto za Zgornjo Volarjo oziroma Spodnjo Idrijco).
- Najvišje temperature ('Ti_max') so se v povprečju zvišale za 0,17 °C na leto (od 0,09 °C do 0,41 °C na leto za Stopnikarco oziroma Gačnik).
- Kumulativno število ur s temperaturo nad 15 °C se je v povprečju povečalo za 1,59 dni na leto ('ND_Ti_sup15', od 0,21 dni do 3,54 dni na leto za Lipovšček oziroma Hotenjo).
- Trendi se značilno zmanjšujejo za vsaj polovico spremljanih lokacij samo za eno metriko: hladno obdobje s temperaturami pod 5 °C ('DUR_cold_inf5'; od -2,5 dni do -8,5 dni na leto za Gačnik oziroma Bačo). Krajšanje tega obdobja je mogoče razložiti s kasnejšim znižanjem

temperatur pod prag 5 °C pozno jeseni ali zgodaj pozimi (tj. datum začetka hladnega obdobja; 'Dd_Tmj_inf5'), ali z zgodnejšim dvigom temperatur nad ta prag pozno pozimi ali zgodaj spomladi (tj. končni datum hladnega obdobja; 'Df_Tmj_inf5'), ali z obema dogodkoma skupaj (npr. v Gorski grapi, Stopnikarci, Sevnici, kjer kažeta trend naraščanja 'Dd_Tmj_inf5' in trend padanja 'Df_Tmj_inf5' statistično značilnost na meji).

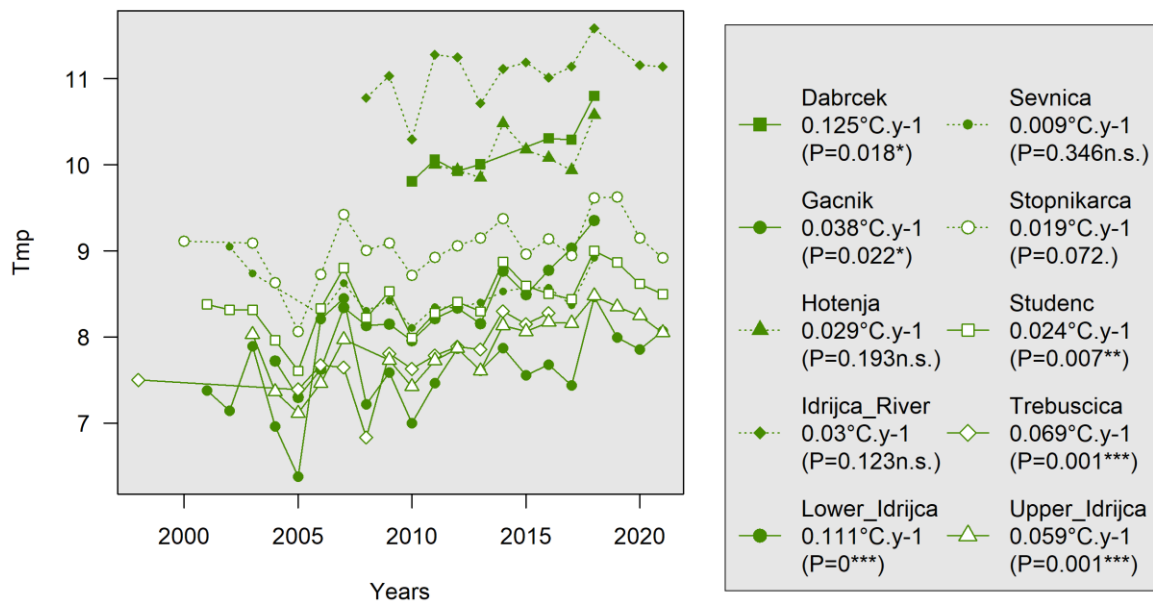
Dvig povprečnih temperatur na opazovanih lokacijah je kvantitativno primerljiv s podatki v literaturi (npr. Basarin in sod., 2016; Bonacci in sod., 2008; Orr in sod., 2015; Webb in Nobilis, 2007). Poleg tega so opaženi sezonski premiki, skladni z zgodnejšim spomladanskim segrevanjem in zvišanjem poletnih temperatur, ki so bili dokumentirani že drugje (Arora in sod., 2016; Markovic in sod., 2013). Naslednje tri slike podrobno prikazujejo spremembe povprečnih temperatur za vse lokacije, razvrščene po porečjih.



Slika 13: Spreminjanje povprečne letne temperature na vseh lokacijah porečja Soče. Za podrobnosti legende glejte Sliko 5. Za razlago statistične značilnosti glej Sliko 10.



Slika 14: Spreminjanje povprečne letne temperature na vseh lokacijah porečja Bače. Za podrobnosti legende glejte Sliko 5. Za razlago statistične značilnosti glej Sliko 10.



Slika 15: Spreminjanje povprečne letne temperature na vseh lokacijah porečja Idrijce. Za podrobnosti legende glejte Sliko 5. Za razlago statistične značilnosti glej Sliko 10.

3.5.2 »Zgodaj« ali »pozno«

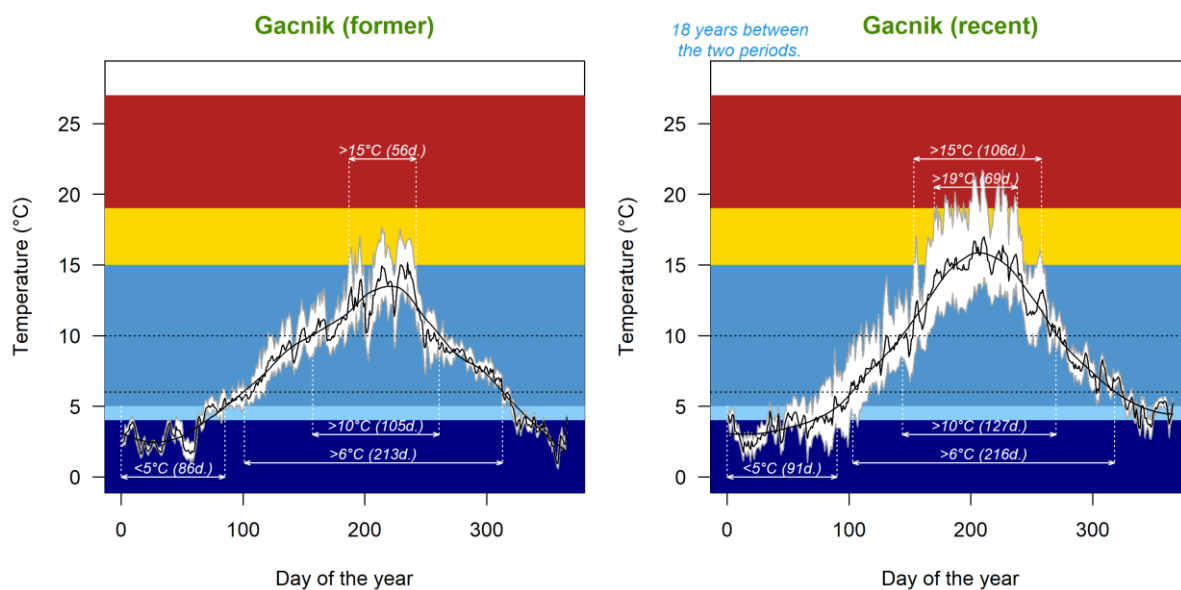
Dan, ko je temperatura padla pod 6 °C (pričakovan sprožitelj drsti *S. marmoratus*), je na 9 lokacijah v jesensko-zimskem obdobju nastopil pozneje („D_SpawnSma_inf6“; slika 12). Prvi dan hladnega obdobja ('Dd_Tmj_inf5') je bil ugotovljen značilno pozneje za 7 lokacij, medtem ko je bil zadnji dan hladne sezone ('Df_Tmj_inf5') na 8 lokacijah opažen nekoliko prej.

Zdi se, da so ti zamiki povezani s splošnim zvišanjem temperatur vode in ne s podaljšanjem toplega obdobja. Dan, ko se je temperatura spustila pod povprečno letno temperaturo ('Df_Tmj_supTm'), dejansko ne kaže značilnih sprememb na nobeni lokaciji, vendar pa dan prehoda temperature pod referenčno temperaturo (povprečje vseh temperatur lokacij) znatno narašča za 9 lokacij ('Df_Tmj_supTm'). Dan, ko v zglajeni krivulji temperatura preseže letno povprečno temperaturo ('Dd_Tmj_supTm'), nastopi prej na 2 lokacijah, kar je skladno s splošnim zvišanjem skupnih temperatur (vendar tega ni mogoče posplošiti zaradi majhnega števila spremljanih lokacij). Nasprotno, pa 'Dd_Tmj_supTm' vse bolj zamuja na 5 lokacijah, predvsem v porečju Soče. V tem primeru je to skladno s hipotezo o dolgotrajnem vplivu napajanja teh vodotokov s taljenjem snega (hladna voda).

