

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta
za gradbeništvo
in geodezijo



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

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

To je izvirna različica zaključnega dela.

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

Matul, N., 2015. Analiza temperaturnega režima vodotokov v Sloveniji. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Mikoš, M., somentorica Kobold, M.): 81 str.

Datum arhiviranja: 02-26-2015

University
of Ljubljana

Faculty of
Civil and Geodetic
Engineering



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

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

This is original version of final thesis.

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

Matul, N., 2015. Analiza temperaturnega režima vodotokov v Sloveniji. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljani, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Mikoš, M., co-supervisor Kobold, M.): 81 pp.

Archiving Date: 02-26-2015

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta za
*gradbeništvo in
geodezijo*



Jamova 2
1000 Ljubljana, Slovenija
telefon (01) 47 68 500
faks (01) 42 50 681
fgg@fgg.uni-lj.si

UNIVERZITETNI ŠTUDIJSKI
PROGRAM VODARSTVO IN
KOMUNALNO INŽENIRSTVO

Kandidatka:

NIKA MATUL

**ANALIZA TEMPERATURNEGA REŽIMA
VODOTOKOV V SLOVENIJI**

Diplomska naloga št.: 255/VKI

**ANALYSIS OF TEMPERATURE REGIME OF
WATERCOURSES IN SLOVENIA**

Graduation thesis No.: 255/VKI

Mentor:

prof. dr. Matjaž Mikoš

Predsednik komisije:

izr. prof. dr. Dušan Žagar

Somentorica:

asist. dr. Mira Kobold

Član komisije:

doc. dr. Mojca Šraj

doc. dr. Andrej Kryžanowski

Ljubljana, 20. 02. 2015

STRAN ZA POPRAVKE

Stran z napako	Vrstica z napako	Namesto	Naj bo

IZJAVE

Podpisana **NIKA MATUL** izjavljam, da sem avtorica diplomskega dela z naslovom
»**ANALIZA TEMPERATURNEGA REŽIMA VODOTOKOV V SLOVENIJI**«.

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

Izjavljam, da dovoljujem objavo elektronske različice v digitalnem repozitoriju.

Ljubljana, 1. 2. 2015

Nika Matul

BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK:	519.23:551.583:556(497.4)(043.2)
Avtor:	Nika Matul
Mentor:	prof. dr. Matjaž Mikoš
Somentorica:	dr. Mira Kobold
Naslov:	Analiza temperaturnega režima vodotokov v Sloveniji
Tip dokumenta:	Diplomska naloga – univerzitetni študij
Obseg in oprema:	81 str., 7 preg., 33 sl., 3 pril.
Ključne besede:	temperaturni trendi rek, podnebne spremembe, statistična analiza, hidrologija

IZVLEČEK

Glede na trende globalnega segrevanja zemeljskega ozračja pričakujemo trend segrevanja površinskih voda. V okviru diplomske naloge smo analizirali obstoječe podatke o temperaturi vode vodotokov v Sloveniji. Z uporabo Mann-Kendallovega statističnega testa je večina analiziranih vodomernih postaj izkazala statistično značilen naraščajoč trend. Pomanjkljivosti in nepravilnosti med nizi temperaturnih podatkov kot tudi antropogeni vplivi na vodotoke so vzroki za nekaj statistično neznačilnih rezultatov. Na temperaturo vode v vodotokih v veliki meri vplivajo vremenske razmere, ki jih najlažje opišemo s temperaturo zraka. Izbranim vodomernim postajam smo tako poiskali prostorsko primerljive meteorološke postaje s podatki o temperaturi zraka. Preverili smo Pearsonov koeficient korelacije med temperaturo vode in zraka, ki je kljub težavam s kakovostjo obravnavanih podatkov temperature vode in zraka zadovoljiva. Rezultat analize trendov temperature vode vodotokov po letnih časih je pokazal zaskrbljujočo rast temperature vode v poletnih mesecih. Temperatura vodotokov se ne spreminja le časovno, temveč tudi prostorsko. Preverili smo, kako se spreminja povprečna temperatura vode vzdolž vodotoka za reki Savo in Savinjo. Preverjali smo tudi povezavo temperature vode in zraka z indeksoma severnoatlantske in sredozemske oscilacije. Rezultati so pokazali slabo ujemanje. Indeksi korelacije med temperaturo vode in indeksi oscilacije so v veliki večini statistično neznačilni. Temperatura zraka z indeksi oscilacije korelira bolje kot temperatura vode, še posebej v zimskih mesecih. Ugotovili smo, da bi za večjo kakovost analiz potrebovali daljše, zvezne in homogenizirane časovne nize podatkov o temperaturi vode.

BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

UDC: 519.23:551.583:556(497.4)(043.2)
Author: Nika Matul
Supervisor: prof. Matjaž Mikoš, Ph. D.
Cosupervisor: Mira Kobold, Ph. D.
Title: Analysis of the temperature regime of watercourses in Slovenia
Document type: Graduation thesis – University studies
Scope and tools: 81p. , 7 tab. , 33 fig. , 3 ann.
Keywords: stream temperature, trend, climate change, statistical analysis, hydrology

ABSTRACT

In line with global warming trends, warming of surface waters is expected. As part of the thesis, we analysed existing data of river water temperature in Slovenia. Most analysed hydrological gauging stations proved statistically significant upward trend, using Mann–Kendall statistical test. We noted that causes for statistically insignificant results on some stations, are deficiencies and irregularities in sets of temperature data and anthropogenic impacts on watercourses. Water temperature in rivers is heavily influenced by weather conditions, in particular air temperature. Water temperature data of selected water gauging stations were compared with air temperature data of space comparable meteorological station. We examined the Pearson correlation coefficient between water and air temperature. Correlation is sufficient, despite the problems with different quality of the air and water temperature data. The results of seasonal analysis of stream water temperature trends, showed an alarming rise of water temperature in the summer months. The temperature of the water courses vary, not only temporally but also geographically. We examined how the average water temperature is changing along the stream of rivers Sava and Savinja. We also examined the connection of air and water temperatures with the index of North Atlantic and Mediterranean oscillations. The results showed poor matching. The majority of correlation indexes between water temperature and oscillation indexes are statistically insignificant. Air temperature data correlate with indexes of oscillations better than water temperature, especially in the winter months. We have found that for the higher quality of the analyses, we would need longer, connected and homogenized series of water temperature data.

ZAHVALA

Za strokovno pomoč in usmerjanje pri pisanju diplomske naloge se iskreno zahvaljujem mentorju prof. dr. Matjažu Mikošu in somentorici dr. Miri Kobold.

Hvala tudi vsem mojim za podporo in spodbudo v času študija.

KAZALO VSEBINE

1 UVOD	1
2 TEMPERATURA VODOTOKOV	2
2.1 Temperaturni režim vodotokov	2
2.2 Vpliv temperature vode na procese v vodnem okolju.....	7
3 PODNEBNE SPREMEMBE	10
3.1 Spremljanje podnebnih sprememb v Sloveniji	12
3.2 Podnebna spremenljivost in oscilacijski indeksi	13
3.2.1 Indeks NAO	13
3.2.2 Indeks MO	16
3.3 Spremenljivost temperature zraka	17
4 METODOLOGIJA	21
4.1 Analiza podatkov	21
4.1.1 Pridobivanje in priprava ustreznih podatkov	21
4.1.2 Opisna analiza podatkov	22
4.2 Statistične analize.....	26
4.2.1 Osnove statističnega testiranja na spremembo	26
4.2.2 Glavne faze statistične analize pri iskanju sprememb v podatkih	28
4.2.3 Testi za ugotavljanje trendov.....	28
4.2.4 Interpretacija rezultatov statističnih testov	34
4.3 Programska oprema	35
4.3.1 Programski paket Hydrospect	35
4.3.2 Programski paket Minitab.....	36
5 PODATKI	37
5.1 Podatki o temperaturi vode.....	37
5.1.1 Opisna analiza podatkov o temperaturi vodotokov	42
5.2.2 Prikaz letnih povprečij temperature vode z uporabo trendnih črt	45
5.2 Podatki o temperaturi zraka.....	49
5.2.1 Kontrola in homogenizacija podatkov	49

5.2.2 Programsko orodje Homer	52
6 ANALIZA TRENDOV.....	56
6.1 Analiza srednje letne temperature vode	56
6.2 Analiza sezonskosti temperature vode	60
6.3 Korelacija temperature vode in zraka	63
6.4 Spreminjanje temperature vzdolž vodotoka	68
6.4.1 Sava	68
6.4.2 Savinja	70
6.5 Primerjava trendov obravnavanega obdobja z daljšim časovnim obdobjem	72
6.6 Korelacija z indeksi oscilacije	76
7 ZAKLJUČEK.....	79
VIRI	82

