

RAZPRAVE

**TEMPERATURNI REŽIMI REK V SLOVENIJI
V OBDOBJU 1976–1990 IN SPREMEMBE
REŽIMOV V OBDOBJU 1991–2005**

AVTOR

dr. Peter Frantar

Agencija Republike Slovenije za okolje, Vojkova 1b, SI – 1000 Ljubljana, Slovenija
peter.frantar@gov.si

UDK: 911.2:556.535(497.4)

COBISS: 1.01

IZVLEČEK

Temperaturni režimi rek v Sloveniji v obdobju 1976–1990 in spremembe režimov v obdobju 1991–2005
Temperaturni režim rek nam kaže povprečno letno kolebanje temperature vode v rekah. V Sloveniji smo za 28 vodomernih postaj v referenčnem obdobju 1976–1990, s pomočjo metode razvrščanja v skupine, določili štiri glavne tipe temperaturnih režimov: alpski, predalpski, sredozemski ter panonski režim. Primerjava z novejšim obdobjem 1991–2005 je pokazala, da so se pri vseh tipih režimov povišale značilne temperature vode v rekah, razvrščanje v skupine pa je dodatno pokazalo še na zmanjšanje vpliva visokogorja na temperaturo vode v rekah.

KLJUČNE BESEDE

hidrogeografija, temperatura vode, temperaturni režim, razvrščanje v skupine, Slovenija

ABSTRACT

Temperature regimes of Slovenia's rivers in the period 1976–1990 and the changes in the period 1991–2005
River temperature regime shows the annual water temperature fluctuation. Based on the cluster analysis of 28 water gauging stations in the period 1976–1990, four main river temperature types were found: alpine, subalpine, mediterranean and panonian regime. In the comparison of regimes to the newer period 1991–2005 the general increase in river's water temperature was observed and the cluster analysis of the latter period discovered the decrease of mountainous conditions to the water temperature.

KEY WORDS

hydrogeography, water temperature, temperature regime, cluster analysis, Slovenia

Uredništvo je prispevek prejelo 13. junija 2011.

1 Uvod

Raziskave temperature vode rek v Sloveniji niso pogoste. Večina raziskav značilnosti hidrosfere (površinskih voda, podzemnih voda, morja) se ukvarja s preučevanjem količine ali kakovosti vode. Pomemben preskok v razmišljanju je prinesla (evropska) Vodna direktiva (Direktiva 2000/60/ES), katere koncept je zelo podoben metodi geografskega preučevanja. Dobro ekološko stanje, ki ga opredeljuje Vodna direktiva, je kompleksno stanje, za dosego katerega morajo biti razmere v vodnem telesu dobre v vseh (soodvisnih) elementih, zagotovljena morajo biti naravna gibanja v prostoru in času. Ena teh komponent je tudi temperatura vode, katere naravna variabilnost na dnevni, sezonski ali letni ravni je pri marsikaterem vodnem telesu ogrožena, še zlasti na vodah z večjimi zaježitvami oz. večjo rabo vode.

2 Temperatura vode in temperaturni režim

Temperatura vode v reki je odvisna od številnih dejavnikov, ki nanjo vplivajo na različnih prostorskih in časovnih lestvicah (Rivers-Moore in sod. 2004). Na temperaturo najbolj vpliva sama količina vode (Richter in sod. 1997; Richter 2003), širše pa je odvisna od podnebja, reliefa (hidromorfologije) in značilnosti samega vodnega telesa (kemična sestava vode, raztopljeni delci, produkcija alg) (Baron in sod. 2003). Na dnevni ravni je temperatura vode najbolj odvisna od temperature zraka (Essig 1998), velik pomen ima tudi odprtost struge in obvodno rastlinje.

Temperaturni cikel v veliki meri vpliva na zdravje vodnih rastlin in živali, na samo razporeditev teh v prostoru ter na variacije teh združb med letnimi časi (Baron in sod. 2003; Rivers-Moore in sod. 2004). Je eden izmed glavnih okoljskih dejavnikov, ki vplivajo na vodni in obvodni ekosistem in na dinamiko naravnega habitata. Sprememba v temperaturi vode vpliva na ekološki in biološki sistem vodnega telesa (Preece in sod. 2002; Baron in sod. 2003; Daging in sod. 2005), vedno večji vpliv pa imajo antropogeni vplivi, ki lahko prek sprememb v temperaturi umetno zmanjšajo ali povečajo biotsko pestrost reke in tudi njenega obrežja (Baron in sod. 2003). Temperatura vode namreč pogojuje metabolične procese, stopnje aktivnosti in produktivnost vodnih organizmov (Baron in sod. 2003). Neposredno vpliva na količino kisika v njej, od nje pa je odvisna tudi večina kemičnih, fizikalnih in bioloških značilnosti vode (Rivers-Moore in sod. 2004) ter tudi sam vodni habitat (ekosistem) (Richter in sod. 1997; Essig 1998).

2.1 Temperaturni režim

S temperaturnim režimom za reke opisujemo sezonske temperature vode ter variabilnost temperatur prek leta (Daging in sod. 2005). Podobno kot pri pretočnih režimih (Hrvatín 1998; Frantar in Hrvatín 2005), ki prikazujejo povprečno kolebanje pretokov, temperaturni režimi prikazujejo povprečno letno kolebanje temperatur rečne vode. Naravni temperaturni režim imajo reke z naravnimi strugami oziroma takšne z minimalnimi posegi v rabo tal njihovih porečij. Velik neposredni vpliv na temperaturo vode in posledično na temperaturni režim imajo zadrževalniki vode, ki močno spreminijo sezonski cikel in temperaturni režim na reki dolvodno od zadrževalnika.

Temperaturni režim reke izraža ravnovesje med dejavniki zviševanja (vnosa energije) ter dejavniki zniževanja (izgube energije) temperature vode. Sončna radiacija, površinsko trenje, pritoki vode, ki so dejavniki zviševanja temperature vode v rekah, se izničujejo z dejavniki zniževanja temperature vode, kot je na primer izhlapevanje. Na temperaturo vode pa vplivajo še drugi dejavniki, kot so osenčenost, količina pretoka, izoblikovanost struge in vpliv hiporheične cone (stik podtalnice in površinske vode). Rast pretoka po reki dolvodno se izraža tudi v spremenjenem odzivu vode na temperaturo zraka, kar se izraža v tem, da se vzdolž reke temperatura vode spreminja tako na dnevni kot na sezonski ravni (Essig 1998; Rivers-Moore in sod. 2004). Večja količina vode pomeni manjše dnevno nihanje in obratno.

2.2 Podnebne spremembe in temperature vode

S spremembami podnebja se spreminjajo tudi temperature vode in temperaturni režimi rek. Vedno več je dokazov o spremenljivosti podnebja zaradi naraščanja koncentracij toplogrednih plinov, kar povzroča segrevanje ozračja. Vse to pa se odraža tudi na temperaturah voda (Lohmann 2003; EPA 2009). Raziskave podnebnih sprememb in vpliva le-teh na dele hidrosfere (reke, jezera, ledenike) kažejo, da se je segrevanje izrazito povečalo po letu 1980 oziroma 1990 (Gabrovec 1998; Nadbath 1999; Houghton in sod. 2001; Danielson 2002; Trivedi 2002).

Glavni pokazatelji podnebnih sprememb so kazalci, ki jih delimo v dve osnovni skupini (Houghton in sod. 2001): temperaturni in hidrološko-nevihtni kazalci. Temperaturni kazalci kažejo na spremembo temperature; mednje spada tudi temperatura vode v rekah. Po doslej opravljenih analizah temperatur v vodnih telesih v Sloveniji, ki zajemajo porečje Savinje (Frantar 2006) ter Bohinjsko jezero (Frantar 2004), kažejo na rast temperature vode.

3 Metoda dela

Razvrščanje v skupine je mogoče izvesti z različnimi metodami združevanja. Izbrali smo hierarhično razvrščanje, ker ta od uporabnika ne zahteva vnaprejšnjega opredeljevanja števila skupin iskane razvrstitve (Ferligoj 1989; Nass 1999; McCarthy 2007).