3.6 Nekaj konkretnih primerov

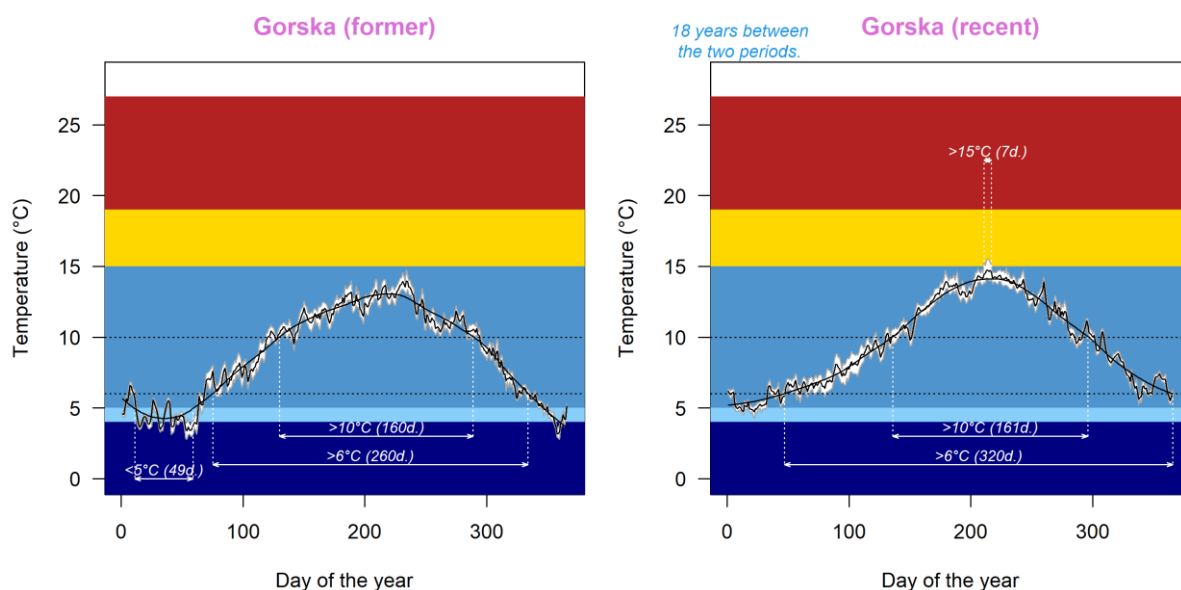
Kot primer so podane temperature, izmerjene na začetku in koncu spremljanja za tri lokacije³: Gačnik (porečje Idrijce), Gorska grapa (porečje Bače) in Spodnja Brinta (porečje Soče). Vse te lokacije ustrezajo majhnim pritokom z nizkimi pretoki in vodostaji. Medtem ko ima Gačnik majhen padec in je lociran na visoki planoti ter je razmeroma izpostavljen soncu, ima Gorska grapa velik padec in je zaščiten pred soncem z gosto vegetacijo. Spodnja Brinta je v primerjavi s Gorsko grapo precej odprta in z manjšim padcem.

³ Grafi za vse lokacije so v Prilogi 3.



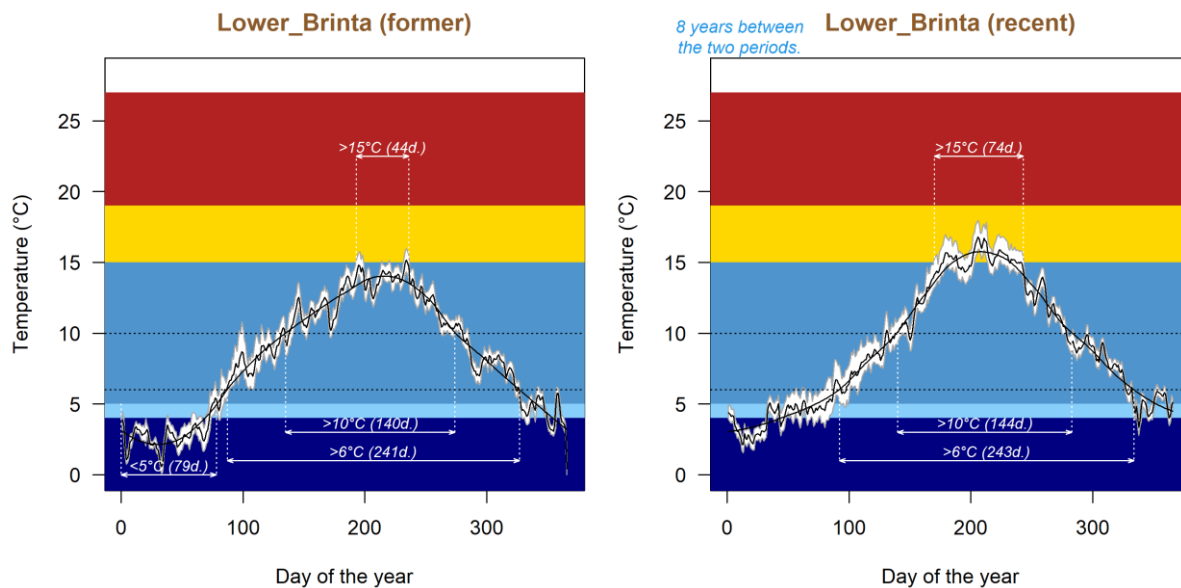
Slika 16: Slika prikazuje temperaturo (Temperature) v odvisnosti od dneva v letu (Day of the year) in sicer je prikazana primerjava med temperaturami prvih 4 (1998–2001; Gačnik former) in zadnjih 4 let (2018–2021; Gačnik recent) spremljanja za Gačnik (porečje Idrije). Časovni obdobji spremljanja sta 18 let narazen (18 years between the two periods). V beli barvi so označeni razponi dnevnih vrednosti temperatur za obravnavano obdobje. V črni barvi pa povprečje dnevnih temperatur v tem obdobju (in zglajena trimesečna krivulja za določitev dni prehoda temperaturnih pragov). Število dni pod pragom 5 °C ter nad pragoma 6 in 10 °C je izračunano iz zglajene krivulje. Število dni nad 15 in 19 °C je izračunano od prvega in zadnjega dne, ko je bila opažena temperatura nad tema pragovoma.

Spremembe za Gačnik vključujejo: majhno značilnost skrajšanja trajanja hladnega obdobja ('DUR_cold_inf5'; slika 12) z, v splošnem, visokimi temperaturami ob koncu leta v zadnjih 4 letih spremljanja. Poleg tega je mogoče opaziti dvig tako povprečnih (splošen dvig zglajene krivulje) kot tudi maksimalnih temperatur (prehod praga 19 °C in daljše trajanje nad pragom 15 °C v zadnjih 4 letih spremljanja). Ribe (v konkretnem primeru *S. marmoratus*) so lahko tako zaradi višjih poletnih temperatur pogosteje izpostavljene fiziološkemu stresu, tako po trajanju in intenzivnosti, še posebej, če nimajo dostopnih toplotnih zatočišč.



Slika 17: Slika prikazuje temperaturo (Temperature) v odvisnosti od dneva v letu (Day of the year) in sicer je prikazana primerjava med temperaturami prvih 4 (Gorska former) in zadnjih 4 let (Gorska recent) spremljanja za Gorsko grapo (porečje Bače). Časovni obdobji spremljanja sta 18 let narazen (18 years between the two periods).

Kar zadeva Gorsko grapo, je potek temperatur skladen z Gačnikom, vendar temperature v zadnjih 4 letih spremljanja ostajajo primerne za obe vrsti (čeprav se pojavlja nekaj redkih stresnih razmer za *S. marmoratus*). Opaziti je tudi izginjanje hladnega obdobja zaradi dviga nizkih temperatur.



Slika 18: Slika prikazuje temperaturo (Temperature) v odvisnosti od dneva v letu (Day of the year) in sicer je prikazana primerjava med temperaturami prvih 4 (Lower Brinta former) in zadnjih 4 (Lower Brinta recent) let spremljanja za Spodnjo Brinto (porečje Soče). Časovni obdobji spremljanja sta 8 let narazen (8 years between the two periods).

Spremembe za Spodnjo Brinto kažejo zmanjšanje intenzivnosti, ne pa tudi trajanja hladnega obdobja in splošni dvig temperatur s povprečnimi temperaturami, ki presegajo prag 15 °C, ter daljše trajanje nad tem pragom. V tem primeru lahko opazimo, da obe 4 letni časovni obdobji spremljanja loči le 8 let, medtem ko sta bili pri prejšnjih dveh lokacijah ti dve obdobji 18 let narazen. Potek sprememb v Spodnji Brinti je bil zato relativno hiter.

Za vse druge lokacije je število dni nad pragovi 6, 10 in 15 °C v zadnjem 4-letnem časovnem obdobju spremljanja znatno večje kot v prejšnjem časovnem obdobju spremljanja (Wilcoxonov test) in le malo značilno za prag 19 °C.

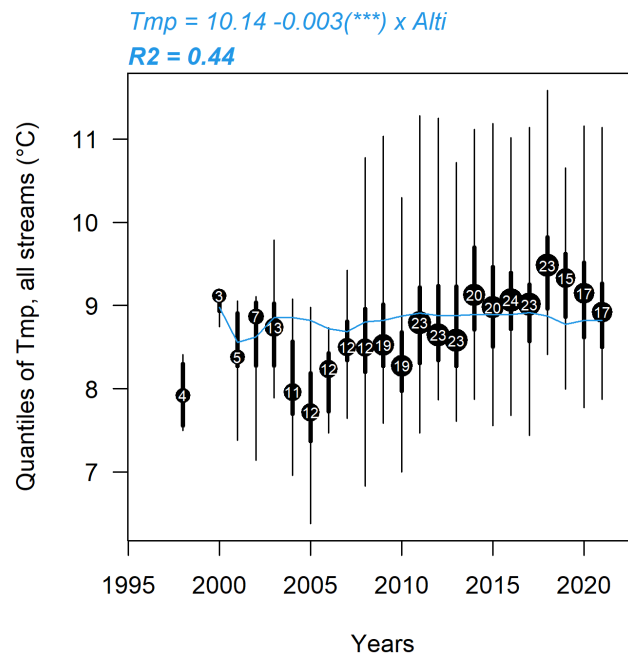
4 Razprava

4.1 Prostorsko-časovne spremembe temperature vode

Izvedba raziskave na več lokacijah nam je omogočila posplošitev ugotovljenih procesov. Pri tem značilni trendi za več kot polovico spremljanih vodotokov (Slika 12) kažejo na splošno zvišanje temperatur vode v celotnem Zgornjem Posočju. To zvišanje temperatur je povzeto v petih glavnih točkah:

1. Letna povprečna temperatura ('T_{mp}') se je znatno zvišala za večino lokacij.
2. Hladno obdobje se je skrajšalo (zmanjšanje dni 'DUR_cold_inf5') in je manj pogosto (zmanjšanje dni 'ND_Ti_inf5').
3. Ekstremno visoke temperature so vse pogostejše ('Ti_max').
4. Zvišanje temperatur je dvakrat hitrejše poleti ('T_{mp_summer}', povprečno 0,11 °C na leto) kot v obdobju jesen – zima (0,05 °C na leto) ali kot medletno (0,06 °C na leto). Le na nekaj lokacijah smo ugotovili znatno povišanje spomladanskih temperatur.
5. Obdobje s temperaturo med 15 in 19 °C, nad zgornjo mejo za odrasle *S. marmoratus*, je vse pogostejše (zvišanje 'ND_Ti_15_19').