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Sprememba temperature na desetletje ($^{\circ}\text{C}/10$), izračunana na podlagi statističnega trenda za obdobje 1950–2010.....	19
Preglednica 2: Seznam izbranih postaj za analizo.	41
Preglednica 3: Rezultati statističnih testov	59
Preglednica 4: Rezultati analize sezonskosti srednje letne temperature vode [$^{\circ}\text{C}/10$].....	60
Preglednica 5: Seznam obravnavanih meteoroloških in hidroloških postaj z rezultatom korelacije	65
Preglednica 6: Prikaz trendov rasti temperature vode na dekada ($^{\circ}\text{C}/10$ let) za obdobje 1972–2012 in 1953–2013	73
Preglednica 7: Koeficienti korelacije med temperaturo vode in indeksi oscilacije ter koeficienti korelacije med temperaturo zraka in indeksi oscilacije	78

KAZALO SLIK

Slika 1: Dnevno nihanje temperature vode na reki Savi, vodomerna postaja Radovljica, na dan 22. 1. 2015.....	3
Slika 2: Izmenjava toplote v vodotoku.....	4
Slika 3: Faktorji vpliva na termalni režim rek.....	5
Slika 4: Spremembe zračnih tokov med obema fazama NAO.....	15
Slika 5: Prikaz odstopanj zračnega tlaka, merjenega na morski gladini v obdobju 1958–2008, za pozitivno fazo MOI (levo) ter negativno fazo MOI (desno) v milibarjih.	17
Slika 6: Karta časovnega trenda letne povprečne temperature zraka v Sloveniji v obdobju 1961–2011.....	18
Slika 7: Potek povprečne letne temperature v letih 1951–2009 in 10-letno drseče povprečje (rjava črta) ter povprečje referenčnega obdobja 1961–1990 (črna črta).....	20
Slika 8: Primera glajenih krivulj za različni stopnji glajenja α . Levo $\alpha=0,5$, desno $\alpha=0,2$	25
Slika 9: Merilna mesta hidrološkega monitoringa površinskih tekočih voda, razdeljena po parametrih.....	39
Slika 10: Prikaz dnevnih nihanj temperature vode za vodomerno postajo Kamnik.....	43
Slika 11: Prikaz dnevnih nihanj temperature vode za vodomerno postajo Prečna.....	44
Slika 12: Prikaz dnevnih nihanj temperature vode za vodomerno postajo Cerkevnikov mlin.....	44
Slika 13: Prikaz dnevnih nihanj temperature vode za vodomerno postajo Nazarje.....	45
Slika 14: Prikaz letne povprečne temperature vode s prikazom linearne trendne črte ter glajene krivulje za vodomerno postajo Ledava – Polana.....	47
Slika 15: Prikaz letne povprečne temperature vode s prikazom linearne trendne črte ter glajene krivulje za vodomerno postajo Sava – Radovljica.....	47
Slika 16: Prikaz letne povprečne temperature vode s prikazom linearne trendne črte ter glajene krivulje za vodomerno postajo Savinja – Nazarje.....	48
Slika 17: Prikaz letne povprečne temperature vode s prikazom linearne trendne črte ter glajene krivulje za vodomerno postajo Idrijca – Hotešk.....	48
Slika 18: Zemljevid postaj z nizom povprečne temperature (rdeče) in najnižje temperature (modro) zraka. Nabor postaj z nizom najvišje temperature zraka zajema le postaje na območju Slovenije.....	51
Slika 19: Prikaz vplivov na podatkovni niz.....	52
Slika 20: Grafični prikaz homogenosti izbrane časovne vrste v programskem orodju HOMER, metoda »odkrivanja prelomov po parih nizov«.....	54
Slika 21: Prikaz prelomov v programskem orodju HOMER po metodi odkrivanja prelomov po parih (trikotniki) in metodi sočasne delitve nizov na odseke.....	55

Slika 22: Prikaz rasti povprečne letne temperature vode [$^{\circ}\text{C}/10$ let]	61
Slika 23: Prikaz vodomernih ter meteoroloških postaj.	64
Slika 24: Graf povprečne letne temperature vode in zraka za postajo Savinja – Laško in klimatološko postajo v Celju	66
Slika 25: Izračun koeficienta korelacije za postaji Laško in Celje.....	67
Slika 26: Prikaz koeficientov korelacije temperature zraka in vode za obravnavane hidrološke postaje	67
Slika 27: Temperatura vode reke Save in trendi.....	69
Slika 28: Prikaz postaj na reki Savi	70
Slika 29: Temperatura vode reke Savinje in trendi	71
Slika 30: Prikaz postaj na reki Savinji.....	72
Slika 31: Primerjava grafov s krajšim in daljšim opazovanim obdobjem za vodomerno postajo Sava – Radovljica.	74
Slika 32: Primerjava grafov s krajšim in daljšim opazovanim obdobjem za vodomerno postajo Krka – Podbočje.....	75
Slika 33: Primerjava grafov s krajšim in daljšim opazovanim obdobjem za postajo Soča – Solkan.....	75

1 UVOD

Temperatura vode je poleg vodostaja osnovni hidrološki parameter, ki se spremlja v okviru državnega hidrološkega monitoringa. Slovenija kot dežela velikih raznolikosti na majhnem prostoru kaže svojo raznovrstnost tako v različnih tipih podnebja kot tudi pokrajin in posledično različnih tipih vodotokov. Njihova raznolikost je opazna tudi v raznolikosti temperaturnega režima rek po Sloveniji.

Na temperaturo vode močno vplivajo vremenski pogoji, ki jih lahko najbolje opišemo s temperaturo zraka (Vodenik et al., 2008). V zadnjih letih je vse bolj opazno segrevanje podnebja, zato je analiza odvisnosti temperature vode površinskih voda s temperaturo zraka še posebej aktualna. Višanje povprečne temperature zraka po vsej verjetnosti vpliva tudi na zviševanje povprečne temperature rek in jezer. Temperatura vode je bila v preteklosti precej zapostavljen parameter, ki se ni redno spremljal in beležil. Temu pripisemo tudi problem pomanjkanja dovolj dolgih nizov kvalitetnih podatkov o temperaturi vodotokov, ki jih potrebujemo za iskanje trenda rasti temperature vode.

Dosedanje analize trendov temperature površinskih voda po svetu kažejo na dvig srednje letne temperature in dokazujejo povezavo s trendom rasti temperature zraka. Poznavanje te odvisnosti omogoča napovedi temperature vodotoka glede na povišano temperaturo zraka in oceno morebitnih vplivov na ekosisteme v vodotokih in posredno na gospodarsko izkoriščanje vodotokov (Vodenik et al., 2008).

Na temo spremljanja temperature površinskih vodotokov je bilo na Agenciji RS za okolje narejenih nekaj vzorčnih analiz, podrobneje pa ta tema še ni bila obravnavana. Namen diplomskega dela je bilo zbrati podatke o temperaturi vode, pregledati njihovo kakovost, jih med seboj primerjati in med njimi poiskati trende rasti temperature vodotokov. Analizirali smo srednje letne temperature izbranih vodotokov. Temperaturo vodotokov smo analizirali ločeno po letnih časih in izračunali sezonske trende temperature vodotokov. Povprečno letno temperaturo izbranih vodotokov smo primerjali s povprečno letno temperaturo zraka. Preverili smo tudi Pearsonov koeficient korelacije z indeksi oscilacije, in sicer z indeksoma severnoatlantske ter sredozemske oscilacije, katerih vpliv je moč čutiti tudi na območju Slovenije.

2 TEMPERATURA VODOTOKOV

2.1 Temperaturni režim vodotokov

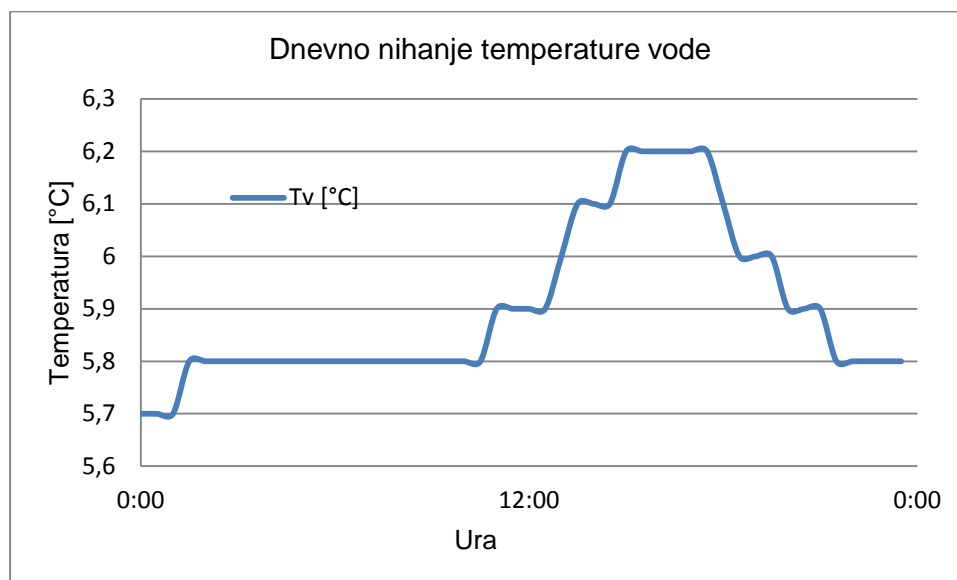
Na temperaturne režime rek vpliva tako temperatura zraka in temperatura tal kot tudi spremembe v hidrološkem režimu, ki so posledica naravnih sprememb in človekovih posegov vanj. Temperatura vode močno vpliva na fizikalne značilnosti vodotokov in rečne vode, kot so površinska napetost, gostota in viskoznost, topnost plinov in hitrost kemijskih reakcij (Webb in Nobilis, 2007). Spremembe temperature vode so zato povezane s spremembami v kakovosti vode, ki jo določa npr. koncentracija raztopljenega kisika in dušika v vodi. Statistične analize vplivov temperature zraka na temperaturo vode so pokazale, da se s povišanjem temperature vode poveča biološka potreba po kisiku ter vsebnost suspendiranih snovi, medtem ko se koncentracija raztopljenega kisika v vodi zniža (Ozaki et al., 2003).