Razvrščanje v skupine (ang. *cluster analysis*) je multidimenzijska analiza, kjer se deli skupine objektov na podskupine, tako da vsak objekt pripada samo eni podskupini. Podskupine na katerikoli ravni morajo biti sestavljene iz medsebojno podobnih objektov (McCarthy 2007). Potek postopnega združevanja objektov v skupine grafično ponazarja drevo združevanja ali dendrogram. Višina točke, ki jo imenujemo raven združevanja, je sorazmerna meri različnosti med skupinama (Ferligoj 1989; McCarthy 2007). Poznamo več metod hierarhičnega združevanja v skupine. Glede na oceno dobljene rešitve smo najboljši rezultat dosegli z uporabo maksimalne metode (ang. *complete linkage*). Podoben, a po našem mnenju nekoliko slabši rezultat, smo dobili z uporabo Wardove metode, ki je bila v Sloveniji najbolj uporabljana za analizo pretočnih režimov (Hrvat in Hrvat 1998; Frantar in Hrvat 2005). Maksimalna metoda oziroma

Preglednica 1: Uporabljene vodomerne postaje s podatki o temperaturah vode.

vodomerna postaja	vodomerna postaja
1 Ledava Polana	15 Savinja Solčava
2 Bohinjsko Jezero Sv. Duh	16 Savinja Nazarje
3 Jezernica Mlino	17 Savinja Celje
4 Sava Radovljica	18 Savinja Laško
5 Sava Šentjakob	19 Paka Rečica
6 Sava Litija	20 Bolska Dolenja vas
7 Sava Čatež	21 Loznica Levec
8 Sora Suha	22 Krka Podbočje
9 Kamniška Bistrica Kamnik	23 Prečna Prečna
10 Kolpa Metlika	24 Soča Solkan
11 Lahinja Gradac	25 Idrija Hotešk
12 Ljubljana Vrhnika	26 Bača Bača
13 Ljubljana Moste	27 Vipava Miren
14 Ljubija Verd	28 Notranjska Reka Cerkevnikov Mlin

Preglednica 2: Povprečne mesečne in letne temperature (v °C) na analiziranih vodotokih v obdobju 1976–1990 (vir: Baza ... 2011).

vodotokna postaja	januar	februar	marec	april	maj	junij	julij	avgust	september	oktober	november	december	leto
Ledava Polana	0,5	1,0	3,5	6,2	11,4	14,7	17,5	17,1	13,1	8,6	3,6	1,2	8,2
Bohinjsko jezero	2,9	1,6	3,1	6,9	10,8	13,8	17,3	18,2	15,5	11,5	7,6	5,2	9,5
Jezerca Mlino	3,7	3,5	5,1	8,6	14,4	19,0	21,5	21,7	18,8	14,8	9,7	5,7	12,2
Sava Radovljica	2,4	2,9	4,5	6,3	8,3	10,4	12,2	12,1	10,8	8,4	5,5	3,7	7,3
Sava Šentjakob	4,1	4,3	6,0	8,0	10,3	12,3	14,1	14,2	12,5	10,2	7,0	5,2	9,0
Sava Litija	4,4	5,1	6,3	8,1	10,9	12,9	15,3	15,4	13,4	10,4	7,0	5,3	9,5
Sava Čatež	4,8	5,9	8,1	10,3	13,5	15,7	18,1	18,6	15,5	11,9	8,0	6,0	11,4
Sora Suha	2,5	2,9	4,5	6,6	9,8	12,1	14,1	14,4	12,5	9,7	5,9	3,8	8,2
Kamniška													
Bistrica Kamnik	4,4	5,0	6,2	7,5	8,3	9,0	10,3	10,9	9,9	8,6	6,7	5,3	7,7
Kolpa Metlika	4,7	5,8	8,1	10,0	13,7	17,0	20,4	19,5	15,5	11,5	7,6	6,0	11,7
Lahninja Gradac	5,4	6,5	9,0	11,3	14,1	16,3	18,7	18,5	15,1	11,6	8,1	6,8	11,8
Ljubljanska Vrhnika	6,4	6,9	7,6	8,7	10,6	11,9	12,7	12,5	11,6	10,8	9,0	7,2	9,7
Ljubljanska Moste	5,9	6,3	7,3	9,4	12,2	14,5	16,7	16,5	14,4	12,0	8,8	6,7	10,9
Ljubija Verd	6,1	6,5	7,4	8,9	11,0	12,8	13,7	13,7	12,5	11,4	9,3	7,2	10,0
Savinja Solčava	3,1	3,1	3,8	5,0	6,5	7,5	8,2	8,5	7,7	6,7	4,9	4,0	5,7
Savinja Nazarje	2,1	2,6	4,3	6,6	8,7	10,6	12,7	13,2	11,4	8,9	5,5	3,6	7,5
Savinja Celje	2,2	3,0	5,0	8,1	11,3	13,8	16,3	16,3	14,0	10,7	6,1	3,7	9,2
Savinja Laško	2,3	3,0	5,3	8,4	11,7	14,5	16,9	17,0	14,5	10,8	6,3	3,6	9,5
Paka Rečica	2,8	3,5	5,3	8,4	12,7	15,7	17,7	17,8	15,3	11,7	6,8	4,1	10,1
Bolska Dolenja vas	4,2	4,5	5,5	7,9	11,0	13,2	14,9	15,0	13,1	10,5	7,5	5,5	9,4
Ložnica Levec	1,7	2,0	4,0	5,7	10,5	13,6	16,2	15,5	11,8	9,2	5,2	2,5	8,2
Krka Podbočje	4,8	5,6	8,1	10,3	13,9	16,5	18,5	18,8	15,7	11,6	8,1	6,2	11,5
Prečna Prečna	9,2	9,2	9,6	10,4	11,7	13,0	13,5	13,7	13,1	12,2	10,6	9,6	11,3
Soča Solkan	5,3	6,0	7,4	9,1	10,4	12,2	14,6	15,1	13,1	10,7	7,8	6,3	9,8
Idrijska Hotešk	3,8	4,5	6,4	8,5	11,5	13,6	15,7	15,9	13,4	10,3	6,8	5,0	9,6
Bača Bača	3,0	3,5	5,1	7,2	9,7	11,8	13,4	13,4	11,9	9,8	6,3	4,2	8,3
Vipava Miren	5,1	5,7	8,2	10,5	13,7	16,6	20,0	19,9	16,1	12,3	8,1	6,2	11,9
Notranjska Reka													
Cerkvenkov Mlin	3,3	4,4	6,9	9,9	14,2	17,3	20,2	19,9	16,5	12,4	7,3	4,7	11,4

Preglednica 3: Povprečne mesečne in letne temperature (v °C) na analiziranih vodomernih postajah v obdobju 1991–2005 (vir: Baza ... 2011).

vodomerna postaja	januar	februar	marec	april	maj	junij	julij	avgust	september	oktober	november	december	leto
Ledava Polana	0,5	1,0	3,5	7,2	14,2	18,2	19,7	19,9	14,4	9,3	4,6	1,0	9,5
Bohinjsko jezero	3,2	1,9	4,0	7,2	11,7	15,8	18,3	19,9	15,7	11,2	7,5	5,0	10,1
Jezerica Mlino	4,5	4,1	5,8	9,7	16,3	20,3	22,4	23,1	19,5	15,7	10,9	6,9	13,3
Sava Radovljica	3,7	3,8	5,3	6,8	9,3	11,8	12,9	13,6	11,2	8,6	6,8	4,8	8,2
Sava Senjakob	4,8	5,0	7,1	8,9	12,0	13,9	15,5	15,5	13,1	10,3	7,9	5,5	10,0
Sava Litija	5,1	5,1	7,5	9,3	13,5	16,4	17,6	18,5	14,1	11,4	8,5	5,7	11,1
Sava Čatež	5,8	6,6	9,7	12,0	16,7	19,9	21,5	22,3	17,1	13,2	9,4	6,3	13,4
Sora Suha	3,6	3,4	5,5	7,8	11,7	14,5	15,6	16,4	13,3	10,8	7,9	5,0	9,6
Kamniška Bistrica Kamnik	5,5	5,4	6,8	8,1	8,5	8,7	9,8	11,1	10,2	8,9	7,8	6,3	8,1
Kolpa Metlika	6,1	7,2	9,8	12,1	17,7	21,5	22,5	23,0	17,2	12,3	9,3	6,4	13,8
Lahinja Gradac	6,7	6,8	9,2	11,4	14,8	18,1	19,7	20,0	15,4	11,9	9,3	7,2	12,6
Ljubljanska Vrhnika	6,6	7,0	7,8	8,9	11,0	12,2	12,6	12,5	11,8	10,9	9,7	7,6	9,9
Ljubljanska Moste	5,8	6,3	8,3	9,9	13,9	15,8	17,1	17,3	14,7	11,9	9,4	6,8	11,4
Ljubija Verd	6,4	6,7	7,8	8,9	11,2	12,4	12,8	13,1	12,1	11,2	9,6	7,3	10,0
Savinja Solčava	3,7	3,3	4,2	5,4	7,1	8,4	9,0	9,3	8,4	7,3	6,0	4,4	6,4
Savinja Nazarje	3,2	2,9	5,3	7,4	10,3	12,6	13,8	14,6	11,7	9,2	6,9	4,3	8,5
Savinja Celje	3,2	3,1	6,4	9,0	13,2	15,9	17,8	17,3	14,7	11,2	7,9	4,4	10,3
Savinja Laško	3,0	3,1	6,1	9,2	13,8	16,9	18,2	18,4	14,2	11,0	7,5	3,8	10,4
Paka Rečica	3,9	4,5	7,0	9,9	15,0	18,2	18,8	19,4	15,5	12,2	8,5	4,9	11,5
Bolska Dolenja vas	4,7	4,9	6,8	9,1	13,2	15,6	17,0	17,1	14,4	12,3	9,0	5,5	10,8
Ložnica Levec	2,7	2,6	5,6	8,8	13,6	16,6	18,0	18,0	14,5	11,3	7,6	3,8	10,3
Krka Podbočje	5,5	6,1	9,0	11,1	15,4	18,8	20,5	21,1	16,1	11,9	8,9	6,1	12,6
Prečna Prečna	9,6	9,7	10,4	10,9	12,0	12,8	13,4	13,6	13,0	12,1	11,0	9,9	11,5
Soča Solkan	5,7	5,7	7,7	9,5	11,4	13,8	14,8	16,1	13,0	10,3	8,4	6,4	10,2
Idrijska Hotešk	5,0	4,5	7,3	8,8	12,2	15,8	16,9	17,0	13,6	10,5	8,2	5,5	10,4
Bača Bača	4,6	4,2	6,4	8,0	11,0	13,2	14,5	15,0	12,7	10,5	8,3	5,5	9,5
Vipava Miren	6,1	6,2	8,9	11,0	15,3	17,9	19,8	21,1	15,5	11,9	9,5	6,8	12,5
Notranjska Reka Cerkvenikov Mlin	4,0	4,1	7,4	10,3	13,8	17,7	19,9	19,9	16,5	11,8	8,3	5,2	11,6

metoda najbolj oddaljenega soseda temelji na največji razdalji med objekti – torej na medsebojno najmanj podobnih objektih. Značilnost tega razvrščanja je, da je objekt pridružen v skupino samo, če je povezan z vsemi objekti, ki so že v skupini. To pravilo velja za združevanje skupin (Statsoft 1998; McCarthy 2007). Metoda se obnese, kjer objekti tvorijo že po naravi različne grozde, neprimerna pa je pri verižno povezanih objektih (Statsoft 1998).