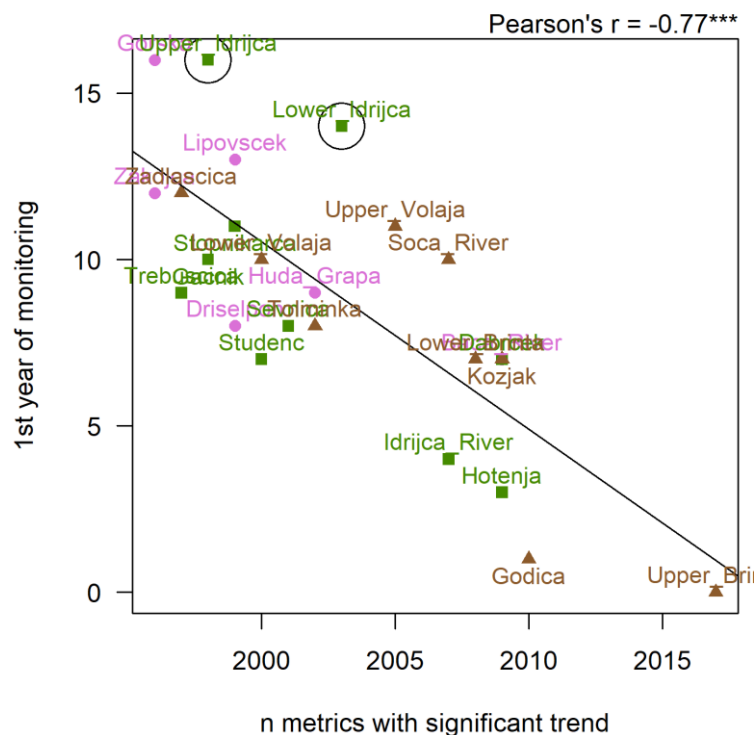
Potek povprečnih letnih temperatur ('T_{mp}') za vse lokacije na Sliki 19 povzema splošno opaženo zvišanje temperature vode. Pred letom 2003 je bilo število spremljanih lokacij razmeroma majhno, zato razmerje med 'T_{mp}' in časom ni najbolj relevantno. Od leta 2003 do leta 2008 je bilo spremljanih 12 lokacij, nato pa skoraj dvakrat toliko. To podaja boljši pregled regionalnega trenda 'T_{mp}' v zadnjih 10 do 16 letih. Razmerje kaže jasno povečanje opažene mediane 'T_{mp}' (črne pike) v primerjavi s skupno srednjo vrednostjo 'T_{mp}' (popravljeno z nadmorsko višino; modra črta, Slika 9).



Slika 19: Potek 'T_{mp}' vseh lokacij na leto (tanke črte: minimum in maksimum; debele črte: kvantila 0,25 in 0,75, točke: mediane). Število lokacij na leto je navedeno znotraj točk. Modra črta prikazuje predvideno temperaturo v odvisnosti od povprečne nadmorske višine za lokacije na leto (na podlagi splošnega linearnega regresijskega modela 'T_{mp}' na nadmorsko višino na vseh mestih in letih; parametri so navedeni nad grafom).

Na večini lokacij (n = 18 od 24) je ugotovljeno zvišanje srednje letne temperature ('T_{mp}'). Zgornja Brinta je bila zaradi prekratkega časovnega obdobja spremljanja izključena iz večine testiranj, ker se je spremljanje začelo šele leta 2018. Lokacije z ugotovljenimi neznačilnimi trendi so lokacije, ki so bile zadnje vključene v spremljanje (Slika 20), zato je zanje verjetno premalo podatkov za ugotovitev kakršnega koli trenda.

Na splošno se število metrik z značilnimi trendi zelo razlikuje med lokacijami (Slika 12). Poleg tega je število metrik za vsako lokacijo, z značilnim trendom, v negativni korelaciji s prvim letom spremljanja (Pearsonov r = -0,77, P < 0,001; Slika 20). Trajanje spremljanja se torej zdi temeljnega pomena za ugotavljanje sprememb toplotnega režima vodotokov.



Slika 20: Razmerje med številom metrik z značilnim trendom (*n metrics with significant trend*) in prvim letom spremljanja za vsako lokacijo (*1st year of monitoring*).

Na Sliki 20 so nekatere lokacije še posebej oddaljene od regresijske črte (absolutna vrednost ostankov nad 4): Zgornja Idrija in Spodnja Idrija (obkroženi s črno). Ti dve lokaciji, nad regresijsko črto, predstavljata večje število metrik, za katere je potek sprememb značilen, ob upoštevanju trajanja spremljanja, v primerjavi z drugimi lokacijami. Zdi se, da sta lokaciji bolj podvrženi spremembam toplotnega režima.

4.2 Primernost toplotnih okolij za postrvi

4.2.1 Primerni habitati

Glavna ugotovitev spremljanja temperatur je, da je toplotno okolje za obe vrsti postrvi v Zgornjem Posočju na splošno ugodno. Toplotne razmere med 5 in 15 °C ('ND_Ti_5_15') predstavljajo v vseh vodotokih vsaj dve tretjini (in skoraj 80 % v povprečju) vseh toplotnih razmer. Na prvi pogled je ta delež ugodnega temperaturnega območja na večini lokacij ostal stabilen. Na štirih lokacijah (Gorska grapa, Lipovšček, Trebuščica in Zgornja Idrija) pa se je celo povečal.

Če se zdi ta ugotovitev optimistična, jo je vseeno treba upoštevati v povezavi poteka drugih dejavnikov toplotnega okolja. Najprej jo lahko povežemo z regresijo hladnih obdobij ('ND_Ti_inf5' ali 'DUR_cold_inf5') zaradi premika vseh temperaturnih krivulj navzgor, kar dopolnjuje/povečuje preferenčno temperaturno območje (okno) *S. marmoratus* (Priloga 3). Ta splošni dvig temperature kaže tudi na pojav vse pogostejših toplotno stresnih razmer za *S. marmoratus* ('ND_Ti_sup15') in enako za *S. trutta* ('ND_Ti_sup19'). Če spremljanje na več lokacijah omogoča identifikacijo značilnih splošnih trendov, omogoča tudi identifikacijo lokalnih posebnosti.

Zaenkrat se zdi, da je toplotno okolje Soče primerno za obe vrsti (94-odstotni delež 'ND_Ti_5_15', Slika 3). Kljub temu nekateri pritoki v porečju Soče že kažejo precejšen odstotek izmerjenih temperatur nad 15 °C (Kozjak, Godiča, Spodnja Brinta in predvsem Spodnja Volarja, Slika 3). Ti odstotki se bodo z leti verjetno povečali. Čeprav imajo te lokacije nekaj najkrajših nizov podatkov (razen Spodnja Volarja), kažejo naraščajoče trende poletnih temperatur in posledično se

pričakuje, da bodo postopno manj ugodne za obe vrsti postrvi. Po drugi strani pa Zgornja Volarja in Tolminka izkazujeta najvišje odstotke izmerjenih temperatur primernih toplotnih razmer (5–15 °C) med vsemi lokacijami (oziroma 96 % in 97 %; Slika 3). Poleg tega ostajajo temperature na obeh lokacijah precej pod mejo 15 °C (Priloga 3). V primeru poslabšanja toplotnega okolja Soče in okoliških vodotokov bi lahko bili ti dve lokaciji primerni zatočišči za *S. marmoratus*.

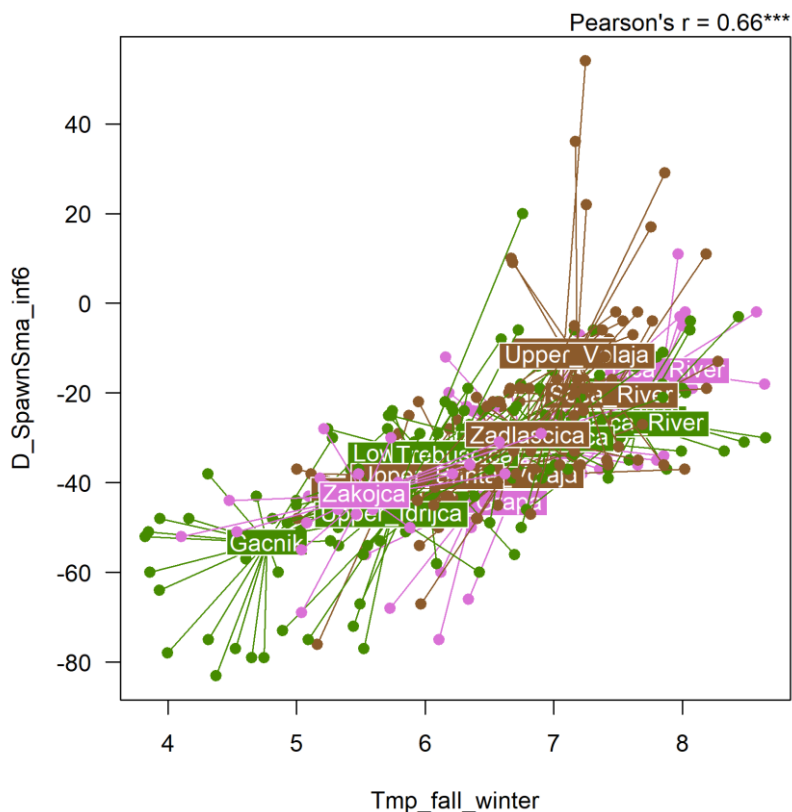
V nekateri pritoki porečja Bače in Idrijce, čeprav na višjih nadmorskih višinah in pričakovanih nižjih temperaturah vode (Slika 9), lahko nastajajo stresne toplotne razmere za *S. marmoratus* ('ND_Ti_sup15'). Ti vodotoki imajo na splošno slabšo toplotno stabilnost zaradi nizkih pretokov. Gačnik ima na primer majhen padec, nizek pretok in relativno veliko izpostavljenost sončnemu sevanju. Kljub relativni visoki nadmorski višini se zdi še posebej občutljiv na poletno segrevanje in s tem na nastanek stresnih toplotnih razmer.