Omeniti je potrebno tudi ekološke učinke sprememb temperature vode. Termalni režim vpliva na vodne organizme v smislu njihove stopnje rasti, metabolizma, razmnoževanja, vedenja in odpornosti na parazite, bolezni in na onesnaževanje (Alabaster in Lloyd, 1980; Crisp, 1996; Webb, 1996; Caissie, 2006). Večina vrst, ki živijo v sladkovodnih sistemih, je hladnokrvnih in so zato še bolj občutljive na spremembe temperature vode (Conlan et al., 2005). Webb in Walsh (2004) sta raziskala tematiko o temperaturnem vplivu na rast, razširjenost in reprodukcijo sladkovodnih rib ter napovedujeta, da bodo višje temperature rek, ki so posledica podnebnih sprememb, škodljive za habitate vrste hladnovodnih rib, med katere spada tudi potočna postrv.

Vodotoki kažejo tako časovne kot prostorske razlike v temperaturi vode. Temperatura vodotoka blizu izvira je v splošnem blizu temperature podtalnice. Z oddaljevanjem od izvira se viša tudi dnevna povprečna temperatura vodotoka, kar je pri manjših vodotokih še bolj izrazito.

Temperatura vode se tudi časovno spreminja tako na dnevni kot na letni ravni. V 24-urnem obdobju je najvišja temperatura običajno pozno popoldne ter najnižja v zgodnjih jutranjih urah. Razlike v ciklu dnevne temperature vode so običajno pri hladnih povirnih potokih nižje kot pri večjih vodotokih, kjer se vpliv podtalnice zmanjšuje. Pri letnem ciklu temperature vodotokov opazimo sinusno obliko temperaturnega cikla od pomladi do jeseni, pozimi pa se temperature približajo 0 °C (Caissie et al., 1998).

Slika 1 prikazuje dnevno nihanje temperature vode reke Save na vodomerni postaji Radovljica na dan 22. 1. 2015. Razlika med temperaturo vodotoka med najhladnejšim in najtoplejšim delom dneva je 0,5 °C. To je dnevna temperaturna razlika vodotoka pozimi. V toplejšem delu leta je dnevno nihanje temperature vode večje.



Slika 1: Dnevno nihanje temperature vode na reki Savi, vodomerna postaja Radovljica, na dan 22. 1. 2015 (http://www.arso.gov.si/vode/podatki/amp/H21_g_1.html, pridobljeno 26. 1. 2015)

Pri modeliranju temperature vodotokov moramo upoštevati procese izmenjave toplote v rečnem okolju (Caissie, 2006). Spremembe v temperaturi vode se pojavijo kot posledica sprememb energetskega potenciala in toplotne kapacitete.

Z naslednjimi glavnimi komponentami lahko izrazimo izmenjavo toplote:

$$Q_n = \pm Q_r \pm Q_e \pm Q_h \pm Q_{hb} + Q_{fc} \pm Q_a \quad [J],$$

kjer je:

Q_n – skupna izmenjava toplote,

Q_r – toplotni tok zaradi neto sončnega sevanja,

Q_e – toplotni tok zaradi izhlapevanja in kondenzacije,

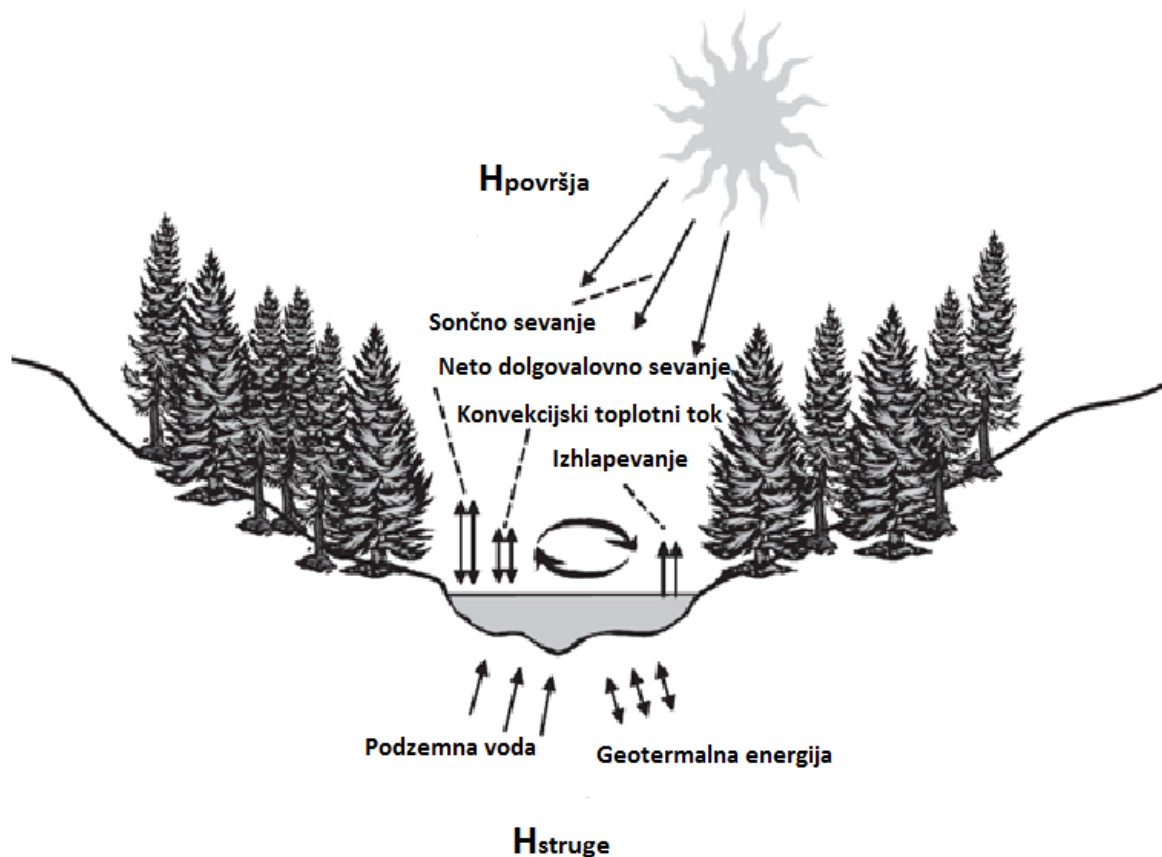
Q_h – toplotni tok zaradi prenosa toplote med zrakom in vodo,

Q_{hb} – toplotni tok zaradi prevodnosti med rečno strugo in vodo,

Q_{fc} – toplotni tok zaradi trenja,

Q_a – toplotni tok zaradi prenosa v padavine, podtalnice, pritoke in odtoke, kamor spadajo tudi termično onesnažene odpadne vode.

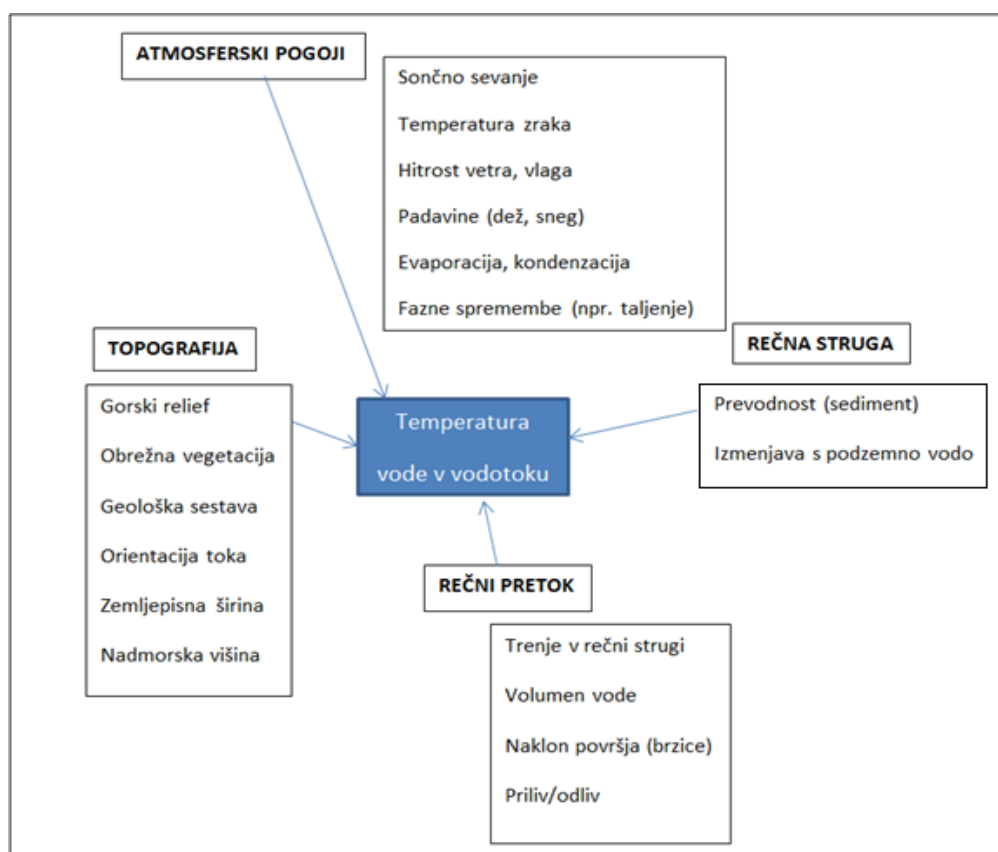
Ta enačba predstavlja količino energije, ki je na voljo za spremembo temperature vodotoka. Slika 2 prikazuje izmenjavo toplote v vodotoku. Toplotna zmogljivost vodotoka je odvisna od prostornine prisotne vode, kar pomeni, da so vodotoki z manjšimi pretoki bolj občutljivi na spremembe v energetski toplotni bilanci (Webb, 1996).