Podobnost med objekti med posameznimi postajami v istem obdobju smo računali na temelju evklidske razdalje. Evklidska razdalja je mera podobnosti, ki predstavlja geometrijsko razdaljo v multidimenzionalnem prostoru (StatSoft 1998; McCarthy 2007). Izbrana metoda je primerna, ker ni velikih razlik med samimi temperaturnimi vrednostmi, prav tako pa vrednosti ni treba standardizirati.

Razvrščanje v skupine je bilo izvedeno na podlagi povprečnih mesečnih temperatur vode za 28 vodomernih postaj Agencije Republike Slovenije za okolje. Temperature se praviloma merijo enkrat dnevno zjutraj ali zvezo (WMO 1994). Uporabili smo povprečne dnevne oziroma trenutne dnevne meritve temperature vode v rekah in na tej podlagi pridobili povprečne mesečne vrednosti.

Zaradi boljše prostorske pokritosti smo analizirali obdobje 1976–2005. Pred letom 1976 se je merilo temperaturo vode zgolj na nekaterih vodomernih postajah. Celoten niz smo razdelili na dve obdobji: 1976–1990 in 1991–2005. Starejše obdobje smo opredelili kot referenčno obdobje.

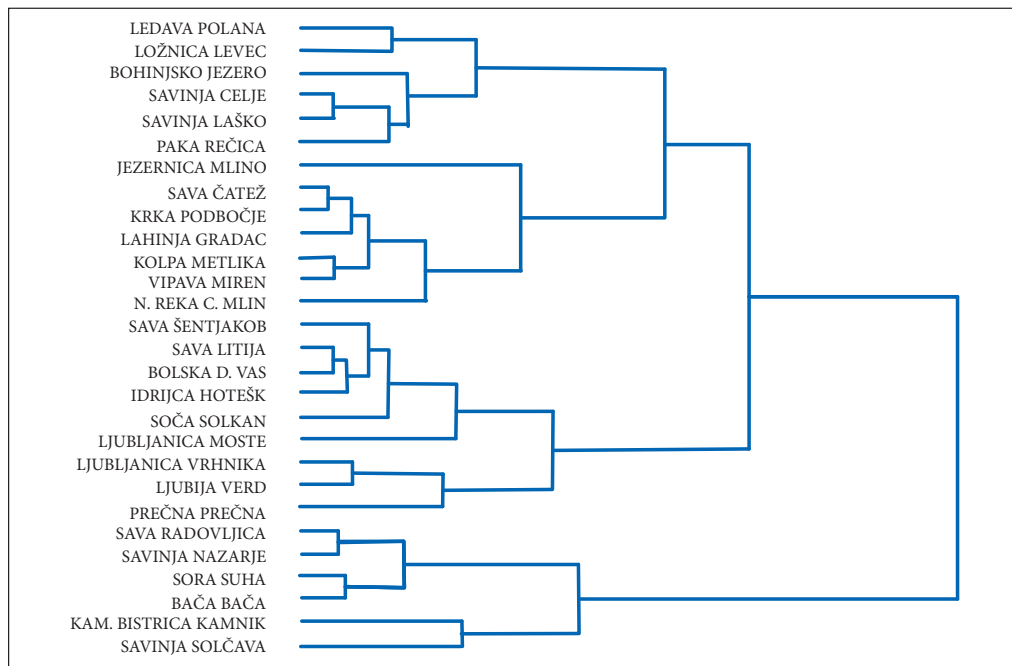
Prostorska razporeditev vodomernih postaj v obdobju 1976–1990 ni bila najboljša, saj v Podravju v tem obdobju ni niti ene vodomerne postaje s popolnim nizom podatkov. V Podravju sta dve vodomerni postaji pričeli z delovanjem šele leta 1980. Podobno je na območju kraške Ljubljane. V naboru sta tudi dve postaji z izrazitim vplivom jezera (Bohinjsko jezero Sv. Duh in Jezernica Mlino) in postaja na Paki z večjim vplivom umetnega vodnega telesa.

V nasprotju z analizo količnikov pri pretočnih režimih (Hrvat in 1998; Frantar in Hrvat in 2005), kjer je količnik uporabljen za standardizacijo podatkov ter možno primerljivost, je bila ta analiza opravljena na podlagi dejanskih podatkov. Pri temperaturi vode, zaradi same značilnosti merilne lestvice (subjektivna določitev ničle) ter umetnega intervala lestvice (stopinja Celzija), izračunavanje količnikov ni smiselno in ne daje novih informacij o tem pojavu. Lestvica temperature vode je že sama po sebi prilagojena kemijskim lastnostim vode, zato standardizacija ni potrebna. Količniki so neprimeri tudi z ekološkega gledišča, saj temperatura vode 0 °C ali pa visoka temperatura vode sami pomenita spremembo agregatnega stanja vode. To nedvomno zelo vpliva na ekosistem ne glede na povprečno letno temperaturo, od katere bi na primer lahko računali količnik. Pri povprečni temperaturi 10 °C in 15 °C količnik dva pomeni povsem drugo kvaliteto vodnega okolja in ne podaja nobenih novih informacij. Ima pa dejanska temperatura velik pomen za vodne in obvodne organizme ter posledično na vodni in obvodni ekosistem.

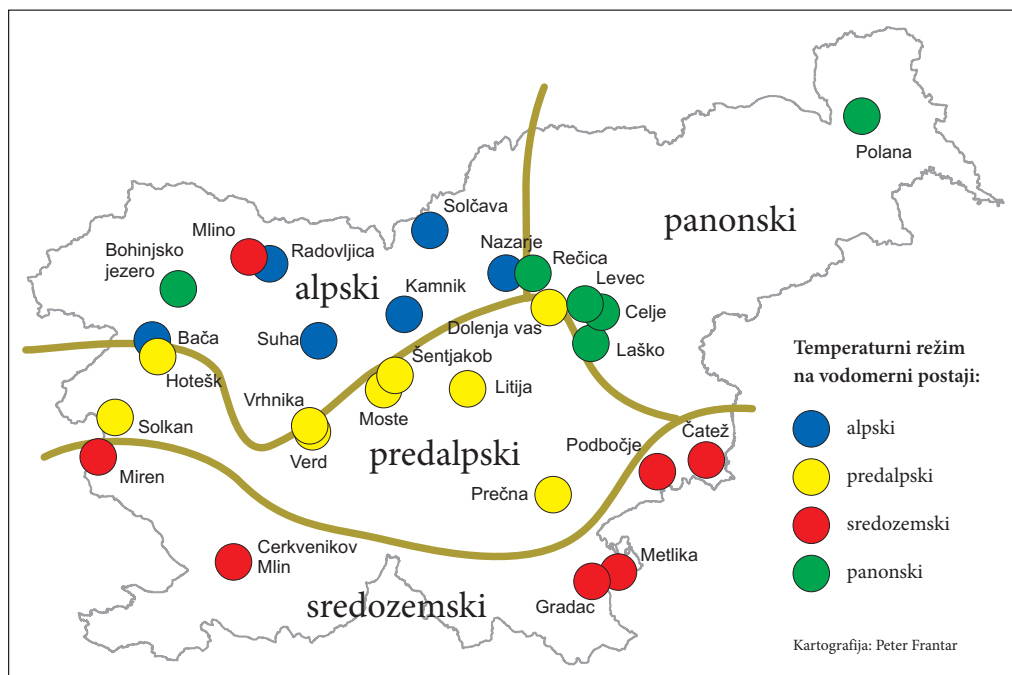
4 Temperaturni režimi v obdobju 1976–1990

Temperaturne režime v obdobju 1976–1990 smo privzeli za referenčne režime, ker naj bi bilo v tem obdobju manj vpliva podnebnih sprememb na temperaturo vode. Na podlagi analize razvrščanja v skupine smo za obdobje 1976–1990 dobili štiri referenčne temperaturne režime. Enostavno poimenovanje režimov je zaradi dolvodnega segrevanja vode rek, vpliva količine pretoka, podnebnih in drugih dejavnikov na nihanje temperature vode ni enostavno. Režime smo glede na glavne regije, kjer se le-ti pojavljajo, poimenovali: alpski, predalpski, sredozemski ter panonski temperaturni režim rek. Imena dinarskega sveta nismo uporabili, se pa značilnosti regije odražajo na predalpskem in sredozemskem temperaturnem režimu. Po razvrstitvi v skupine so predalpski, sredozemski in panonski tip medsebojno bolj povezani, alpski tip pa oblikuje samostojno skupino.