V kontekstu globalnih sprememb se pričakuje, da bodo poletja bolj vroča in suha. Posledično bi bili povirni deli vodotokov bolj občutljivi na segrevanje zaradi nizkih pretokov in visokih temperatur zraka. To bi zmanjšalo primernost toplotnega okolja za postrvi, kar bi omejilo obseg razpoložljivega območja v povirju in s tem možnosti za višinska zatočišča. V Idrijci so poleti za postrvi že pogoste stresne toplotne razmere. Večino pritokov Idrijce bi zato lahko v poletnem času obravnavali kot toplotna zatočišča, premiki/selitve rib vanje pa so pogosto preprečeni s pregradami. Potencial zatočišč se lahko v prihodnosti razvija glede na spremembe hidrologije in vegetacijskega pokrova.

4.2.2 Fenologija

Drugi vidik, povezan s povišanjem temperatur, je reprodukcija. Na terenu je bilo od leta 2005 do 2012 opaženo, da je bil uspeh drsti zelo nizek ali celo nič, ko je bilo hladno obdobje (< 5 °C) dolgotrajno. Spremljanje temperature kaže, da se je trajanje hladnega obdobja skrajšalo, zime pa so postale milejše, zato so razmere primernejše za rast in tudi razmnoževanje. V nekaterih primerih lahko povišanje temperature spremlja tudi premik prehoda toplotnih pragov, kar lahko vpliva na fenologijo. Na štirih lokacijah se je med spremljanjem močno podaljšal čas, ko temperatura vode pade pod 6 °C, kar je prag za drst. S tem lahko pričakujemo premik drstne dobe.

Metrike, ki identificirajo čas ('D_SpawSma_inf6', 'Dd_Tmj_inf5' in 'Df_Tmj_inf5'), so podvržene veliki spremenljivosti zaradi posebnih dogodkov, ki se lahko zgodijo v kratkem času (kljub uporabi zglajene temperature za identifikacijo tega časa). Zato se te metrike štejejo za občutljivejše v primerjavi z drugimi, kot so povprečna letna temperatura ('Tmp') ali kumulativno trajanje temperatur nad 15 °C, ki nasprotno prekrijejo izjemne dogodke. Zato je težje sklepati o morebitnih spremembah fenologije v času. Dejstvo, da se na nekaterih lokacijah pojavljajo trendi, nakazuje, da potekajo spremembe (Slika 12). Metrika 'D_SpawSma_inf6' je močno povezana s srednjo jesensko-zimsko temperaturo ('Tmp_fall_winter', Slika 21). To najverjetneje potrjuje regionalni trend poznejšega razmnoževanja, saj se je ta sezonska temperatura značilno povečala za veliko število lokacij (n = 14, Slika 12). Za potrditev takšne hipoteze pa so potrebni daljši nizi podatkov, zlasti v vodotokih, ki so izpostavljeni močnim hidrološkim spremembam.



Slika 21: Čas prehoda pod prag 6 °C („D_SpawnSma_inf6“) v odvisnosti od povprečne temperature v obdobju jesen-zima („Tmp_fall_winter“).

4.3 Pogled v prihodnost

Zaradi kompleksnosti procesov in njihovih interakcij je za pridobivanje značilnih informacij potrebno dolgoročno spremljanje temperatur na več lokacijah. Kontinuiteta spremljanja temperatur bo omogočila boljše ovrednotenje trendov z večjo verjetnostjo in določitev detajlnih sprememb toplotnih režimov. Nadaljnje analize bi se lahko izvedle za oceno vpletenosti drugih lokalnih ali regionalnih dejavnikov v opazovanih spremembah toplotnega režima (npr. hidrologija, vrsta obrežne vegetacije, padavinski režimi). Na primer, pretok je tako kot temperatura eden glavnih parametrov, ki lahko vpliva na selitveno ali fenološko vedenje (npr. razmnoževanje) in na preživetje rib med ekstremnimi dogodki, kot so suše ali velike poplave (Wenger in sod., 2011). Neposredno vpliva tudi na toplotni režim vodotokov. Za boljše razumevanje hidro-klimatskih spremenljivk bi spremljanje pretokov na vodotokih poglobilo zanimivost te raziskave.

Raziskava bistveno prispeva k poznavanju vodnega okolja Zgornjega Posočja in njegovega odziva na globalne spremembe. Predstavlja tudi ključni korak pri ohranjanju vrst rib in upravljanju habitatov. V kontekstu globalnih sprememb je to delo, ki se je začelo pred več kot 25 leti, omogočilo oceno sprememb toplotnega okolja za dve vrsti postrvi. Podobno analizo bi lahko izvedli z vrstami, prisotnimi na območju študije, ki imajo optimalno toplotno okolje pri višjih temperaturah.

Od leta 1996 do leta 2018 je bila večina lokacij opremljena z zapisovalnikom, enkrat ali dvakrat letno pregledana z znanstvenim ribolovnim protokolom, namenjenim ocenjevanju dinamike lokalnih populacij postrvi. Metoda lova in ponovnega ulova je bila zato vzpostavljena dolgoročno in je omogočila oceno preživetja, rasti in razmnoževanja vsake populacije, v povezavi z biotskimi (npr. odvisnost od gostote, trofični viri) in abiotskimi (npr. temperatura, nosilnost habitata, izjemni dogodki) dejavniki. Glede na znatno povišanje temperature vode je nujno potrebno obnoviti znanstvene raziskave vsaj za obdobje 5 let, da bi lahko ocenili potek populacijske dinamike v

primerjavi s prejšnjimi obdobji. S tovrstnimi raziskavami bi lahko ocenili tudi, kako se vrste postrvi spopadajo s spremembami toplotnega okolja.

Viri in literatura

- Adamicka, P., 1991. Schicksal einer durchschnittlichen Koppe (*Cottus gobio* L.) im Lunzer Seebach. Österreichs Fischerei 44:162-164
- ARSO – Agencija Republike Slovenije za okolje, 2019. Arhiv hidroloških podatkov (<http://vode.arso.gov.si/hidarhiv/>)
- Alabaster, J.S., Lloyd, R., 1980. Water Quality for Fresh Fish. Butterworths, London. Str. 283.
- Almodóvar, A., Nicola, G.G., Ayllón, D., Elvira, B., 2012. Global warming threatens the persistence of Mediterranean brown trout. *Global Change Biology*. 18, 1549–1560.
- Arismendi, I., Johnson, S.L., Dunham, J.B., Haggerty, R., 2013. Descriptors of natural thermal regimes in streams and their responsiveness to change in the Pacific Northwest of North America. *Freshw. Biol.* 58, 880–894. <https://doi.org/10.1111/fwb.12094>
- Arora, R., Tockner, K., Venohr, M., 2016. Changing river temperatures in northern Germany: trends and drivers of change: Changing River Temperatures in Germany. *Hydrol. Process.* 30, 3084–3096. <https://doi.org/10.1002/hyp.10849>
- Angilletta, M.J., 2009. Thermal sensitivity. In: Angilletta MJ Jr (ed.) Thermal adaptation: a theoretical and empirical synthesis. Oxford University Press. New York. 35–87
- Baensch, H. A., Riehl, R., 1991. Aquarien atlas. Bd. 3. Melle: Mergus, Verlag für Natur-und Heimtierkunde, Germany: str. 1104.
- Bailey, C., Schmidt-Posthaus, H., Segner, H., Wahli, T., Strepparava, N., 2017. Are brown trout *Salmo trutta* fario and rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* two of a kind? A comparative study of salmonids to temperature-influenced *Tetracapsuloides bryosalmonae* infection. 41, 191–198.
- Basarin, B., Lukić, T., Pavić, D., Wilby, R.L., 2016. Trends and multi-annual variability of water temperatures in the river Danube, Serbia: Danube Water Temperature Trends in Serbia. *Hydrol. Process.* 30, 3315–3329. <https://doi.org/10.1002/hyp.10863>
- Bates, B.C., Kundzewicz, Z.W., Wu S., Palutikof J.P., 2008. Climate Change and Water. Technical Paper of the Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC Secretariat, Geneva. Str. 210.
- Bavec, M., Tulaczyk, S.M., Mahan, S.A., Stock, G.M., 2004. Late Quaternary glaciation of the Upper Soca River Region (Southern Julian Alps, NW Slovenia). *Sed Geol.* 165, 3–4, 265–283.
- Berrebi, P., Povž, M., Jesenšek, D., Crivelli, A.J., 2000. The genetic diversity of native, stocked and hybrid populations of Marble trout in the Soca River, Slovenia. *Heredity*, 85, 277–287.
- Berrebi P., . Jesenšek, D., Martin, D., Laporte, M., Crivelli, A.J., 2022. Restoring marble trout genes in the Soča River (Slovenia). Two decades of monitoring the introgression. *Conservation Genetics*, in press
- Bertalančič, R., Dolinar, M., Draksler, A., Honzak, L., Kobold M., Kozjek, K., Lokošek, N., Medved, A., Vertačnik, G., Vlahović, Ž., Žust, A., 2018. OCENA podnebnih sprememb v Sloveniji do konca 21. stoletja: sintezno poročilo – 1. del. Dolinar M (eds.). Ministrstvo za okolje in prostor, Agencija Republike Slovenije za okolje, Ljubljana. Str. 81.
- Bertoli, M., Pizzul, E., Devescovi, V., Franz, F., Pastorino, P., Giulianini, P. G., Ferrari, C., Nonnis Marzano, F., 2019. Biology and distribution of Danube barbel (*Barbus balcanicus*) (Osteichthyes: Cyprinidae) at the Northwestern limit of its range. *The European Zoological Journal*, 86, 1: 280-293
- BiosWeb – Biološka zbirka podatkov Zavoda za ribištvo Slovenije, 2022. www.biosweb.org
- Bonacci, O., Trninić, D., Roje-Bonacci, T., 2008. Analysis of the water temperature regime of the Danube and its tributaries in Croatia. *Hydrol. Process.* 22, 1014–1021. <https://doi.org/10.1002/hyp.6975>
- Bravničar, J., 2021. Populacijska genomika in varstvo jadranskega lipana *Thymallus aeliani* (VALENCIENNES, 1848) v reki Soči. Dokt. disertacija. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta. Str. 151.
- Bravničar, J., Palandačič, A., Sušnik Bajec, S., Snoj, A., 2020. Neotype designation for *Thymallus aeliani* Valenciennes, 1848 from a museum topotype specimen and its affiliation with Adriatic grayling on the basis of mitochondrial DNA. *ZooKeys*, 999, 165–178.
- Brett, J.R., 1956. Some Principles in the Thermal Requirements of Fishes. *Q. Rev. Biol.* 31, 75–87.
- Brown, J.H., Gillooly, J.F., Allen, A.P., Savage, V.M., West, G.B., 2004. Toward a metabolic theory of ecology. *Ecology* 85, 1771–1789. <https://doi.org/10.1890/03-9000>
- Bruslé, J., Quignard, J.-P., 2001. Biologie des poissons d'eau douce européens. Lavoisier.
- Burkhardt-Holm, P., Peter, A., Segner, H., 2002. Decline of fish catch in Switzerland. 64, 36–54.
- Caissie, D., 2006. The thermal regime of rivers: a review. *Freshw. Biol.* 51, 1389–1406. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2006.01597.x>