Slika 2: Izmenjava toplote v vodotoku (povzeto po Caissie, 2006, str. 4)

Na sliki 3 so prikazani različni faktorji vpliva na termalni režim rek. Razen volumna vode na spremembe v energetske bilanci vodotoka vpliva tudi naklon površja, trenje v rečni strugi, različne topografske značilnosti območja, kjer teče vodotok, značilnosti rečne struge ter značilnosti atmosferskih pogojev.

Sončno sevanje velja za prevladujoči element celotnega energijskega kroga. Toplotni tok v strugi je odvisen tudi od geotermalnega ogrevanja (dobljenega z notranjo toploto zemlje). To razmerje sicer še ni bilo zelo obsežno raziskano, pa vendar so dosedanje študije pokazale precej manjši vpliv temperature rečne struge na temperaturo vode od vpliva temperature zraka na temperaturo vode (Sinokrot in Stefan, 1993).



Slika 3: Faktorji vpliva na termalni režim rek (povzeto po Caissie, 2006, str. 3)

Naravne in antropogene spremembe toplotnega potenciala vodotoka so vzrok za spremembe temperaturnega režima vodotokov. Vzroki za te spremembe so večinoma antropogeni, in sicer:

1. **Sprememba rabe zemljišč.** Spremembe vegetacije in tehnike upravljanja zemljišč lahko vplivajo na hidrologijo in kakovost vode in s tem potencialno na temperaturo vode v rekah in jezerih. Ti posegi vključujejo melioracije, erozijo tal za kmetijstvo, gozdarstvo in urbani razvoj (Robinson et al., 2000).
2. **Gozdarstvo/odstranjevanje gozdnega pokrova.** Odstranjevanje dreves z brežin vodotokov pomeni odstranitev senčne zaščite krošenj dreves pred direktnim sončnim sevanjem (Sinokrot in Stefan, 1993) ter s tem povečanje temperature vodotokov.
3. **Pretok in abstrakcija.** Učinek pretoka vodotoka na temperaturo vode je odvisen od oblike struge in njene površine. Če površina struge ostane enaka, pretok pa se zmanjša, se bo temperatura vode v vročem in sončnem vremenu povečala (Solomon, 2005).
4. **Regulacija pretokov.** Urejanje vodotokov z gorvodnimi jezovi in rezervoarji neposredno vpliva na dolvodni temperaturni režim vodotoka, vezano na spremembo velikosti pretokov (Webb, 1996). Webb in Wailing sta analizirala 14 let temperaturnih podatkov, merjenih za jezom v severozahodni Angliji, ter zaključila, da so glavni vplivi regulacije dvig srednje temperature vodotoka, zmanjšanje poletnih maksimumov, odprava zimskih zmrzali. Pojavil se je tudi zamik v letnem ciklu vodotoka ter zmanjšanje dnevnih nihanj temperature vodotoka. Poudarjata, da so ti vplivi relativni, saj lahko na temperaturo vodotoka vplivamo tudi s tem, iz kakšne globine rezervoarja spuščamo vodo v vodotok (večja kot je globina, hladnejša je voda). Tudi kanalizacija in drugi načini regulacij rečnih tokov imajo lahko močen vpliv na termalno kapaciteto vodotoka. Primer dobre prakse nižanja temperature vodotokov je njihovo bogatenje s hladno podtalnico (Cowx, 2000).
5. **Odvajanje odpadne hladilne vode.** Znatno obseg toplotno onesnaženih odplak se vrača v vodotoke po abstrakciji za namene hlajenja pri proizvodnji električne energije ali drugih industrijskih procesov. Količina in prostorska porazdelitev toplotnih odplak se s časom spreminja in jo je potrebno upoštevati pri interpretaciji temperaturnih rekordov vodotokov. Toplotni izpust ima največji vpliv na temperaturo vode v vodotoku, ko je pretok le tega nizek (Solomon, 2005). Temperatura vode v vodotoku se lahko dvigne za nekaj stopinj, kar občutno vpliva na topnost plinov v vodi in na vsebnost kisika (Alabaster in Lloyd, 1980).

6. **Podnebne spremembe.** Temperatura vode je dokazano povezana s spremembami temperature zraka. Močna linearna korelacija je prisotna pri temperaturah nad 0 °C (Stefan in Preud'homme, 1993; Mohseni in Stefan, 1999). Zaradi pričakovanj o višanju temperature zraka v prihodnjih letih kot posledice globalnega segrevanja lahko pričakujemo tudi višanje temperature vode. Mnoge študije so dokazale znatno višanje temperature vodotokov v zadnjih nekaj desetletjih. Webb in Nobilis (2007) sta analizirala povprečne mesečne temperature avstrijskih vodotokov celotnega dvajsetega stoletja ter ugotovila znatno povišanje povprečne mesečne temperature (0,8 °C), zlasti od 70-ih let prejšnjega stoletja. Dokazala sta tudi statistično značilen vpliv vzorca severnoatlantske oscilacije (NAO) na temperaturo vode in predvsem zraka v Avstriji. V zvezi s spremembami temperature vode kot rezultat globalnega segrevanja je bilo narejenih kar nekaj modelov, s katerimi lahko napovedujemo rast temperature vode kot posledico rasti temperature zraka (Stefan in Preud'homme, 1993; Webb in Nobilis, 1997; Caissie, 2006).

2.2 Vpliv temperature vode na procese v vodnem okolju

Temperatura vode je eden od osnovnih hidroloških parametrov, ki mu v preteklosti ni bil namenjen poseben poudarek. Na temperaturo vode močno vplivajo vremenski pogoji, ki jih lahko precej dobro opišemo s temperaturo zraka. Glede na trend ogrevanja ozračja lahko posledično pričakujemo tudi segrevanje vodotokov, jezer in morij. Predvsem v poletnih mesecih je opazno zvišanje temperature vode. Spremljanje odvisnosti temperature vode od temperature zraka postaja vse bolj zanimivo zlasti v zadnjih letih, ko je segrevanje opazno, saj temperatura vode vpliva na vrstno sestavo živih organizmov, ki živijo v njej, saj se posamezni organizmi razlikujejo glede tolerančne temperature, v kateri še lahko preživijo in se razmnožujejo. Temperatura vode posredno vpliva na fizikalno-kemične procese v vodi, kot je na primer vsebnost kisika, s katerimi je povezana tudi kakovost življenjskih razmer v vodnem okolju. Napoved višjih temperatur vode, povečane intenzivnosti padavin in daljša obdobja nizkih pretokov bodo predvidoma poslabšale onesnaženje vode, vključno z vsebnostjo sedimentov, hranilnih snovi, raztopljenega organskega ogljika, patogenov, pesticidov, soli in toplotnega onesnaženja.

Višja temperatura vode pospešuje hitrost bioloških procesov, ki lahko bistveno vplivajo na kvaliteto naravne vode. Pri segretju vode za 10 °C se biološka aktivnost v vodi podvoji. Prav tako ima temperatura vode velik vpliv na večino kemijskih reakcij, ki se

odvijajo v vodi, in na topnost plinov. Samec (2006) navaja, da ima povišanje temperature velik vpliv tudi na ribjo populacijo, ki v splošnem zahteva nizke temperature in visoko stopnjo raztopljenega kisika, katerega koncentracija v segreti vodi pada, saj se z višanjem temperature zmanjšuje topnost plinov v vodi. Zaradi večje biološke oksidacije nekaterih organskih snovi se poraba kisika povečuje do te mere, da ga začne primanjkovati. To ima za posledico odmiranje najrazličnejših bioloških snovi. Tako povišanje temperature naravnih voda posredno vpliva tudi na vonj in okus vode.