Za pregled analize vpliva podnebnih sprememb na temperaturne režime slovenskih rek smo za posamezne režime pregledali temperaturo vode in potek temperaturnih režimov v novjšem obdobju (1991–2005) ter opravili primerjavo med obema obdobjema. Glavne spremembe v temperaturnih režimih



Slika 1: Združevanja v skupine za obdobje 1976–1990.



Slika 2: Temperaturni režimi slovenskih rek in ocenjene meje med njimi.

rek med obdobjema 1976–1990 ter 1991–2005 so opisane v poglavjih posameznih skupin v nadaljevanju. Pri statistični analizi podatkov smo iz dobljenih skupin izvzeli tri vodomerne postaje, ki imajo prevelik umetni oziroma jezerski vpliv: Bohinjsko jezero, blejsko Jezernico in Pako. Temperaturni režim obdobja 1976–1990 na Bohinjskem jezeru je podoben panonskemu, na blejski Jezernici pa sredozemskemu režimu, reka Paka pa ima temperaturni režim, ki ga imajo okoliške reke.

4.1 Alpski temperaturni režim rek

Skupino sestavljajo reke s povirji v Alpah in alpskem predgorju. Na območju sta tudi dve postaji na jezerih oziroma jezernici (Bohinjsko jezero, blejska Jezernica), ki imata zaradi jezerskih temperaturnih značilnosti popolnoma drug tip temperaturnega režima in v statistični analizi nista obravnavani. V referenčnem obdobju je bila temperatura rek z alpskim temperaturnim režimom najnižja v januarju, v povprečju 2,9 °C, najvišja pa avgusta 12,1 °C. Januarja so bile temperature med 2,1 °C na Savinji v Nazarjah in 4,4 °C na Kamniški Bistrici. Temperature avgusta so bile med 8,5 °C na Savinji v Solčavi in 14,4 °C na Sori pri Suhi. Dve reki sta imeli najvišjo temperaturo vode v juliju (Bača ter Sava pri Radovljici). V referenčnem obdobju je bilo povprečno letno nihanje 9,1 °C, povprečna letna temperatura teh rek pa je bila 7,5 °C.

V obdobju 1991–2005 se je povprečna temperatura rek v tej skupini zvišala na 8,4 °C in je bila za 0,9 °C višja kot v referenčnem obdobju. Povprečno letno nihanje se je povečalo za 0,2 °C na 9,3 °C. Višek ostaja v avgustu, nižek pa je bil v tem obdobju v februarju. Nižek ima v povprečju 3,8 °C, kar je za 1,7 °C več kot v starejšem obdobju, višek v avgustu pa ima 13,3 °C, kar je za 1,2 °C več kot v primerjalnem obdobju. Povprečne januarske temperature so bile med 2,9 °C na Savinji v Nazarjah in 5,4 °C na Kamniški Bistrici v Kamniku. Povprečna avgustovska temperatura pa je bila med 9,3 °C na Savinji v Solčavi in 16,4 °C Sori v Suhi.

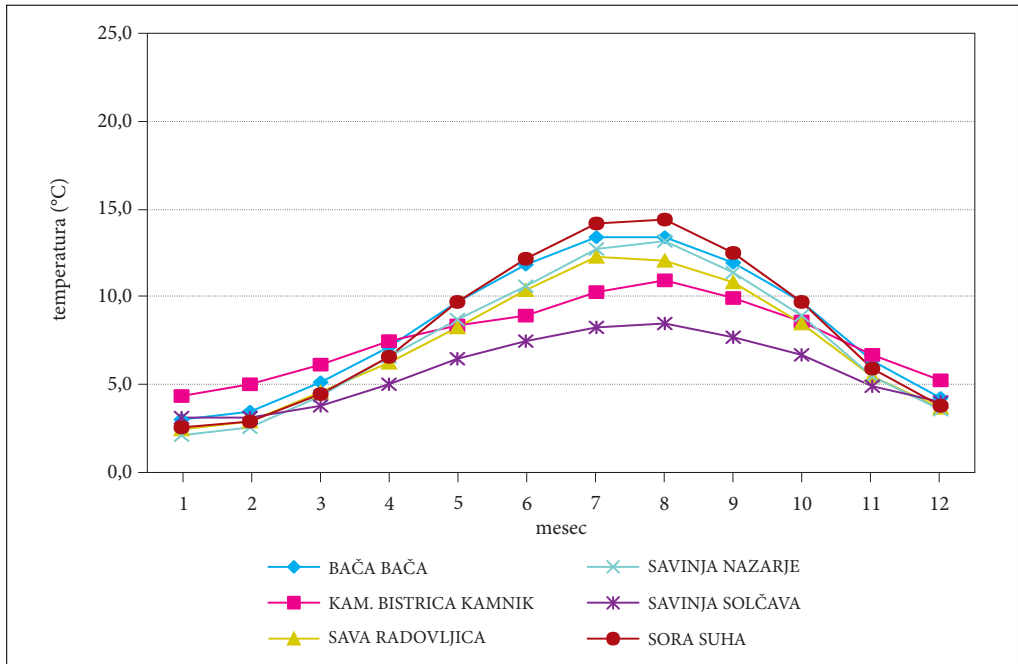
V primerjavi števila mesecev nad izbrano temperaturo smo imeli v starejšem obdobju skoraj štiri mesece na vseh rekah (z izjemo Savinje pri Solčavi) temperaturo nad 10 °C. V novejšem obdobju je bila temperatura nad 10 °C že skoraj pet mesecev. Temperatura vode v rekah pod 5 °C je bila v referenčnem obdobju 3–4 mesece, v novejšem obdobju pa se je čas skrajšal na 2–3 mesece.

4.2 Predalpski temperaturni režim rek

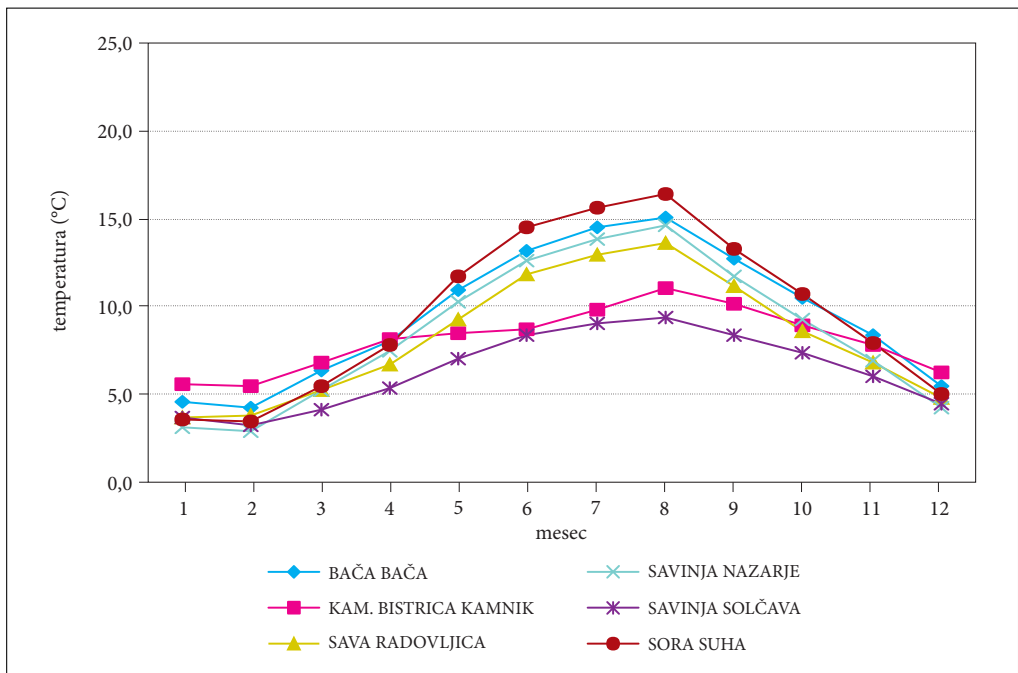
Skupino sestavljajo kraške reke v osrednjem delu države, Idrijca, srednja Sava in spodnja Soča. V referenčnem obdobju je bila povprečna temperatura rek te skupine najnižja v januarju s 5,5 °C, najvišja pa v juliju z 14,7 °C. Januarja so bile temperature med 3,8 °C na Idrijci in 6,4 °C na Ljubljani na Vrhniki. Mnogo višjo januarsko temperaturo ima Prečna (9,2 °C), na kar močno vpliva kras. Temperature so bile avgusta med 12,5 °C na Ljubljani na Vrhniki in 16,5 °C na Ljubljani v Mostah. Tri postaje so imele najvišjo temperaturo vode v juliju (obe postaji na Ljubljani ter Ljubija). V referenčnem obdobju je bilo povprečno letno nihanje 9,2 °C, povprečna letna temperatura rek pa je bila 9,9 °C.