- Calbó, J., 2009. Possible Climate Change Scenarios with Specific Reference to Mediterranean Regions, in: Water Scarcity in the Mediterranean. pp. 1–13. https://doi.org/10.1007/698_2009_28
- Carlson, A.K., Taylor, W.W., Schlee, K.M., Zorn, T.G., Infante, D.M., 2017. Projected impacts of climate change on stream salmonids with implications for resilience-based management. *Ecol. Freshw. Fish.* 26, 190–204. <https://doi.org/10.1111/eff.12267>
- Cattanéo, F., Lamouroux, N., Breil, P., Capra, H., 2002. The influence of hydrological and biotic processes on brown trout (*Salmo trutta*) population dynamics 59, 12–22.
- Cegnar, T., Sušnik, A., Mekinda-Majaron, A., 1996. Climate of Slovenia. Cegnar, T. (eds.). Hydrometeorological Institute of Slovenia, Ljubljana. Str. 70.
- Chu, C., Jones, N.E., 2010. Do existing ecological classifications characterize the spatial variability of stream temperatures in the Great Lakes Basin, Ontario? *J. Gt. Lakes Res.* 36, 633–640. <https://doi.org/10.1016/j.jglr.2010.08.006>
- Cianfrani, C., Satizábal, H.F., Randin, C., 2015. A spatial modelling framework for assessing climate change impacts on freshwater ecosystems: Response of brown trout (*Salmo trutta* L.) biomass to warming water temperature. *Ecol. Model.* 313, 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2015.06.023>
- Comte, L., Buisson, L., Daufresne, M., Grenouillet, G., 2013. Climate-induced changes in the distribution of freshwater fish: observed and predicted trends. *Freshwater Biology.* 58, 625–639. <https://doi.org/10.1111/fwb.12081>
- Comte, L., Grenouillet, G., 2015. Distribution shifts of freshwater fish under a variable climate: comparing climatic, bioclimatic and biotic velocities. *Diversity Distrib.* 21, 1014–1026. <https://doi.org/10.1111/ddi.12346>
- Coutant, C.C., 1999. Perspectives on Temperature in the Pacific Northwest's Fresh Waters (No. ORNL/TM-1999/44). Oak Ridge National Lab. (ORNL), Oak Ridge, TN (United States). <https://doi.org/10.2172/9042>
- Coutant, C.C., 1977. Compilation of Temperature Preference Data. *J. Fish. Res. Board Can.* 34, 739–745. <https://doi.org/10.1139/f77-115>
- Crisp, D.T., 1981. A desk study of the relationship between temperature and hatching time for the eggs of five species of salmonid fishes. *Freshw. Biol.* 11, 361–368. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.1981.tb01267.x>
- Daufresne, M., Boët, P., 2007. Climate change impacts on structure and diversity of fish communities in rivers. *Glob. Change Biol.* 13, 2467–2478. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2007.01449.x>
- Debes, P.V., Gross, R., Vasemägi, A., 2017. Quantitative Genetic Variation in, and Environmental Effects on, Pathogen Resistance and Temperature-Dependent Disease Severity in a Wild Trout. *Am. Nat.* 190, 244–265. <https://doi.org/10.1086/692536>
- DIREKTIVA SVETA 92/43/EGS z dne 21. maja 1992 o ohranjanju naravnih habitatov ter prosto živečih živalskih in rastlinskih vrst
- Draksler, A., Frantar P., Savić V., 2018. Trendi temperatur površinskih in podzemnih voda do leta 2015 v Sloveniji. Temperature trends in surface and groundwaters in Slovenia up to 2015. *Ujma.* 32, 139–146.
- Dumoutier, Q., Vigier, L., Caudron, A., 2010. Macro Excel d'Aide au Calcul de variables thermiques appliquées aux Milieux Aquatiques Salmonicoles.
- Dunham, J., Chandler, G., Rieman, B., Martin, D., 2005. Measuring stream temperature with digital data loggers: a user's guide (No. RMRS-GTR-150). U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station, Ft. Collins, CO. <https://doi.org/10.2737/RMRS-GTR-150>
- Dussling, U., Berg, R., Klinger, H., Wolter, C., 2004. Assessing the Ecological Status of River Systems Using Fish Assemblages. In: *Handbuch Angewandte Limnologie: Grundlagen - Gewässerbelastung - Restaurierung - Aquatische Ökotoxikologie - Bewertung - Gewässerschutz.* Steinberg, C., Klapper W., Klapper H., Wilken R-D. (eds.). Edition 20. Erg.Lfg. Ecomed: 1-84 p. 10.1002/9783527678488.hbal2004006.
- Eaton, J.G., McCormick, H., Stefan, H.G., Hondzo, M., 1995. Extreme Value Analysis of a Fish/Temperature Field Database. Elsevier Sci., *Ecological Engineering* 289–305.
- Ebersole, J.L., Liss, W.J., Frissell, C.A., 2001. Relationship between stream temperature, thermal refugia and rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* abundance in arid-land streams in the northwestern United States. *Ecology of Freshwater Fish.* 10, 1–10.
- Ebersole, J.L., Liss, W.J., Frissell, C.A., 2003. Cold water patches in warm streams: physicochemical characteristics and the influence of shading. *Journal of the American Water Resources Association.* 39, 355–367.
- EEA, 2009. Regional climate change and adaptation : the Alps facing the challenge of changing water resources (No. 8). European Environment Agency, Copenhagen. Str. 143.