Posredni učinki spremembe temperature vode so spremembe bioloških ritmov organizmov v vodotoku, s čimer mislimo tako spremembe na letni kot tudi na dnevni ravni. Spremeni se ritem rasti, razmnoževanja, drstitvenih selitev rib. Spremembe takih razsežnosti imajo posledice na sestavo življenjskih združb v vodotokih, saj so posamezni člani izločeni, kar povzroči spremembo dinamičnega ravnotežja v vodotoku, pri čemer pride tudi do gospodarske škode (Samec, 2006).

Nevarnost temperaturnega šoka je še posebej opazna pri odvajanju hladilne odpadne vode iz tovarn v vodotoke, saj lahko organizmi nemudoma zapadejo toplotni smrti. Poleti zaradi vsebnosti kisika v vodotoku nastanejo precej slabše razmere, saj je pri temperaturi 5 °C nasičena vrednost kisika 12,77 mg/l, pri temperaturi 25 °C pa le še 8,263 mg/l.

Temperatura vode vpliva tudi na razgrajevanje odpadnih produktov v vodotoku, ki ga imenujemo samočiščenje. Dejansko je samočiščenje prehranjevalni splet, v katerem mikroorganizmi razgrajujejo visoko molekularne organske spojine nazaj do anorganskih. Ta proces imenujemo mineralizacija oz. remineralizacija, ki lahko poteka le v prisotnosti raztopljenega kisika v vodi. Učinkovitost samočiščenja, poleg temperature vode, je odvisno tudi od drugih dejavnikov, kot je število in vrstna sestava živih organizmov v vodi, temperature, svetlobe, vrednosti pH, hitrosti vodnega toka. Potrebno je poudariti, da je razgradnja pri temperaturi 20 °C 4–6 krat hitrejša kot pri 0 °C, kar pomeni tudi večjo porabo kisika in s tem slabše razmere v vodah (Vodenik, 2001).

Nihanja koncentracije kisika so opazna tudi v različnih delih dneva. Kisik vstopa v vodo z difuzijo skozi vodno gladino zaradi razlike parcialnih tlakov in nastaja kot produkt pri fotosintezi. Porabnika kisika v vodi sta dihanje živih organizmov in že prej omenjen proces razkrajanja. Ker fotosinteza poteka samo podnevi, prihaja tudi do dnevnega nihanja vsebnosti kisika v vodotoku. Kritična točka vsebnosti kisika je torej zgodaj zjutraj, po nočnem obdobju dihanja vodnih organizmov in pred začetkom proizvodnje kisika kot produkta fotosinteze.

Kompleksnost vpliva temperature na življenje v vodotoku se torej ves čas spreminja. Zaradi povečane hitrosti razkroja organskih snovi pri višji temperaturi vode in s tem povečano porabo kisika ter nižje vsebnosti kisika pri višjih temperaturah vode ugotovimo, da kritične razmere nastopijo poleti, še posebej pri nizkih pretokih. Temperaturna nihanja so takrat še posebej izrazita, živi organizmi v vodi pa najtežje prenašajo ravno temperaturna nihanja, ki se pojavljajo v kratkih časovnih intervalih. Trend višanja temperatur vodotokov zaradi ogrevanja ozračja torej vpliva na razmere v vodotokih. Na ta način se krči življenjski prostor mnogih organizmov. Prav zato je pomembno, da razmere spremljamo in skušamo preprečiti ter omiliti posledice. Največji problem nastopi pri velikih onesnaženostih vodotokov pri visokih temperaturah v tistih delih, kjer se odlagajo odpadne snovi, ker poteka pospešena razgradnja in s tem poraba kisika. Lahko pride do popolnega pomanjkanja kisika, kar pa pomeni smrt za vse žive organizme.

V ZDA so raziskovali neposreden vpliv temperature na življenje v vodotokih (Eaton, Scheller, 1996). Opazovali so prisotnost posameznih vrst rib v vodah z različno povprečno tedensko temperaturo. S pomočjo raziskave so ugotovili zgornje meje temperatur, ki določenim vrstam rib še omogočajo preživetje. To mejo so uporabili za oceno zmanjšanja življenjskega prostora za posamezne vrste rib v primeru povišanja temperature, do katerega bi prišlo ob hipotetični podvojeni koncentraciji toplogrednih plinov v ozračju. Pri oceni so privzeli, da je temperatura vode kar 0,9 krat temperatura zraka.

Rezultati raziskave so pokazali kar 50 % zmanjšanje življenjskega prostora za ribe, ki živijo v mrzlih in hladnih vodah, ter 14 % zmanjšanje življenjskega habitata za ribe, ki živijo v toplejših vodah. Posamezne ribiške družine tudi pri nas v svojih poročilih že poročajo o upadu ribje populacije na račun vse toplejših vodotokov. Ribiška družina Bled v svoji raziskavi z naslovom Potočna postrv na Savi Bohinjki (Mezek, 2013) navaja, da je od leta 1986 opazen očiten upad populacije potočne postrvi v Savi Bohinjki.

Vpliv temperaturnih sprememb vodotokov torej dokazano močno vpliva na življenje v njih (Almodóvar et al., 2012; Hari et al., 2006), zato je toliko bolj pomembno, da spremembe opazujemo, beležimo in poskušamo najti rešitve, ki bi vsaj malo omilile posledice ogrevanja rek. V tujini že uvajajo določene rešitve. Znani so primeri, ko ribiške družine postavljajo naravne in umetne ovire in habitate, kamor se ribe lahko zatečejo. V Ameriki so v reke napeljali podzemne cevi, ki črpajo vodo iz višje ležečih predelov vodotokov z nižjo temperaturo v nižje predele, kjer je voda toplejša. Tudi ozelenitev bregov, ki meče senco na vodotok, lahko pomeni temperaturno razbremenitev in zavetje za ribe.

3 PODNEBNE SPREMEMBE

Spreminjanje podnebja je spreminjanje običajnega vremena v nekem kraju, spremenijo se lahko povprečne vrednosti in pogostost ter jakost ekstremnih dogodkov. Obstajajo dokazi, da je večina segrevanja ozračja v zadnjih petdesetih letih posledica človekove dejavnosti, s čimer soglaša večina svetovnih strokovnjakov. Dvajseto stoletje je bilo globalno najtoplejše v zadnjem tisočletju (IPCC, 2008). Deset globalno najtoplejših let je bilo v zadnjih petnajstih letih, leto 1998 pa globalno najtoplejše. Opazimo ciklično pojavljanje toplejših in hladnejših obdobj v trajanju nekaj desetletij, kljub temu pa je nesporno, da se ozračje segreva.

V današnjem času se podnebje spreminja precej hitreje, kot se je kdajkoli v preteklosti. Vzrok zato je človek s spuščanjem toplogrednih plinov v ozračje. Le-to se je močno povečalo po drugi svetovni vojni, ko je glavni vir energije in hitre gospodarske rasti postala relativno poceni nafta. Z njeno uporabo je izpuščanje toplogrednih plinov naraščalo in narašča še danes. Toplogredni plini (TGP) imajo dolgo življenjsko dobo, kar pomeni, da se bo ozračje segrevalo tudi v naslednjih desetletjih, mi pa se bomo morali prilagoditi neizbežnemu spreminjanju podnebja.

Mednarodni odbor za klimatske spremembe (Intergovernmental Panel on Climate Change-IPCC) je v enem izmed svojih poročil o podnebnih spremembah (IPCC, 2008) zapisal, da so človekove dejavnosti tiste, ki povzročajo izpuste toplogrednih plinov v ozračje. Koncentracije ogljikovega dioksida, metana, dušikovih oksidov in troposferskega ozona v ozračju so v zadnjem stoletju vse višje. Zaradi naraščanja ravni toplogrednih plinov so pričakovane podnebne spremembe, saj ti plini, ki absorbirajo infrardeče sevanje, povzročijo spremembo naravnega pretoka energije skozi podnebni sistem. Brez toplogrednih plinov v ozračju bi se povprečna temperatura iz sedanjih 15 °C znižala za okoli 33 °C, temperatura -18 °C pa bi bila za današnje oblike življenja neustrezna. Ko smo ljudje s svojo dejavnostjo zvišali koncentracijo TGP v ozračju, smo okrepili učinek tople grede (Cegnar et. al., 2010). Podnebje se mora prilagoditi vse »debelejši odeji« toplogrednih plinov, da bi se ohranilo ravnotežje med energijo, ki prihaja od sonca, in energijo, ki uhaja nazaj v vesolje. Povprečne globalne temperature zraka so se od konca 19. stoletja povečale za 0,3–0,6 °C, zadnja leta meritev so se izkazala kot najtoplejša v evidenci (IPCC, 2008). Dokazi kažejo, da je opazen človekov vpliv na globalno podnebje, čeprav moramo upoštevati naravna nihanja podnebja ter zunanje vzroke. Modeli napovedi sprememb podnebja temeljijo na trenutnem razumevanju podnebnih

procesov in s scenariji emisij (IS92), ki temeljijo na številnih gospodarskih in tehnoloških predpostavkah, ocenjujejo dvig povprečne globalne temperature za 1–3,5 °C (najboljša ocena 2 °C) med letoma 1990 in 2100. Večji vsebnosti TGP gre pripisati pretežni del opaženih sprememb podnebja, ki obsegajo dviganje povprečne temperature zemeljskega površja, prerazporeditev padavin, pogostejše in močnejše vremenske in podnebne ekstreme, vključno s poplavami in sušo, taljenje ledenikov in polarnih ledenih pokrovov ter dvig morske gladine.