V obdobju 1991–2005 se je temperatura rek v tej skupini zvišala za 0,7 °C in je bila v povprečju 10,6 °C. Povprečna temperatura je bila med 6,0 °C in 15,6 °C. Letno nihanje se je povečalo za 0,5 °C na 9,7 °C. Višek in nižek ostajata nespremenjena. Nižek januarja ima v povprečju 6,0 °C, kar je za 0,5 °C več kot v starejšem obdobju, višek v avgustu pa ima 15,6 °C, kar je za 0,9 °C več kot v primerjalnem obdobju. Povprečne januarske temperature so bile med 4,7 °C na Bolski in 6,6 °C v Ljubljani na Vrhniki. Tudi v tem obdobju ima najvišjo povprečno januarsko temperaturo Prečna z 9,6 °C (prej 9,2 °C). Povprečna avgustovska temperatura pa je bila med 12,5 °C na Ljubljani na Vrhniki in 18,5 °C na Savi pri Litiji.

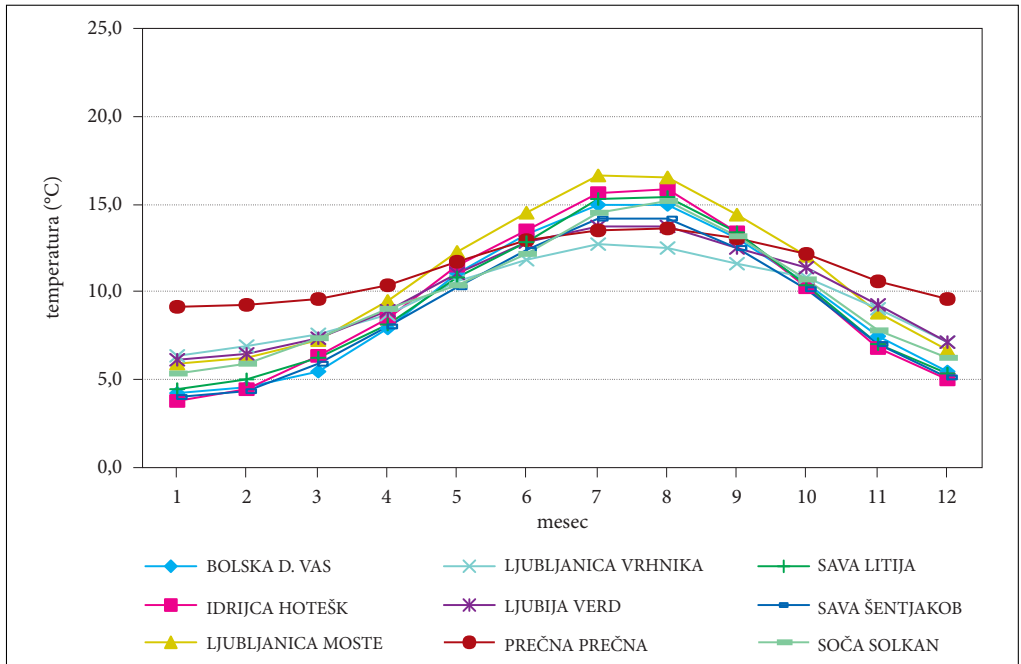
Primerjava števila mesecev s temperaturami nad 15 °C pokaže, da smo v starejšem obdobju imeli zgolj nekaj rek s po dvema mesecema nad 15 °C, v obdobju po letu 1991 pa imajo nekatere reke tudi že po tri mesece temperaturo vode nad 15 °C. Število rek s temperaturo vode pod 5 °C se je v novejšem obdobju zmanjšalo.



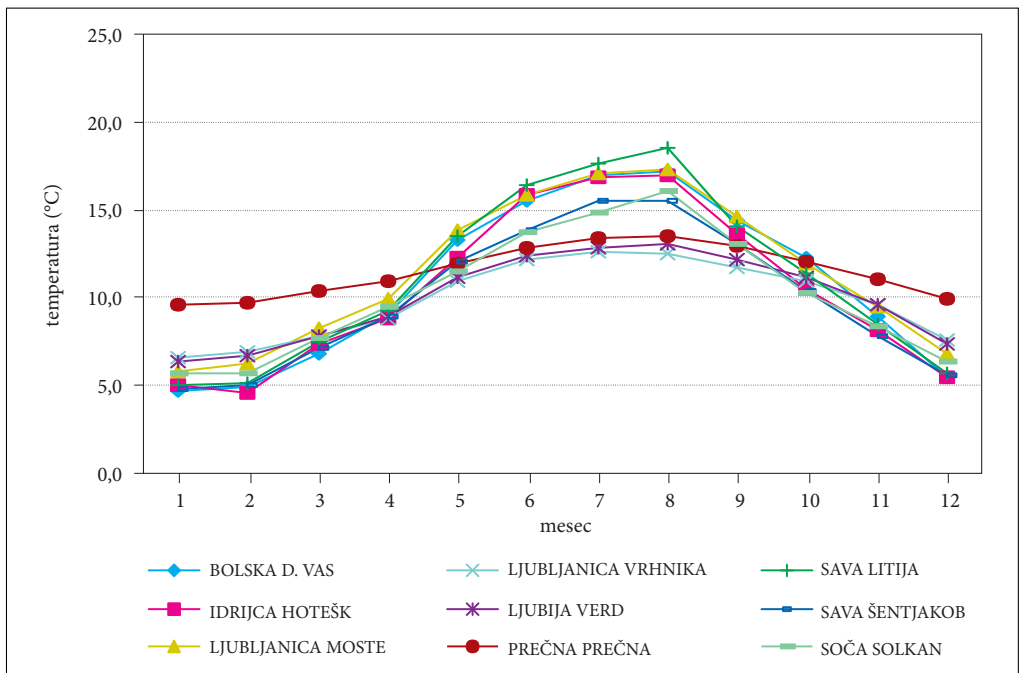
Slika 3: Alpski temperaturni režimi rek v obdobju 1976–1990.



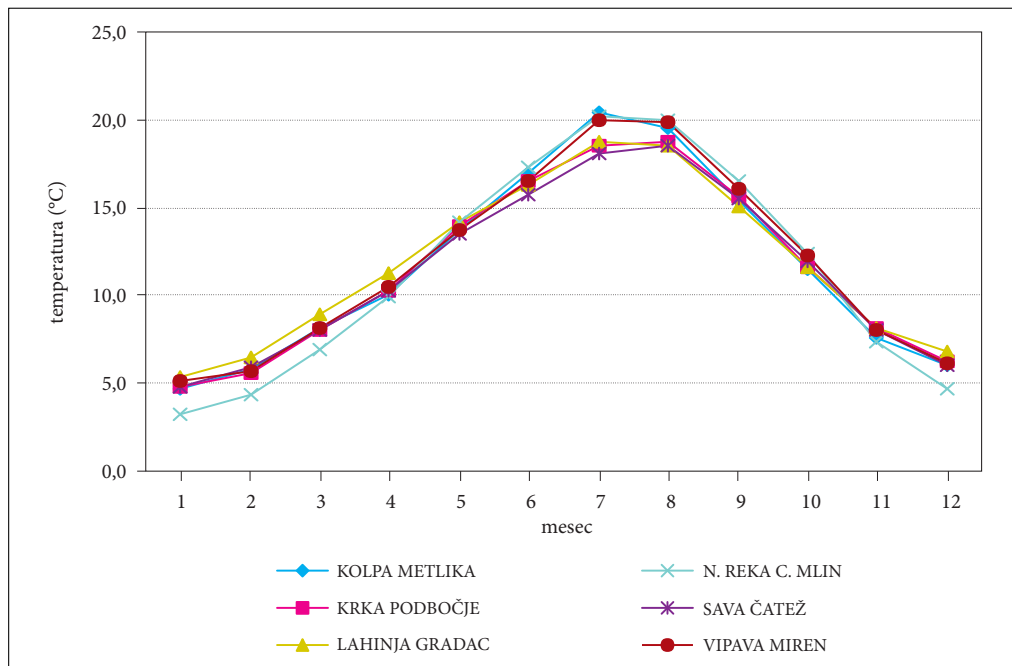
Slika 4: Alpski temperaturni režimi rek v obdobju 1991–2005.



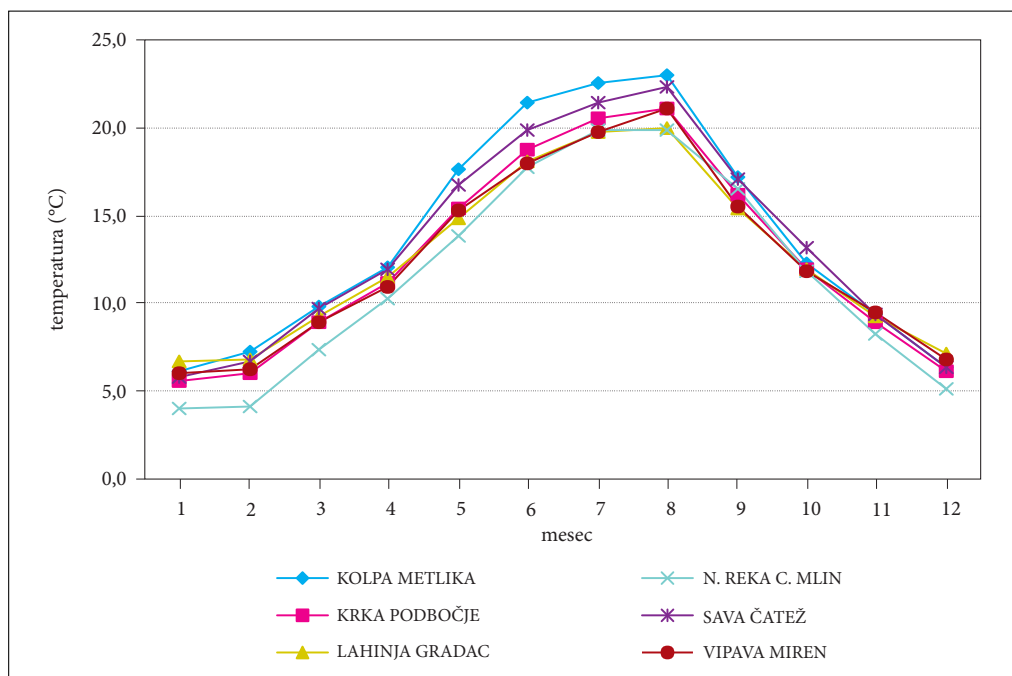
Slika 5: Predalpski temperaturni režimi rek v obdobju 1976–1990.