- Elliot, J.M., 1981. Some aspects of thermal stress on freshwater teleosts. In: Stress and fish. Pickering A.D. (ed.). London, Acafemic Press: 209-245
- Elliott, J.M., 1994. Quantitative Ecology and the Brown Trout. Oxford University Press, USA.
- Elliott, J.M., Elliott, J.A., 2010. Temperature requirements of Atlantic salmon *Salmo salar*, brown trout *Salmo trutta* and Arctic charr *Salvelinus alpinus*: predicting the effects of climate change. J. Fish Biol. 77, 1793–1817. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2010.02762.x>
- Elliott, J.M., Hurley, M.A., 1998a. An individual-based model for predicting the emergence period of sea trout fry in a Lake District stream. J. Fish Biol. 53, 414–433. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.1998.tb00990.x>
- Elliott, J.M., Hurley, M.A., 1998b. Predicting fluctuations in the size of newly emerged sea-trout fry in a Lake District stream. J. Fish Biol. 53, 1120–1133. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.1998.tb00468.x>
- FAO (Ed.), 2016. The state of world fisheries and aquaculture, Contributing to food security and nutrition for all. Rome.
- Feist, S.W., Peeler, E.J., Gardiner, R., Smith, E., Longshaw, M., 2002. Proliferative kidney disease and renal myxosporidiosis in juvenile salmonids from rivers in England and Wales. J. Fish Dis. 25, 451–458.
- Fishbase, 2022. <https://fishbase.net.br/search.php>
- Fumagalli, L., Snoj, A., Jesenšek, D., Balloux, F., Jug, T., Duron, O., Brossier, F., Crivelli, A.J., Berrebi, P., 2002. Extreme genetic differentiation among the remnant populations of marble trout (*Salmo marmoratus*) in Slovenia. Molecular Ecology, 11, 2711-2716.
- Gay, M., Okamura, B., de Kinkelin, P., 2001. Evidence that infectious stages of *Tetracapsula bryosalmonae* for rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* are present throughout the year. Dis. Aquat. Organ. 46, 31–40. <https://doi.org/10.3354/dao046031>
- Giller, P.S., Malmqvist, B., 1998. The Biology of Streams and Rivers, Oxford University Press. ed. Oxford.
- Gouraud, V., Baran, P., Bardonnnet, A., Beaufrère, C., Capra, H., Caudron, A., Delacoste, M., Lascaux, J.M., Naura, M., Ovidio, M., Poulet, N., Tissot, L., Sabaton, C., Baglinière, J.-L., 2014. Sur quelles connaissances se baser pour évaluer l'état de santé des populations de truite commune (*Salmo trutta*) ? Hydroécologie Appliquée 18, 111–138. <https://doi.org/10.1051/hydro/2014001>
- Govedič, M., 2018. Kako s(m)o skuhalo reko Savo. Ribič, 9, 246-250
- Hari, R.E., Livingstone, D.M., Siber, R., Burkhardt-Holm, P., Güttinger, H., 2006. Consequences of climatic change for water temperature and brown trout populations in Alpine rivers and streams: CLIMATE CHANGE, RIVER TEMPERATURES AND BROWN TROUT. Glob. Change Biol. 12, 10–26. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2005.001051.x>
- Hemmer-Brepson, C., Replumaz, L., Romestaing, C., Voituron, Y., Daufresne, M., 2014. Non-stressful temperature effect on oxidative balance and life history traits in adult fish (*Oryzias latipes*). J. Exp. Biol. 217, 274–282. <https://doi.org/10.1242/jeb.096172>
- Hickling, R., Roy, D.B., Hill, J.K., Fox R., Thomas, C.D., 2006. The distributions of a wide range of taxonomic groups are expanding polewards. Global Change Biology. 12, 450–455.
- IPCC, 2021: Summary for Policymakers. In: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M. I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T. K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press. Str. 3949.
- Janža, M., 2013. Impact assessment of projected climate change on the hydrological regime in the SE Alps, Upper Soča River basin, Slovenia. Nat Hazards. 67, 1025–1043. (<https://doi.org/10.1007/s11069-011-9892-7>)
- Johnson, S.L., 2004. Factors influencing stream temperatures in small streams: substrate effects and a shading experiment. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 61, 913–923. <https://doi.org/10.1139/f04-040>
- Keith, P., Poulet, N., Denys, G., Changeux, T., Feunteun, E., Persat, H., 2020. Les Poissons d'eau douce de France - 2ème édition - Biotope éditions, Biotope Editions-Muséum National d'Histoire Naturelle. ed.
- Killen, S.S., Brown, J.A., Gamperl, A.K., 2008. Lack of metabolic thermal compensation during the early life stages of ocean pout *Zoarces americanus* (Bloch & Schneider): a benthic, cold-water marine species. Journal of Fish Biology, 72: 763-772. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2007.01735.x>
- Knez, M., Kranjc, A., 2009. Karst. In: Pleničar M, Ogorelec B, Novak M (eds). The geology of Slovenia. Geološki zavod Slovenije, Ljubljana: 563–574
- Kolbezen, M., Pristov, J., 1998. Površinski vodotoki in vodna bilanca Slovenije = Surface streams and water balance of Slovenia. Ljubljana, Ministrstvo za okolje in proctor, Hidrometeorološki zavod Republike Slovenije. Str. 98.

- Kobolt, M., Ulaga, F., 2012. Hidrološko stanje voda in podnebna spremenljivost. In OKOLJE, v katerem živimo. Cegnar T. (ed). Ljubljana, Ministrstvo za kmetijstvo in okolje, Agencija Republike Slovenije za okolje. 61-71. ISBN 978-961-6024-59-4
- Kottelat, M., Freyhof, J., 2007. Handbook of European Freshwater Fishes, Kottelat, Cornol, Switzerland and Freyhof. ed. Berlin, Germany.
- Lyons, J., Stewart, J.S., Mitro, M., 2010. Predicted effects of climate warming on the distribution of 50 stream fishes in Wisconsin, U.S.A. J. Fish Biol. 77, 1867–1898. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2010.02763.x>
- Magnuson, J., Crowder, L., Medvick, P., 1979. Temperature as an Ecological Resource. Integr. Comp. Biol. 19, 331–343. <https://doi.org/10.1093/icb/19.1.331>
- Maheu, A., 2015. Développement d'outils de caractérisation et de modélisation du régime thermique des rivières naturelles et régulées. Université du Québec.
- Maheu, A., Poff, N.L., St-Hilaire, A., 2016. A Classification of Stream Water Temperature Regimes in the Conterminous USA: Classification of Stream Temperature Regimes. River Res. Appl. 32, 896–906. <https://doi.org/10.1002/rra.2906>
- Maire, A., 2021. Synthèse du programme de recherche Thermie-Hydrobiologie 2016-2020. EDF R&D.
- Marcos-López, M., Gale, P., Oidtmann, B.C., Peeler, E.J., 2010. Assessing the Impact of Climate Change on Disease Emergence in Freshwater Fish in the United Kingdom: Climate Change and Disease Emergence in Freshwater Fish. Transbound. Emerg. Dis. 57, 293–304. <https://doi.org/10.1111/j.1865-1682.2010.01150.x>
- Markovic, D., Scharfenberger, U., Schmutz, S., Pletterbauer, F., Wolter, C., 2013. Variability and alterations of water temperatures across the Elbe and Danube River Basins. Clim. Change 119, 375–389. <https://doi.org/10.1007/s10584-013-0725-4>
- McCarthy, I.D., Houlihan, D.F., 1997. The effect of temperature on protein metabolism in fish: the possible consequences for wild Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) stocks in Europe as a result of global warming. In: Wood CM, McDonald DG (eds.). Global warming: implications for freshwater and marine fish. Cambridge University Press, Cambridge. 51–78
- McCullough, D.A., Bartholow, J.M., Jager, H.I., Beschta, R.L., Cheslak, E.F., Deas, M.L., Ebersole, J.L., Foott, J.S., Johnson, S.L., Marine, K.R., Mesa, M.G., Petersen, J.H., Souchon, Y., Tiffan, K.F., Wurtsbaugh, W.A., 2009. Research in Thermal Biology: Burning Questions for Coldwater Stream Fishes, Reviews in Fisheries Science. 17,1, 90-115. DOI: 10.1080/10641260802590152
- Meynard, M., Testi, B., Veslot, J., Carrel, G., 2012. Facteurs hydroclimatiques et taille des poissons juvéniles - Etude thermique du Rhône Phase IV 86.
- Miller, N.A., Stillman, J.H., 2012. Physiological Optima and Critical Limits. Nat. Educ. Knowl. 3, 10.
- Mohseni, O., Stefan, H.G., 2001. Water budgets of two watersheds in different climatic zones under projected climate warming. Climate Change. 49, 77–104.
- Mohseni, O., Stefan, H.G., Eaton, J.G., 2003. Global warming and potential changes in fish habitat in U.S. streams. Climatic Change. 59, 389–409.
- Neuheimer, A., Taggart, C., 2007. The growing degree-day and fish size-at-age: The overlooked metric. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 64, 375–385. <https://doi.org/10.1139/F07-003>
- Nunn, A.D., Harvey, J.P., Cowx, I.G., 2007. Variations in the spawning periodicity of eight fish species in three English lowland rivers over a 6 year period, inferred from 0+year fish length distributions. J. FISH Biol. 70. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2007.01415.x>
- Ocvirk, J., 1994. Vzreja in program repopulacije soške postrvi (*Salmo marmoratus* Cuvier, 1817) v Sloveniji (English: Artificial propagation and reintroduction of Mable trout (*Salmo marmoratus* Cuvier, 1817) in Slovenia (Thesis). Univerza v Ljubljani, Veterinarska fakulteta: str. 199.
- Ogrin, D., 1998. Podnebje. In: Fridl, J., Kladnik, D., Orožen Adamič M., Perko, D. (eds.). Geografski atlas Slovenije, Država v prostoru in času. DZS, Ljubljana: Str. 110–111.
- Orr, H.G., Simpson, G.L., des Clers, S., Watts, G., Hughes, M., Hannaford, J., Dunbar, M.J., Laizé, C.L.R., Wilby, R.L., Battarbee, R.W., Evans, R., 2015. Detecting changing river temperatures in England and Wales. Hydrol. Process. 29, 752–766. <https://doi.org/10.1002/hyp.10181>
- Ovidio, M., 1999. Cycle annuel d'activité de la truite commune (*Salmo trutta* L.) adulte : Étude par radio-pistage dans un cours d'eau de l'Ardenne belge. Bull. Fr. Pêche Piscic. 1–18. <https://doi.org/10.1051/kmae:1999017>
- Pletterbauer, F., Melcher, A., Graf, W., 2018. Climate Change Impacts in Riverine Ecosystems. In: Schmutz S., Sendzimir J. (eds). Riverine Ecosystem Management. Aquatic Ecology Series, 8, 203-232. https://doi.org/10.1007/978-3-319-73250-3_11