V vsakem primeru je povprečna stopnja segrevanja verjetno večja od tistih v zadnjih 10.000 letih, čeprav bi pri spremembah temperatur lahko šlo tudi za naravno variabilnost. Naravno spreminjanje podnebja se odvija precej počasneje (obdobje 100 000 let) zaradi astronomskih dejavnikov in premikanja celin. Te procese lahko pri blaženju in prilagajanju podnebnim spremembam zanemarimo (Cegnar et al., 2010).

Posledice sprememb podnebja so po izračunih in predvidevanjih neenakomerno razporejene. Nekatera območja bodo v prihodnosti bolj prizadeta od drugih, kar se kaže že danes, navaja Cegnar (2010). Podatki kažejo, da se je Evropa nadpovprečno segrela v primerjavi s svetovnim povprečjem. Tudi za območje Alp v Evropi velja tako odstopanje. Svetovno povečanje temperature za 5 °C bi se v Alpah odražalo enako kot zvišanje povprečne temperature za 7 do 8 °C. Še močnejše bi bilo ogrevanje v okolici severnega pola, kjer bi bil dvig temperature za okoli 16 °C. Območje Amazonje, Kanada in severovzhod ZDA bi bili toplejši za okoli 10 °C. Tudi za območje Sredozemlja in južne Evrope veljajo napovedi o nadpovprečnem ogrevanju predvsem poleti ter občuten upad padavin. Do konca stoletja strokovnjaki ocenjujejo tudi dvig morske gladine za okoli 1–1,4 m (Cegnar et al., 2010).

Poleg temperaturnih sprememb nas mora skrbeti tudi zakisljevanje oceanov in taljenje ledenikov, ki napajajo številne reke in so dragocen vodni vir. V srednji Evropi je že moč opaziti trend porasta povprečnih vodotokov v prvi polovici leta ter upad v obdobju običajnih najnižjih pretokov v juliju in avgustu. Take spremembe se bodo v prihodnje le še stopnjevale. Njihova posledica bodo precejšnje spremembe razmer, saj podnebje vpliva na izgled pokrajine, rastlinstvo, živalstvo, razpoložljivost vodnih virov. Spremembe učinkujejo tudi na naravno sposobnost prilagoditve okolja ob obremenjevanju z onesnaževali in njegovo sposobnost za naravno izločanje – razkroj.

3.1 Spremljanje podnebnih sprememb v Sloveniji

Izsledki mnogih raziskav kažejo, da se podnebje spreminja. Konec septembra 2013 je bil uradno objavljen prvi del petega poročila Medvladnega odbora za podnebne spremembe. Poročilo vsebuje najobsežnejši pregled znanstvenih spoznanj o preteklem, sedanjem ter pričakovanem stanju našega planeta. Naloga Agencije RS za okolje je povzeti izsledke raziskav in ugotoviti, kakšni so učinki podnebnih sprememb na naših tleh.

V Sloveniji se stanje okolja spremlja v okviru monitoringa na državni ravni, ki ga izvaja Agencija RS za okolje, kjer v zvezi s spremembami okolja delujejo na področjih:

- spremljanja stanja podnebja in njegovega vpliva na okolje, ki ga sestavljajo meteorološko, agrometeorološko, hidrološko in ekološko spremljanje razmer,
- spremljanja izpustov TGP in prizadevanja za njihovo zmanjševanje ter
- priprave strokovnih podlag, s pomočjo katerih se bomo prilagajali spremembam v našem okolju.

Zavedati se moramo, da je od meritev s klasičnimi termometri do spremljanja podnebnih razmer dolga pot. Preverjene posamezne meritve temperature zadoščajo za tekoče spremljanje vremena, analize daljših časovnih nizov podatkov pa zahtevajo medsebojno skladnost izmerkov v časovnem nizu. V daljših časovnih obdobjih meritev so številne merilne postaje zamenjale lokacijo, merilne naprave, spremenila se je okolica (urbanizacija). Vse te spremembe predstavljajo moteči faktor v podatkovnem nizu, ki lahko zaradi teh dejavnikov izkazujejo napačne izsledke o nihanju podnebnih razmer (Vertačnik, 2013). Primerjava več časovnih nizov podatkov iz okolice omogoča ločitev podnebnih signalov od motečih umetnih vplivov okolice. Tak postopek imenujemo homogenizacija, homogenizirani časovni nizi podatkov pa so osnova za raziskave podnebnih sprememb.

Enako kot v Evropi in po svetu tudi pri nas povprečna temperatura narašča, še posebej je opazen porast v zadnjih dvajsetih letih. Tudi padavinski režim se v tem obdobju spreminja. Opazno je povečanje že tako vidnega jesenskega viška padavin ter manjšanje količine padavin v ostalih letnih časih (Cegnar et al., 2010). Poleg razporeditve in količine padavin ter višanja temperature moramo posvetiti pozornost tudi spremembam zračnih tokov vremenskih vzorcev ter pogostosti in moči nevarnih vremenskih dogodkov.

Zaradi prepletanja gorskega, celinskega in sredozemskega podnebja v Sloveniji se zelo težko predvideva, kako se bodo podnebne spremembe kazale krajevno, po pokrajinah. Tanja Cegnar v svojem prispevku (Cegnar et al., 2010) navaja, da zaradi podnebnih sprememb opažamo vedno pogostejše zelene zime, dvig morske gladine, taljenje ledenikov in povečanje suš na že tako sušnih območjih, obilne padavine pa povzročajo poplave in zemeljske plazove. Škoda, ki jo povzročijo ekstremni vremenski dogodki, vse bolj narašča, tako zaradi dražje infrastrukture kot tudi zaradi uporabe območij z večjo izpostavljenostjo naravnim silam.

3.2 Podnebna spremenljivost in oscilacijski indeksi

Preučevanje podnebnih vplivov moramo ločiti na podnebno spremenljivost, kjer gre za spremembe, ki se nanašajo na krajša časovna obdobja, kot so dnevne, sezonske in letne spremembe podnebja. Na drugi strani so podnebne spremembe tiste, ki se odvijajo skozi daljše časovno obdobje in kažejo trende sprememb čez več desetletij zbranih podatkov (Kundzewicz in Robson, 2004). Podnebna spremenljivost lahko povzroči navidezen trend, kadar je čas beleženja podatkov kratek. Da bi znali ločiti med podnebnimi spremembami ter podnebno spremenljivostjo, si bomo ogledali najbolj znan pojav podnebne spremenljivosti, katerega vpliv je čutiti tudi pri nas.

Variabilnost atmosfere tako na regionalni kot na globalni skali je pogosto opisana s cirkulacijskimi indeksi, ki opisujejo časovni potek variabilnosti najrazličnejših prostorskih vzorcev različnih meteoroloških spremenljivk. Najpogosteje je to zračni tlak (Sušelj in Bergant, 2005). Na severni polobli je najbolj vpliven vzorec variabilnosti zračnega tlaka severnoatlantska oscilacija (angl. North Atlantic Oscillation, NAO).

3.2.1 Indeks NAO

Severnoatlantska oscilacija (NAO) je podnebni pojav v severnem Atlantiku, do katerega prihaja zaradi razlike atmosferskega tlaka na morski gladini med islandskim nizkim tlakom ter azorskim visokim zračnim tlakom. Sir Gilbert Walker je prvotno severnoatlantsko oscilacijo opredelil leta 1932, in sicer kot razliko v zračnem tlaku med Ponta Delgado na Azorih in Stykkishólmumom na Islandiji. NAO je eden izmed

najpomembnejših dejavnikov za podnebna nihanja v severnem Atlantiku in okoliških vlažnih podnebnjih. Severnoatlantska oscilacija se s časom spreminja, v določeni fazi lahko ostane več let, njeno spreminjanje pa ne kaže nikakršne stalne periodike. Kljub temu da frekvenčni spekter NAOI (angl. North Atlantic Oscillation Index) nima izrazitih frekvenc, značilnih za oscilacije (Hurrell, 2003), se v angleški literaturi za opis NAO uporablja izraz oscilacija. Severnoatlantski oscilacijski indeks odraža izrazitost NAO v času in opisuje prevladujoč vremenski tip nad Atlantikom in zahodno Evropo.

Pozitivna faza NAO se odraža z nižjim zračnim tlakom od povprečja v severnem delu Atlantika ter z višjim zračnim tlakom nad centralnim Atlantikom, vzhodnim delom severne Amerike ter nad zahodno Evropo. Obe fazi NAO sta tesno povezani s spremembami vodnih tokov severnega Atlantika ter spremembami zračnih tokov toplote in vlage, ki ju spremljajo nevihtni tokovi. Vpliv NAO indeksa se razteza od vzhodne Severne Amerike pa vse do zahodne in centralne Evrope.