Slika 6: Predalpski temperaturni režimi rek v obdobju 1991–2005.



Slika 7: Sredozemski temperaturni režimi rek v obdobju 1976–1990.



Slika 8: Sredozemski temperaturni režimi rek v obdobju 1991–2005.

4.3 Sredozemski temperaturni režim rek

Skupino sestavljajo kraške reke na jugu države in Sava pri Čatežu. V referenčnem obdobju je bila najnižja temperatura v januarju s 4,7 °C, najvišja pa v juliju z 19,3 °C. Januarja so bile temperature med 3,3 °C na Notranjski Reki in 5,4 °C na Lahinji, temperature avgusta pa so bile med 18,1 °C na Savi pri Čatežu in 20,4 °C na Kolpi. Dve reki (od šestih) sta imeli najvišjo temperaturo vode v juliju. V referenčnem obdobju je bila povprečna temperatura rek tega režima med 4,7 °C in 19,3 °C; letno nihanje je bilo 14,6 °C. Povprečna letna temperatura teh rek je bila 11,6 °C.

V obdobju 1991–2005 se je temperatura rek zvišala. Povprečna temperatura rek je bila 12,7 °C, kar je za 1,1 °C več kot v referenčnem obdobju. V obdobju 1991–2005 je bila povprečna temperatura rek med 5,7 °C in 20,6 °C, letno nihanje pa 14,9 °C, kar je 0,3 °C več kot v starejšem obdobju. Temperaturni režim ohranja najnižjo temperaturo januarja, višek pa se je premaknil v avgust. Povprečna januarska temperatura je bila 5,4 °C, kar je za 0,7 °C več kot v starejšem obdobju, povprečna avgustovska pa 21,2 °C, kar je za 1,9 °C več kot v starejšem obdobju. Povprečne januarske temperature so bile med 4,0 °C na Notranjski Reki in 6,7 °C na Lahinji. Povprečna avgustovska temperatura pa je bila med 19,9 °C na Notranjski Reki in 23,0 °C na Kolpi.

V primerjavi obdobjem imamo v drugem obdobju pet mesecev s temperaturo vode nad 15 °C; v referenčnem obdobju so imeli prek 15 °C trije meseci. Temperatura vode v rekah je bila pod 5 °C v referenčnem obdobju na skoraj vseh postajah po slab mesec, v obdobju 1991–2005 pa so bile takšne temperature samo na Notranjski Reki, ostale postaje pa so imele povprečno mesečno temperaturo vedno nad 5 °C.

4.4 Panonski temperaturni režim rek

V to skupino so se uvrstile reke na vzhodu države ter Savinja v spodnjem toku. V referenčnem obdobju je bila temperatura rek najnižja v januarju z 1,7 °C, najvišja pa v juliju s 16,7 °C. Januarja so bile temperature med 0,5 °C na Ledavi in 2,5 °C na Savinji v Laškem. Temperatura je od marca do julija dokaj enakomerno naraščala. Julija so bile temperature med 16,2 °C na Ložnici in 17,5 °C na Ledavi. V referenčnem obdobju je bila povprečna temperatura rek med 1,7 °C in 16,7 °C; letno nihanje je bilo 15 °C. Povprečna letna temperatura teh rek je bila 8,8 °C.

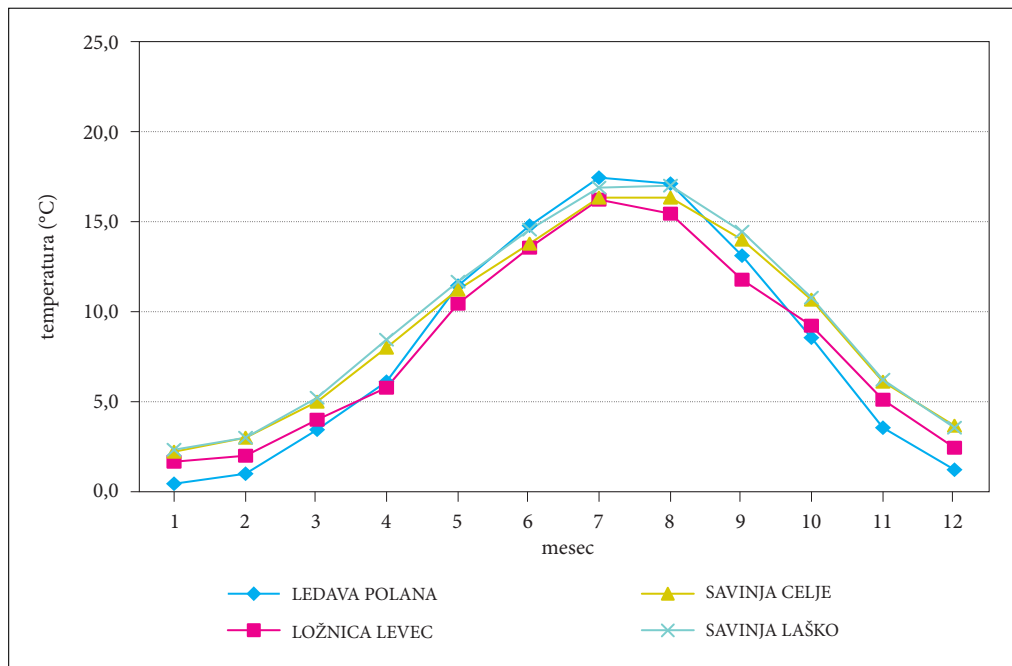
V obdobju 1991–2005 se je povprečna temperatura dvignila na 10,1 °C, kar je za 1,3 °C več kot v referenčnem obdobju. V obdobju 1991–2005 je bila povprečna temperatura med 2,6 °C in 18,7 °C; letno nihanje je bilo 16 °C, kar je 1 °C več kot v referenčnem obdobju. Temperaturni režim ohranja najnižjo temperaturo januarja in najvišjo julija. Obe pa sta višji. Povprečna januarska je bila 2,4 °C (+ 0,7 °C), povprečna julijska pa 18,4 °C (+ 1,7 °C). Povprečna januarska temperatura je bila med 0,5 °C na Ledavi in 3,2 °C na Savinji v Celju. Povprečna julijska temperatura pa je bila med 17,8 °C na Savinji v Celju in 19,7 °C na Ledavi. Čeprav je julijsko povprečje višje od avgustovskega pa imajo tri reke od štirih najvišje temperature avgusta. Višek v temperaturnem režimu se je tako premaknil v avgust.

V primerjavi obdobjem imamo v drugem obdobju na vseh rekah tri mesece z nad 15 °C, prej pa sta bila to zgolj julij in avgust. Temperatura vode v rekah je bila v referenčnem obdobju pod 5 °C 3–4 mesece, v obdobju 1991–2005 pa 4–5 mesecev.

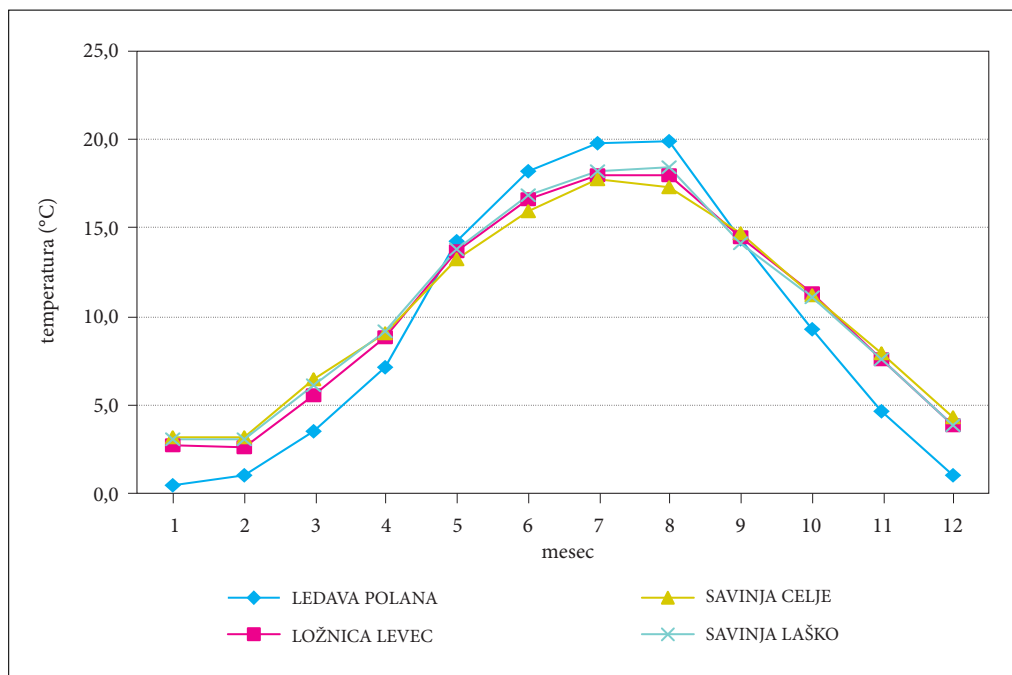
5 Temperaturni režimi v obdobju 1991–2005

Analiza razvrščanja temperatur voda v skupine na istih postajah v obdobju 1991–2005 opredeljuje dva glavna tipa temperaturnega režima s po dvema podskupinama. Meja med tipoma je težko določljiva, lahko pa bi režima ločili na alpsko-predalpski in panonsko-sredozemski temperaturni režim.