- Pörtner, H.O., Knust, R., 2007. Climate change affects marine fishes through the oxygen limitation of thermal tolerance. *Science*, 315, 95–97.
- Povž M., 1989. Distribution and biometric Characteristics of the Marble Trout (*Salmo marmoratus* Cuvier 1817) in Slovenia. *Ichthyos*, 8, 1-6: 29-36
- Povž, M., Jesenšek, D., Berrebi, P., Crivelli, A.J., 1996. The Marble Trout *Salmo trutta marmoratus*, Cuvier 1817 In the Soca River basin, Slovenia. *Publications de la Tour du Valat*. Str. 65.
- Pravilnik o ribolovnem režimu v ribolovnih vodah (Uradni list RS, št. 99/07 in 75/10)
- Pravilnik o uvrstitvi ogroženih rastlinskih in živalskih vrst v rdeči seznam (Uradni list RS, št. 82/02 in 42/10)
- Rahel, F.J., Olden, J.D., 2008. Assessing the effects of climate change on aquatic invasive species. *Conserv Biol.* 22, 3, 521-33. doi: 10.1111/j.1523-1739.2008.00950.x. PMID: 18577081.
- RIBKAT – Ribiški kataster, 2022: Baza podatkov o sladkovodnem ribištvu (<https://www.zzrs.si/page/ribiski-kataster/>)
- Riehl, R., Baensch H. A., 1991. *Aquarien Atlas*. Band. 1. Melle: Mergus, Verlag für Natur-und Heimtierkunde, Germany: 992 p.
- Rojšek, D., 1991. *Naravne znamenitosti Posočja*. Ljubljana, Državna založba Slovenije. Str. 206.
- Simčič, T., Jesenšek, D., Brancelj, A., 2015. Effects of increased temperature on metabolic activity and oxidative stress in the first life stages of marble trout (*Salmo marmoratus*). *Fish Physiol Biochem.* 41, 1005-1014. DOI 10.1007/s10695-015-0065-6
- Simčič, T., Jesenšek, D., Brancelj, A., 2017. Metabolic characteristics of early life history stages of native marble trout (*Salmo marmoratus*) and introduced brown trout (*Salmo trutta*) and their hybrids in the Soča River. *Ecol Freshw Fish.* 26, 141-149. <https://doi.org/10.1111/eff.12264>
- Specchi, M., Battistella, S., Amirante, G.A., Sigalotti, G.M., Tibaldi, E., Pizzul, E., 2004. Il ricupero della trota marmorata nel Friuli Venezia Giulia. *Sintesi di 10 anni di studi e ricerche*. Ente Tutela Pesca del Friuli Venezia Giulia. Manzano, Grafiche Manzanesi. Str. 57.
- Stankovic, D., Crivelli A.J., Snoj A., 2015. Rainbow trout in Europe: Introduction, Naturalization, and Impacts. *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture*, 23, 39-71.
- Sudhagar, A., Kumar, G., El-Matbouli, M., 2020. The Malacosporean Myxozoan Parasite *Tetracapsuloides bryosalmonae*: A Threat to Wild Salmonids. *Pathogens* 9, 16. <https://doi.org/10.3390/pathogens9010016>
- Sutton, R.J., Deas, M.L., Tanaka, S.K., Soto, T., Corum, R.A., 2007. Salmonid observations at a Klamath River thermal refuge under various hydrological and meteorological conditions. *River Res. Applic.* 23, 7, 775-785. <https://doi.org/10.1002/rra.1026>
- Tasker, G.D., Burns, A.W., 1974. Mathematical Generalization of Stream Temperature in Central New England1. *JAWRA J. Am. Water Resour. Assoc.* 10, 1133–1142. <https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.1974.tb00633.x>
- Tibaldi, S., Cacciamani, C., Pecora, S., 2010. Il Po nel clima che cambia. *Biol. Ambient. Biologia Ambientale*, 24 (1): 21-28, 2010. Atti XVIII congresso S.It.E., Parma 1-3 settembre 2008, 21–28.
- Torgersen, C.E., Faux, R.N., McIntosh, B.A., Poage, N.J., Norton, D.J., 2001. Airborne thermal remote sensing for water temperature assessment in rivers and streams. *Remote Sens. Environ.* 76, 386–398. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(01\)00186-9](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(01)00186-9)
- Uredba o posebnih varstvenih območjih (območjih Natura 2000) (Uradni list RS, št. 49/04, 110/04, 59/07, 43/08, 8/12, 33/13, 35/13 – popr., 39/13 – odl. US, 3/14, 21/16 in 47/18)
- Uredba o zavarovanih prosto živečih živalskih vrstah (Uradni list RS, št. 46/04, 109/04, 84/05, 115/07, 32/08 – odl. US, 96/08, 36/09, 102/11, 15/14, 64/16 in 62/19)
- van Vliet, M.T.H., Ludwig, F., Zwolsman, J.J.G., Weedon, G.P., Kabat, P., 2011. Global river temperatures and sensitivity to atmospheric warming and changes in river flow. *Water Resour. Res.* 47. <https://doi.org/10.1029/2010WR009198>
- Vannote, R.L., Minshall, G.W., Cummins, K.W., Sedell, J.R., Cushing, C.E., 1980. The River Continuum Concept. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 37, 130–137. <https://doi.org/10.1139/f80-017>
- Verneaux, J., 1977. Biotypologie de l'écosystème "eau courante". Déterminisme approché de la structure biotypologique. *Comptes Rendus L'Académie Sci. Paris* 77–79.
- Vertačnik, G., Bertalančič, R., Draksler, A., Dolinar M., Vlahovič, Ž., Frantar, P., 2018. Podnebna spremenljivost Slovenije v obdobju 1961–2011: Povzetek. Ministrstvo za okolje in prostor, Agencija Republike Slovenije za okolje, Ljubljana. Str. 23.
- Vigier, L., Caudron, A., 2007. ETUDE DE LA QUALITE THERMIQUE DU FORON DE GAILLARD -Etude de l'impact du lac de Machilly- 21.

- Vignes, J.C., Heland, M., 1995. Comportement alimentaire au cours du changement d'habitat lié à l'émergence chez le saumon atlantique *Salmo salar* L. et la truite commune *Salmo trutta* L., en conditions semi-naturelles. Bull. Fr. Pêche Piscic. 207–214. <https://doi.org/10.1051/kmae:1995023>
- Vincenzi, S., Crivelli A.J., Jesenšek D., Campbell E., Garza, J.C., 2019. Effects of species invasion on population dynamics, vital rates and life histories of the native species. Population Ecology. 61, 25-34.
- Vincenzi, S., Jesenšek D., Crivelli, A.J., 2018. A framework for estimating the determinants of spatial and temporal variation in vital rates and inferring the occurrence of unobserved extreme events. Royal Society Open Science. 5, 171087. doi.org/10.1098/rsos.171087.
- Vincenzi, S., Mangel, M., Jesenšek, D., Garza, J.C., Crivelli, A.J., 2016. Within and among-population variation in vital rates and population dynamics in a variable environment. Ecological Applications. 26, 2086-2102.
- Vincenzi, S., Crivelli, A.J., Jesenšek, D., De Leo, G.A., 2008. Total population density during the first year of life as a major determinant of lifetime body-length trajectory in marble trout. Ecol Freshw Fish. 17, 515–519
- Vörösmarty, C. J., Green, P., Salisbury, J., Jammers, R.B., 2000. Global water resources: vulnerability from climate change and population growth. Science. 289, 284–288.
- Wahli, T., Knuesel, R., Bernet, D., Segner, H., Pugovkin, D., Burkhardt-Holm, P., Escher, M., Schmidt-Posthaus, H., 2002. Proliferative Kidney Disease in Switzerland. J. Fish Dis. 25, 491–500. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2761.2002.00401.x>
- Webb, B.W., 1996. Trends in stream and river temperature. Hydrol. Process. 10, 205–226. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-1085\(199602\)10:2<205::AID-HYP358>3.0.CO;2-1](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-1085(199602)10:2<205::AID-HYP358>3.0.CO;2-1)
- Webb, B.W., Hannah, D.M., Moore, R.D., Brown, L.E., Nobilis, F., 2008. Recent advances in stream and river temperature research. Hydrol. Process. 22, 902–918. <https://doi.org/10.1002/hyp.6994>
- Webb, B.W., Nobilis, F., 2007. Long-term changes in river temperature and the influence of climatic and hydrological factors. Hydrol. Sci. J. 52, 74–85. <https://doi.org/10.1623/hysj.52.1.74>
- Wenger, S.J., Isaak, D.J., Luce, C.H., Neville, H.M., Fausch, K.D., Dunham, J.B., Dauwalter, D.C., Young, M.K., Elsner, M.M., Rieman, B.E., Hamlet, A.F., Williams, J.E., 2011. Flow regime, temperature, and biotic interactions drive differential declines of trout species under climate change. Proc. Natl. Acad. Sci. 108, 14175–14180. <https://doi.org/10.1073/pnas.1103097108>
- Woodward G., Perkins, D. M., Brown Lee, E., 2010. Climate change and freshwater ecosystems: impacts across multiple levels of organization. Phil. Trans. R. Soc. B, 365, 2093–2106.
- Wolter, C., 2007. Temperature influence on the fish assemblage structure in a large lowland river, the lower Oder River, Germany. Ecol. Freshw. Fish 16, 493–503. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0633.2007.00237.x>
- Zupančič, B., 1998. Podnebje. In: Fridl, J., Kladnik, D., Orožen Adamič, M., Perko, D. (eds). Geografski atlas Slovenije, Država v prostoru in času. DZS, Ljubljana: 98-99
- Zwieniecki, M.A., Newton, M., 1999. Influence of Streamside Cover and Stream Features on Temperature Trends in Forested Streams of Western Oregon. West. J. Appl. For. 14, 106–113. <https://doi.org/10.1093/wjaf/14.2.106>

Priloge

Priloga 1: Prevod in razlaga terminov, ki so na slikah navedeni v angleščini.

Termin v angleščini	Prevod in razlaga termina
Basin of Baca River	Porečje Bače
Basin of Idrijca River	Porečje Idrijce
Basin of Soca River	Porečje Soče
Bača River	Bača
Dabrcek	Dabrček (Dabršček)
Gacnik	Gačnik
Godica	Godiča
Gorska	Gorska Grapa
Lipovscek	Lipovšček
Lower Brinta	Spodnja Brinta (novo ime Podmlaka spodaj)
Lower Idrijca	Spodnja Idrijca
Lower Volaja	Spodnja Volarja
Soca River	Soča
Trebuscica	Trebuščica
Upper Brinta	Zgornja Brinta (novo ime Podmlaka zgoraj)
Upper Idrijca	Zgornja Idrijca
Upper Volaja	Zgornja Volarja (novo ime Podbreg)
Zadlascica	Zadlaščica
Zakojca	Zakojška Grapa

Priloga 2: Pregled nacionalnega in mednarodnega zakonskega varstva ribjih vrst na izbranih lokacijah v Zgornjem Posočju (povzeto po RIBKAT, 2022; BIOSWEB, 2022; Dussling in sod., 2004).