Močne pozitivne faze NAO so po navadi povezane z nadpovprečno temperaturo v vzhodnem delu Združenih držav Amerike in po vsej severni Evropi. Na drugi strani pa so za ta obdobja značilne podpovprečne temperature na Grenlandiji in velikokrat po vsej južni Evropi in na Bližnjem vzhodu. Faze pozitivnega NAO indeksa so povezane tudi z nadpovprečno količino padavin v severni Evropi in Skandinaviji in podpovprečno količino padavin v južni in srednji Evropi. Med fazami močno negativnega indeksa NAO so bili ugotovljeni ravno nasprotni trendi temperature in padavin. NAO izkazuje precejšnjo medsezonsko in medletno spremenljivost. Pogosta so daljša obdobja (več mesecev) tako pozitivnih kot negativnih faz. Spremembe pri temperaturnih in padavinskih podatkih so še bolj očitne med daljšimi časovnimi obdobji trajanja neke faze indeksa NAO, saj se temperaturni vzorci pogosto razširijo tudi do osrednje Rusije in osrednje Sibirije na severu.

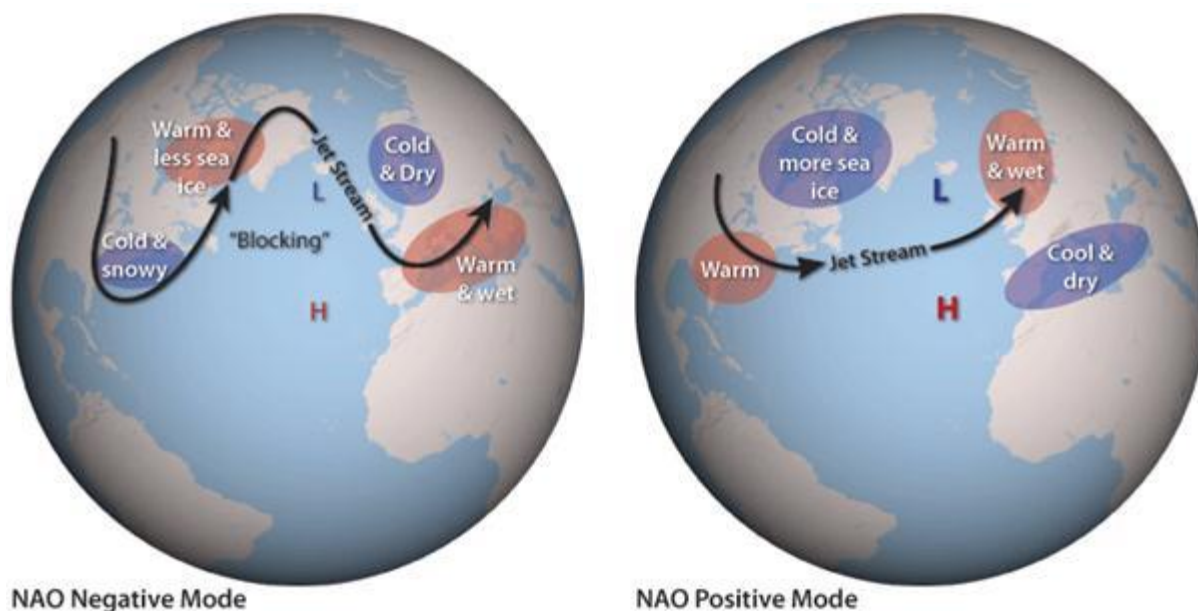
Indeks NAO se opazuje s pomočjo dnevni odstopanj od povprečne vrednosti izračunane iz obdobja 1950 do 2000, ki znaša 500 milibarov na področju severne poloble z geografsko širino od 0 do 90°. Podatki o indeksu severnoatlantske oscilacije (NAO) so na voljo na spletnih straneh Nacionalnega centra Združenih držav za raziskovanje vremena (angl. United States National Weather Service, Climate Prediction Center)

(<http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/CWlink/pna/norm.nao.monthly.b5001.current.ascii.table>, pridobljeno 27. 10. 2014). Na razpolago so dnevne vrednosti indeksa severnoatlantske oscilacije od leta 1950.

Zahodni vetrovi, ki pihajo preko Atlantika, prinašajo vlažen zrak v Evropo. V obdobjih, ko so ti vetrovi močni, imamo poletje zmernih temperatur, zime so blage in dež je pogost. Če so zahodni vetrovi blažji, so temperature ekstremnejše poleti in pozimi, kar vodi do vročinskih valov, ledenih zim in manjše količine padavin.

Slika 4 prikazuje spremembe zračnih tokov med obema fazama NAO. Stalno območje nizkega zračnega tlaka nad Islandijo in območje stalnega visokega zračnega tlaka nad Azori narekuje smer in moč zahodnih vetrov v Evropi. Velika razlika v tlaku na obeh območjih pomeni visok indeks NAO, katerega posledica so močni zahodni vetrovi, hladnejša poletja in blage, vlažne zime v srednji Evropi. V primeru, da je indeks NAO nizek, so zahodni vetrovi blažji in zime mrzle. Višek padavin in nevihtnega vremena se pomakne južneje proti južni Evropi, Sredozemskemu morju in severni Afriki.

Povezava med prevladujočim vremenskim tipom ter NAO je izrazita predvsem v hladnem delu leta. Mnoge študije so pokazale tesno povezavo med NAOI in številnimi spremenljivkami, med drugim temperaturo Atlantskega oceana (Marshall et. al., 2001), pretoki vodotokov (Lorenzo - Lacruz et al., 2011) in drugimi ekološkimi spremenljivkami.



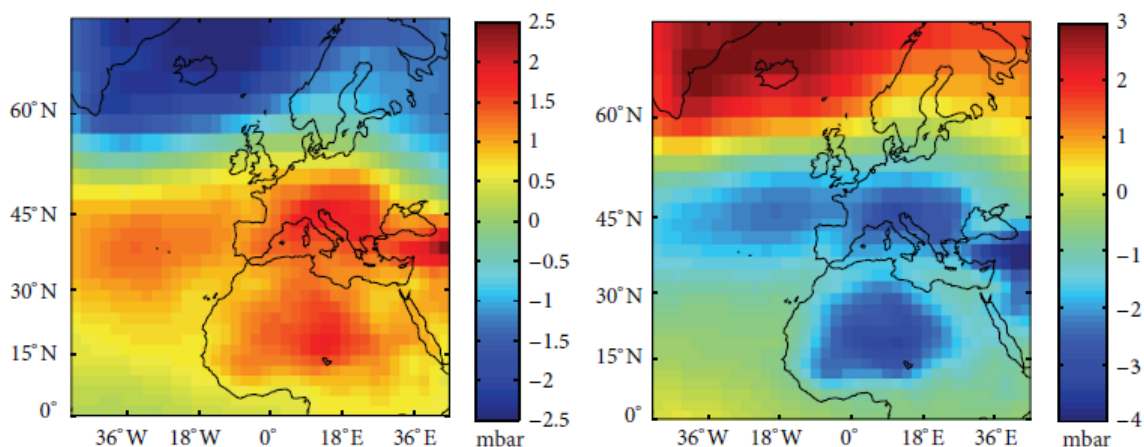
Slika 4: Spremembe zračnih tokov med obema fazama NAO (vir: http://www.climatewatch.noaa.gov/wp-content/uploads/2010/03/NAO_Schematic.png, pridobljeno 16. 10. 2014)

3.2.2 Indeks MO

Indeksi klimatskih modelov na večjih ravneh so zelo pomembni za razumevanje vremena na določenem območju, saj lahko z njihovo pomočjo bolje razumemo fizikalne značilnosti sistema klimatskih spremenljivk. Indeks NAO je torej eden najvplivnejših indeksov klimatskih modelov na severni polobli, obstaja pa še veliko drugih, ki delujejo na manjših območjih, a imajo vpliv na spremenljivost podnebja v Evropi. Med njimi so vzhodnoatlantski klimatski vzorec (angl. East Atlantic, EA), vzhodnoatlantski–zahodnoruski podnebni vzorec (angl. East Atlantic – West Russia, EA/WR), vzhodnosredozemski (angl. East Mediterranean Pattern, EMP), atlantska večdekadna oscilacija (angl. Atlantic Multidecadal Oscillation, AMO) ter sredozemska oscilacija (angl. Mediterranean Oscillation, MO).

Za podnebje v Sredozemlju je najpomembnejši regionalni vzorec v polju zračnega tlaka sredozemska oscilacija. To so dokazali v študiji (Conte et al., 1989), ki opisuje obstoj sredozemske oscilacije kot posledico razlike v tlaku med zahodnim in vzhodnim Sredozemljem. MOI (angl. Mediterranean Oscillation Index) je torej po Conte et al. (1989) definiran kot odstopanje od normalnega zračnega tlaka 500 milibarov, merjenega na morski gladini, med Algieri (36.4 °S, 3.1 °V) in Cairom (30.1 °S, 31.4 °V). Druga različica MOI pa je po Palutikof et al. (2003) definirana kot razlika med normalnim zračnim tlakom Gibraltarja (36.1 °S, 5.3 °Z) in letališčem Lod v Izraelu (32.0 °S, 34.5 °V). Podatke o indeksih mediteranske oscilacije smo pridobili na spletnih straneh Univerze vzhodne Anglije, oddelka za raziskovanje podnebja (angl. Climatic Research Unit) (<http://www.cru.uea.ac.uk/cru/data/moi/>, pridobljeno 27.10.2014). V bazi podatkov so tudi podatki o indeksih sredozemske oscilacije, merjene med Algieri in Cairom, ter indeksi oscilacije, merjeni med Gibraltarjem in letališčem Lod v Izraelu. Na voljo so dnevne vrednosti indeksov od leta 1948 naprej. Odstopanje zračnega tlaka v obdobju med letom 1958 in letom 2008 je za pozitivno in negativno fazo MOI prikazano na sliki 5.