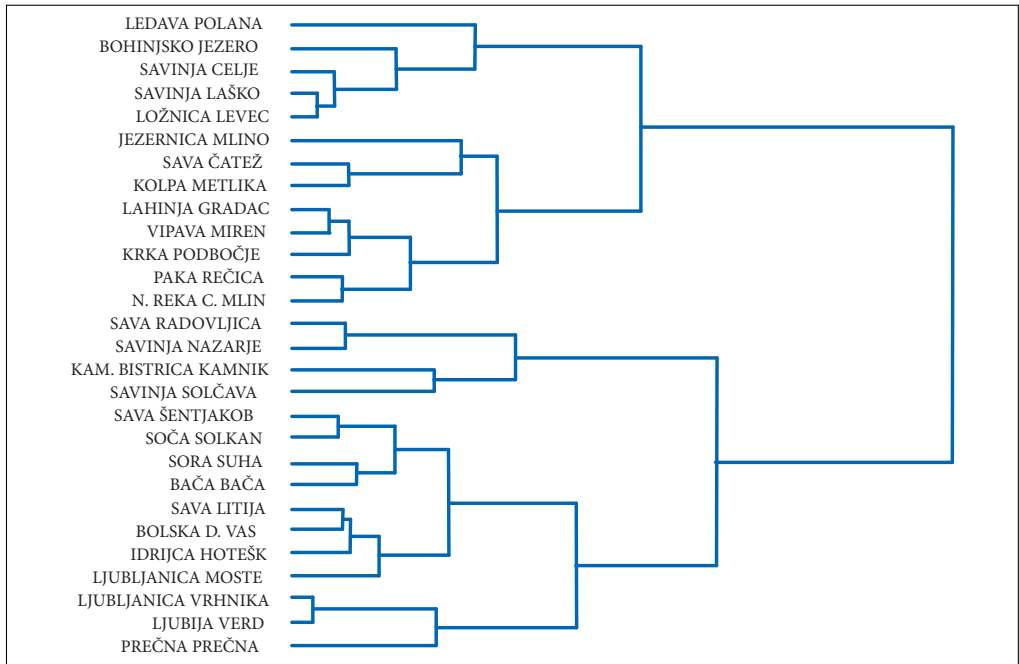
V alpsko-predalpskem tipu je v novejšem obdobju vpliv visokogorja zaznati na rekah (prva podskupina): Kamniška Bistrica, Savinja (do Nazarij) ter Sava (do Radovljice). V drugi podskupini so reke



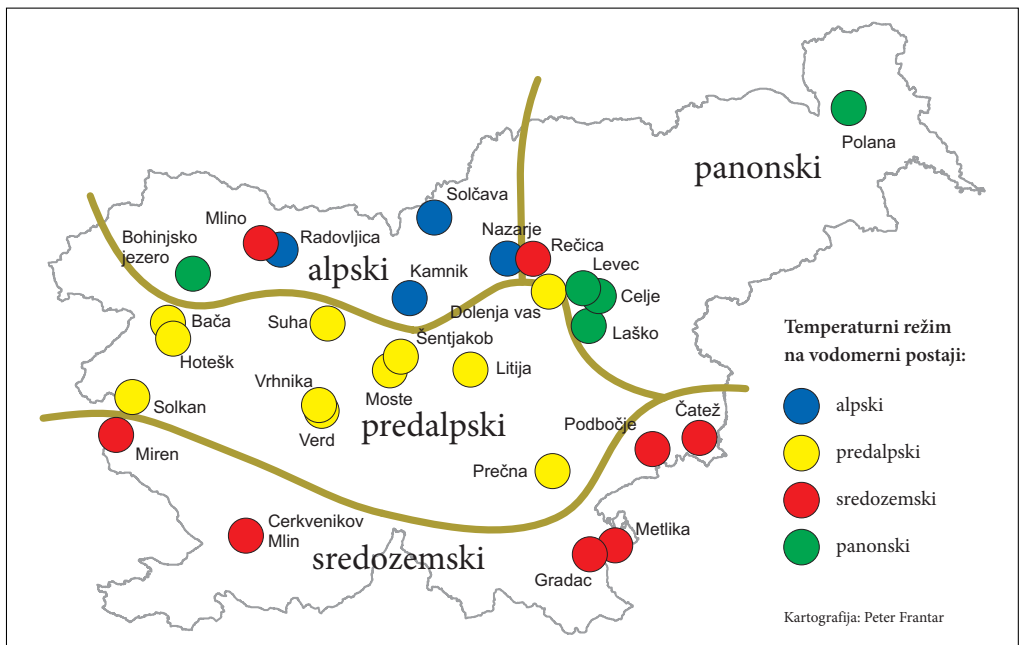
Slika 9: Panonski temperaturni režimi rek v obdobju 1976–1990.



Slika 10: Panonski temperaturni režimi rek v obdobju 1991–2005.



Slika 11: Združevanja v skupine za obdobje 1991–2005.



Slika 12: Skupine vodomernih postaj po razvrščanju temperaturnih režimov v obdobju 1991–2005. Nakazan je domnoven potek meje med dvema glavnima skupinama temperaturnih režimov.

z vplivom krasa, za katere so značilne nižje temperature in manjše letno nihanje, ter manjše predalpske reke v njihovem srednjem toku, nekaj 10 kilometrov dolvodno od izvira.

V panonsko-sredozemskem tipu v novejšem obdobju prvo podskupino sestavljajo reke severovzhodne Slovenije, drugo podskupino pa reke južne Slovenije. Glavni skupini sta tako kot v referenčnem obdobju podobna režima na Bohinjskem jezeru ter blejski Jezernici, temperaturni režim na reki Paki pa je zaradi umetnega vpliva na temperaturo vode v tem obdobju bolj podoben sredozemskemu kot pa panonskemu tipu.

6 Sklep

Z razvrščanjem temperaturnih režimov slovenskih rek v skupine v referenčnem obdobju 1976–1990 smo dobili štiri glavne tipe temperaturnih režimov: alpski, predalpski, sredozemski in panonski. Najbolj samosvoj režim imajo alpske reke, katerih skupina je statistično najbolj ločena od preostalih, medsebojno bolj povezanih skupin.

Primerjava obdobja 1991–2005 z referenčnim obdobjem 1976–1990 je potrdila spremembe v temperaturnih režimih slovenskih rek, kar lahko povežemo s spremembami podnebja. Skupna sprememba v vseh štirih temperaturnih režimih je dvig temperature prek celega leta, povečanje števila mesecev s temperaturo nad 15 °C ter zmanjšanje števila mesecev s temperaturo pod 5 °C. V obdobju 1991–2005 beležimo na vseh vodomernih postajah dvig povprečnih, najnižjih in najvišjih mesečnih temperatur ter dvig letnih nihanj. Najvišji dvig povprečnih temperatur je na vzhodu in jugu države, najnižji pa v osrednji Sloveniji.

Preglednica 4: Spremembe temperatur rek (v °C) po posameznih temperaturnih režimih v obdobju 1991–2005 v primerjavi z obdobjem 1976–1990.

	povprečna letna temperatura	letno nihanje	minimalno povprečje	maksimalno povprečje
alpski	+0,9	+0,2	+1,7	+1,2
predalpski	+0,7	+0,5	+0,5	+0,9
sredozemski	+1,1	+0,3	+0,7	+1,9
panonski	+1,3	+1,0	+0,7	+1,7

Poleg povišanja temperatur v obdobju 1991–2005 v primerjavi z obdobjem 1976–1990 se v novejšem obdobju kaže zmanjšanje vpliva visokogorja na temperaturni režim rek. Na to sklepamo iz rezultatov razvrščanja, pri katerem so bile reke alpskega temperaturnega režima združene s skupino predalpskih rek. Pomemben je tudi antropogeni vpliv, zaradi katerega se reka Pake v novejšem obdobju uvršča v sredozemsko podskupino.

V nadaljnjih raziskavah bo smiselno preveriti temperaturne režime na slovenskih rekah po letu 1990 na večjem številu vodomernih postaj, poleg tega pa bi bilo smiselno preučiti tudi temperature na rekah sosednjih držav.