Vrsta	Znanstveno ime	Avtor	Uredba	Habitatna direktiva	Rdeči seznam	Natura 2000	Pravilnik o ribolovnem režimu****	Avtohtona vrsta	Red/Družina	Habitat	Razmnoževanje	Selitve-razdalja	Okvirno preferenčno temperaturno območje [°C]
Potočna postrv	<i>Salmo trutta</i>	Linnaeus, 1758			E		(1. 12.–28. 2.)***	ne	Salmoniformes/ Salmonidae	reofilna	litofilna	kratke	4 - 20 (Bruslé in Quignard, 2001; Elliot, 1981)
Soška postrv	<i>Salmo marmoratus</i>	Cuvier, 1829	H	II	E	da	40 cm (1. 10.–31. 3.)	da	Salmoniformes/ Salmonidae	reofilna*	litofilna*	kratke*	5 - 14 (Keith in sod., 2020; Vincenzi in sod., 2008)
Šarenka	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	Walbaum, 1792					(1. 12.–28. 2.)***	ne	Salmoniformes/ Salmonidae	reofilna	litofilna	kratke	5 - 25 (Kottelat in Freyhof, 2007)
Kapelj	<i>Cottus gobio</i>	Linnaeus, 1758	H	II	V	da		da	Scorpaeniformes/ Cottidae	reofilna	speleofilna	kratke	1 - 16 (Adamicka, 1991; citirano po Fishbase, 2022)
Lipan	<i>Thymallus thymallus</i>	Linnaeus, 1758		V	V		(1. 12.–28. 2.)***	da/ne*****	Salmoniformes/ Salmonidae	reofilna	litofilna	kratke	(4)6 - 18 (Baensch in Reihl, 1991; citirano po Fishbase, 2022; Elliot, 1981)
Jadranski lipan	<i>Thymallus aeliani</i>	Velenciennes, 1848			V		30 cm (1. 12.–15. 5.)	da	Salmoniformes/ Salmonidae	reofilna*	litofilna*	kratke*	*
Pohra	<i>Barbus balcanicus</i>	Kotlík, Tsigenopoulos, Ráb & Berrebi, 2002	H	II,V		da		da	Cypriniformes/ Cyprinidae	reofilna*	litofilna*	kratke*	1 - 25 (Bertoli in sod., 2019)
Štrkavec	<i>Squalius squalus</i>	Bonaparte, 1837					30 cm (1. 5.–30. 6.)	da	Cypriniformes/ Cyprinidae	reofilna*	litofilna*	kratke*	*
Grba	<i>Barbus plebejus</i>	Bonaparte, 1839	H	II,V	E	da	30 cm (1. 5.–30. 6.)	da	Cypriniformes/ Cyprinidae	reofilna*	litofilna*	kratke*	*
Primorski blistavec	<i>Telestes muticellus</i>	Bonaparte, 1837	**					da	Cypriniformes/ Cyprinidae	reofilna*	litofilna*	kratke*	*
Pisanec	<i>Phoxinus lumaireul</i>	Schintz, 1840						da	Cypriniformes/ Cyprinidae	reofilna*	litofilna*	kratke*	2 - 20* (Reihl in Baensch, 1991; citirano po Fishbase, 2022)
Blistavec	<i>Telestes souffia</i>	Risso, 1827	Z,H	II	E	da		da	Cypriniformes/ Cyprinidae	reofilna	litofilna	kratke	10 - 20 (Baensch in Reihl, 1991; citirano po Fishbase, 2022)
Linj	<i>Tinca tinca</i>	Linnaeus, 1758			E		30 cm (1. 5.–30. 6.)	da	Cypriniformes/ Cyprinidae	stagnofilna	fitofilna	kratke	4 - 24 (Baensch in Reihl, 1991; citirano po Fishbase, 2022)
Klen	<i>Squalius cephalus</i>	Linnaeus, 1758						ne	Cypriniformes/ Cyprinidae	reofilna	litofilna	kratke	4 - 20 (Baensch in Reihl, 1991; citirano po Fishbase, 2022)

*Manjkajoči podatek – povzet po najbolj podobnih vrsti: *S. marmoratus* po *S. trutta*; *T. aeliani* po *T. thymallus*; *B. plebejus* po *B. balcanicus*, ko manjka podatek za obe vrsti po *B. barbus* razen za selitve/distanco; *S. squalus* po *S. cephalus*; *T. muticellus* po *T. souffia*; *P. lumaireul* po *P. phoxinus*.

** V prilogah 1 in 2 Uredbe o zavarovanih prosto živečih živalskih vrstah je naveden tudi primorski blistavec.

*** Pravilnik o ribolovnem režimu v ribolovnih vodah (16. člen, 2. odstavek): Najmanjše lovne mere in varstvene dobe ne veljajo za tujerodne vrste rib, če so v ribiškogojitvenem načrtu opredeljene kot invazivne vrste in je to določeno v ribiškogojitvenem načrtu.

**** Ribiške družine lahko postavijo strožja pravila o ribolovnem režimu, ki se lahko tudi spreminjajo med sezono.

***** Podatek se glede na vir razlikuje.

Legenda

Uredba o zavarovanih prosto živečih živalskih vrstah (Uradni list RS, št. 46/04, 109/04, 84/05, 115/07, 32/08 – odl. US, 96/08, 36/09, 102/11, 15/14, 64/16 in 62/19)

Priloga 1 A (Z)	Seznam živalskih vrst, katerih živali so zavarovane
Priloga 2A (H)	Seznam živalskih vrst, katerih habitate se varuje

DIREKTIVA SVETA 92/43/EGS z dne 21. maja 1992 o ohranjanju naravnih habitatov ter prosto živečih živalskih in rastlinskih vrst (Habitatna Direktiva)

Priloga II	Živalske in rastlinske vrste v interesu skupnosti, za ohranjanje katerih je treba določiti posebna ohranitvena območja
Priloga V	Živalske in rastlinske vrste v interesu skupnosti, pri katerih za odvzem iz narave in izkoriščanje lahko veljajo ukrepi upravljanja

Pravilnik o uvrstitvi ogroženih rastlinskih in živalskih vrst v rdeči seznam (Uradni list RS, št. 82/02 in 42/10)

E	Prizadeta vrsta je kategorija ogroženosti, v katero se uvrstijo vrste, katerih obstanek na območju Republike Slovenije ni verjeten, če bodo dejavniki ogrožanja delovali še naprej. Številčnost teh vrst se je zmanjšala na kritično stopnjo oziroma njihova številčnost zelo hitro upada v večjem delu areala.
V	Ranljiva vrsta je kategorija ogroženosti, v katero se uvrstijo vrste, za katere je verjetno, da bodo v bližnji prihodnosti prešle v kategorijo prizadete vrste, če bodo dejavniki ogrožanja delovali še naprej. Številčnost vrste se je v velikem delu areala zmanjšala oziroma se zmanjšuje. Vrste so zelo občutljive na kakršnekoli spremembe oziroma poseljujejo habitate, ki so na človekove vplive zelo občutljivi.

Uredba o posebnih varstvenih območjih (območjih Natura 2000) (Uradni list RS, št. 49/04, 110/04, 59/07, 43/08, 8/12, 33/13, 35/13 – popr., 39/13 – odl. US, 3/14, 21/16 in 47/18)

Območja Natura 2000	Kvalifikacijska vrsta
POO SI3000230 Idrija s pritoki	- soška postrv - blistavec - grba - pohra - kapelj
SI3000027 Lipovšček	- soška postrv
SI3000254 Soča z Volarjo	- soška postrv - blistavec - grba - kapelj
POO SI3000255 Trnovski gozd - Nanos	- soška postrv - kapelj
POO SI3000253 Julijske Alpe	- soška postrv - kapelj

Pravilnik o ribolovnem režimu v ribolovnih vodah (Uradni list RS, št. 99/07 in 75/10) v Jadranskem povodju

Mera (cm)	Najmanjša lovna mera (ribe se merijo od začetka glave do konca repne plavuti)
Varstvena doba	Varstvena doba (doba, ko za vrsto velja prepoved lova)

Klasifikacija glede na habitat (povzeto po Dussling in sod., 2004; neuradni prevod)

Reofilna	Vrste, ki naseljujejo predvsem tekoče vode, vendar se izjemoma lahko pojavljajo tudi v stoječih vodah (npr. zaidejo). Vrste, ki živijo v habitatih s počasnim ali zelo počasnim tokom, vendar brez določenih značilnosti stoječih voda, so prav tako opredeljene kot reofilne.
Stagnofilna	Vrste, ki naseljujejo predvsem stoječe vode, vendar se izjemoma pojavljajo tudi v tekočih vodah. Če jih najdemo tekočih vodah, so te vrste omejene na predele s prevladujočimi značilnostmi stoječih voda (npr. mrtvi rokavi).

Klasifikacija glede na razmnoževanje (povzeto po Dussling in sod., 2004; neuradni prevod)

Litofilna	Vrste, ki odlagajo ikre na/v prodnato ali kamnito podlago
Speleofilna	Vrste, ki prilepijo ikre na spodnjo stran kamnov oziroma v kamnite votlinice in jih varujejo
Fitofilna	Vrste, ki odlagajo ikre na rastline (makrofite, drevesne korenine, veje itd.)

Klasifikacija glede na selitve-razdaljo (povzeto po Dussling in sod., 2004; neuradni prevod)

kratke	Vrste, ki se selijo/premikajo na kratke razdalje in so pretežno omejene na trenutno območje
--------	---

Priloga 3: Slika prikazuje temperaturo v odvisnosti od dneva v letu in sicer je prikazana primerjava med temperaturami prvih 4 (1998–2001) in zadnjih 4 let (2018–2021) spremljanja za vse lokacije. Za razlago glej Slike 16–18.