7 Viri in literatura

Baza hidroloških podatkov – hidrolog. Agencija Republike Slovenije za okolje. Ljubljana, 2011.
 Baron, J. S., Poff, N. L., Angermeier, P. L., Dahm, C. N., Gleick, P. H., Hairston, N. H. jr., Jackson, R. B., Johnston, C. A., Richter, B. D., Steinman, A. D. 2003: Sustaining Healthy Freshwater Ecosystems. Issues in Ecology 10. Washington.

- Danielson, S. 2002: Everest Melting? High Signs of Climate Change. Medmrežje: http://news.national-geographic.com/news/2002/06/0605_020604_everestclimate.html (21. 2. 2003).
- Daqing, Y., Baozhong, L., Baisheng, Y. 2005: Stream temperature changes over Lena River Basin in Siberia. *Geophysical Research Letters* 32. Medmrežje: http://ine.uaf.edu/werc/people/yang/bcp/2005_yang_lena_grl.pdf (5. 6. 2011).
- Direktiva Evropskega parlamenta in sveta 2000/60/ES z dne 23. oktobra 2000 o določitvi okvira za ukrepe Skupnosti na področju vodne politike. Uradni list Evropske unije. Medmrežje: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/site/sl/dd/15/05/32000L0060SL.pdf> (5. 6. 2011).
- Environmental Protection Agency – EPA 2009: The Effect of Climate Change on Water Resources and Programs. Watershed Academy Web. Medmrežje: http://www.epa.gov/watertrain/climate_water/index.htm (15. 7. 2009).
- Essig, D. A. 1998: The dilemma of applying uniform temperature criteria in a diverse environment: an issue analysis. Idaho Division of Environmental Water Quality. Boise. Medmrežje: http://www.deq.idaho.gov/water/data_reports/surface_water/monitoring/temp_criteria_analysis.pdf (15. 5. 2008).
- Ferligoj, A. 1989: Razvrščanje v skupine. Metodološki zvezki 4. Ljubljana.
- Frantar, P. 2004: Analiza temperaturnega režima in pojava ledu na Bohinjskem jezeru. Ujma 17-18. Ljubljana.
- Frantar, P. 2006: Hidrogeografija Šaleške in Zgornjesavinjske doline. 19. zborovanje slovenskih geografov. Velenje.
- Frantar, P., Hrvatin, M. 2005: Pretočni režimi v Sloveniji med letoma 1971–2000. *Geografski vestnik* 77-2. Ljubljana.
- Gabrovec, M. 1998: Triglavski ledenik med letoma 1986 in 1998. *Geografski zbornik* 37. Ljubljana.
- Houghton, J. T., Ding, Y., Griggs, D. J., Noguer, M., van der Linden, P. J., Dai, X., Maskell, K., Johnson, C. A. 2001: *Climate Change 2001: The Scientific Basis*. Cambridge. Medmrežje: http://www.grida.no/climate/ipcc_tar/ (21. 2. 2003).
- Hrvatin, M. 1998: Pretočni režimi v Sloveniji. *Geografski zbornik* 38. Ljubljana.
- Lohmann, U. 2003: Course Announcement PHYC/OCEA 2800.03 Climate Change. Medmrežje: <http://www.mscs.dal.ca/~lohmann/clch/course.html> (20. 2. 2003).
- McCarthy, B. C. 2007: Cluster Analysis. Medmrežje: <http://www.plantbio.ohiou.edu/epb/instruct/multivariate/Week7Lectures.pdf> (9. 7. 2009).
- Nadbath, M. 1999: Triglavski ledenik in spremembe podnebja. Ujma 13. Ljubljana.
- Nass, P. 1999: Multivariate Analysis Methods. Medmrežje: <http://www.eso.org/sci/data-processing/software/esomidas/doc/user/98NOV/volb/node210.html> (9. 7. 2009).
- Preece, R. M., Jones, H. A. 2002: The effect of Keepit Dam on the temperature regime of the Namoi River, Australia. *River Research and Applications* 18. Chichester. DOI: 10.1002/rra.686
- Richter, B. D. 2003: Protecting instream flows: How much water does a river need? Medmrežje: <http://www.epa.gov/watertrain/pdf/protectinginstream.pdf> (20. 3. 2009).
- Richter, B. D., Baumgartner, J. V., Wigington, R., Braun, D. P. 1997: How much water does a river need? *Freshwater Biology* 37. Oxford. DOI: 10.1046/j.1365-2427.1997.00153.x
- Rivers-Moore, N. A., Jewitt, G. P. W., 2004: Intra-annual thermal patterns in the main rivers of the Sabie Catchment, Mpumalanga, South Africa. *Water SA* 30. Medmrežje: <http://www.ajol.info/index.php/wsa/article/viewFile/5096/12686> (17. 3. 2009).
- StatSoft, Inc. 1998: STATISTICA for Windows, Computer program manual. Tulsa.
- Trivedi, B. P. 2002: Antarctica Gives Mixed Signals on Warming. Medmrežje: http://news.nationalgeographic.com/news/2002/01/0125_020125_antarcticaclimate.html (21. 2. 2003).
- WMO – World Meteorological Organisation 1994: Guide to hydrological practices: Data acquisition and processing analysis, forecasting and other applications. WMO – No. 168. Ženeva.

8 Summary: Temperature regimes of Slovenia's rivers in the period 1976–1990 and the changes in the period 1991–2005

(translated by the author, lectured by Jessamy Rush)

Water temperature is an important physical characteristic of the river, having an effect on the river's ecosystem, both type and state. The water temperature determines the metabolism processes, activity and productivity of the river organisms. Accordingly to the Water Framework Directive of the EU (Directive 2000/06/EC) for a good ecological state natural fluctuations of water temperature, both in space and time, must be preserved. The temperature of the river's water is influenced by the many factors of energy input and output that vary accordingly over the river's length and water quantity. On a daily basis the most influential factor is air temperature, but seasonally and yearly, besides climate the relief and waterbody characteristics have important influence.

River temperature regime shows the seasonal water temperature fluctuation. Natural river temperature regime is present on the rivers with few (or none) anthropogenic influences, where most of the watershed has natural land use. The regime of the river changes downstream accordingly to water quantity – daily and seasonal changes are becoming smaller. The long term analysis of the temperature regime of the river demonstrates the connection of it to the climatic zones and the comparison of two periods shows the time changes that might reflect also the impact of the climate changes to the river temperature.

The presented analysis is based on hierarchical clustering methodology. There are several types of clustering, here the complete linkage method was used. The objects similarity was calculated by using the Euclidean distance measure. This method was used because there are no big differences among the temperature values and there was no need for the standardisation of these values.

Hierarchical clustering analysis was conducted on mean monthly water temperature data of the 28 river gauging stations. To analyse time-change of the river temperature regime, two 15-year periods were selected based on data availability. The period 1976–1990 was set as a reference period and the period of 1991–2005 was set as a period to compare. In the period 1976–1990 four main river temperature types were identified: alpine, subalpine, mediterranean and panonian river temperature regime. We used the term reference temperature regimes because in this period the climate changes were supposed to have less effect on the water temperatures as stated by many authors. We compared these temperature regimes to the latter period of 1991–2005, for which the bigger climate change impact was anticipated.

The alpine river temperature regime is located in the alpine parts of Slovenia. In the reference period the average temperature was 7.5 °C; the lowest was in January with 2.9 °C and the highest in august with 12.1 °C. In the latter period all the characteristic temperatures were higher; the average temperature increased by +0.9 °C, lowest by +1.7 °C and highest by +1.2 °C.

The subalpine river temperature regime is found in the rivers in the central Slovenia, the middle part of the Sava River and the lower part of the Soča River. In the reference period the average temperature was 9.9 °C; the lowest was in January with 5.5 °C and the highest was in July with 14.7 °C. In the period 1991–2005 the characteristic temperatures were higher; average temperature was +0.7 °C, lowest was +0.5 °C and highest was +0.9 °C.

The mediterranean river temperature regime has the river Sava and the river Vipava in their lower parts and the karstic rivers in southern parts of Slovenia. During the reference period the average temperature was 11.6 °C; the lowest was in January with 4.7 °C and the highest was in July with 19.3 °C. In the latter period all the characteristic temperatures were higher; average temperature was +1.1 °C, lowest was +0.7 °C and highest was +1.9 °C.

The panonian river temperature regime is found in the rivers in eastern Slovenia along with the lower parts of the Savinja River. The average temperature in the reference period was 8.8 °C; lowest was in January with 1.7 °C and the highest was in July with 16.7 °C. In the latter period all the characteristic temperatures were higher; average temperature was +1.3 °C, lowest was +0.7 °C and highest was +1.7 °C.

The cluster analysis of the latter period discovered a decrease in the impact of mountainous conditions to the water temperature, therefore the alpine regime in this period is closer similarity to other regime types. In the period 1991–2005 two main regimes with two subgroups are identified: alpine-sub-alpine and the panonian-mediterranean river temperature regime.

In general in the latter period (1991–2005) the increase in river's water temperature was observed at all stations. In all regimes the annual temperature variability had increased too. The highest increase of average temperatures was observed in the south and in the east and the lowest in the central parts of Slovenia. The results of the comparison of the two periods and the results of many climate change effects show great similarity therefore the changes in the river temperature regimes can be associated with the impact of climate change effects on the river's water temperature.