Mnoge raziskave so dokazale znaten vpliv indeksa MO na različne spremenljivke, kot je temperatura in slanost morja (Supić et al., 2004), količina padavin (Dunkeloh in Jacobeit, 2003), temperatura zraka in pretokov rek (Sušelj in Bergant, 2005).

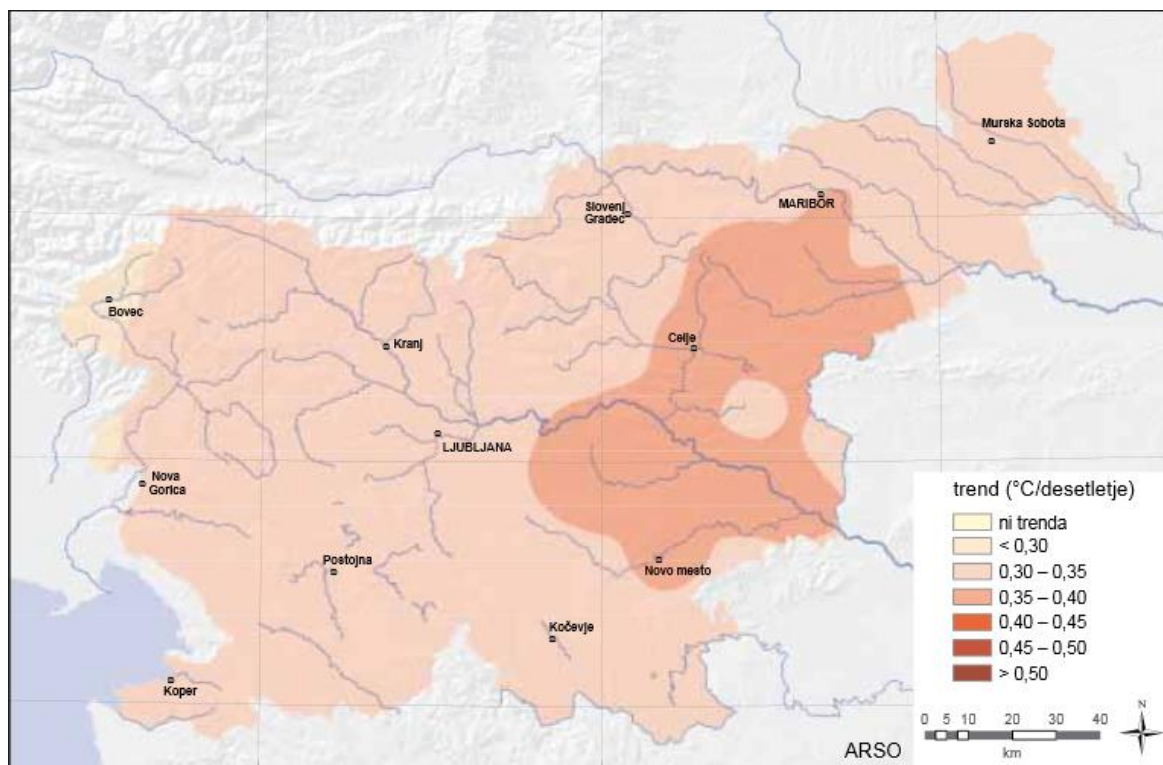


Slika 5: Prikaz odstopanj zračnega tlaka, merjenega na morski gladini v obdobju 1958–2008, za pozitivno fazo MOI (levo) ter negativno fazo MOI (desno) v milibarjih. (Criado Aldeanueva, Soto Navarro, 2013, str. 2)

3.3 Spremenljivost temperature zraka

Segrevanje zraka je bilo na območju Slovenije v zadnjih desetletjih časovno in prostorsko neenakomerno razporejeno. Na Agenciji RS za okolje so na podlagi homogeniziranih časovnih nizov podatkov (Vertačnik et al., 2013) ugotovili, da je znašal linearni trend rasti temperature zraka v obdobju od 1961 do 2011 okoli 0,34 °C na desetletje, kar pomeni, da se je temperatura zraka v tem času dvignila za 1,7 °C (slika 6).

Podobno spremembo kot pri povprečni dnevni temperaturi zraka beležijo tudi pri najnižjih dnevni temperaturah, medtem ko so najvišje dnevne temperature izkazale v povprečju še nekoliko večjo rast, in sicer 0,38 °C na desetletje (Vertačnik et al., 2013).



Slika 6: Karta časovnega trenda letne povprečne temperature zraka v Sloveniji v obdobju 1961–2011 (Vertačnik et al., 2013, str. 16)

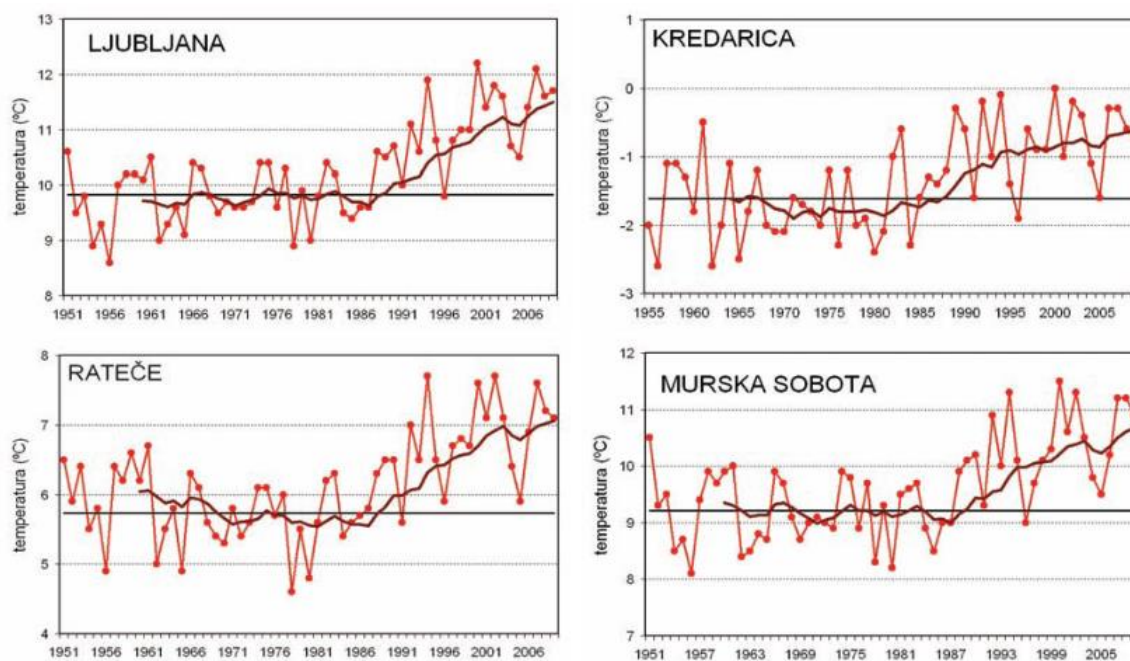
Raziskave daljših časovnih nizov podatkov so pokazale, da so najnižje temperature zraka izmerili daleč v preteklosti ter najvišje temperature zraka v zadnjih letih obravnavanega obdobja. Temperatura je naraščala, večinoma statistično značilno, po vseh podnebnih območjih. V članku Vpliv padavin na pretočni režim Slovenije (Kobold et al., 2011) je objavljena preglednica spremembe temperature ($^{\circ}\text{C}/10$) na podlagi linearnega trenda v obdobju 1950–2010 (Preglednica 1), v kateri so prikazani statistično značilni trendi naraščanja po letnih časih. Avtorji ugotavljajo, da je hitrost ogrevanja od zime do poletja podobna, medtem ko je jeseni porast temperature majhen ali pa ga sploh ni bilo. Iz povprečja izstopa le submediteranska regija, kjer zaradi bližine morja pozimi trend ni statistično značilen, jeseni pa je trend višji kot v ostalih regijah.

Merilna mesta so se v obdobju meritev močno spreminjala. Na ljubljanski merilni postaji za Bežigradom se je okolica merilne postaje spremenila iz podeželskega začetnega okolja leta 1948 do danes, ko se nahaja skorajda v središču mesta (Vertačnik et al., 2013). Poleg okolice postaje se je na širšem območju spremenila še raba energije, kar prav tako vpliva na temperaturo zraka.

Preglednica 1: Sprememba temperature na desetletje (°C/10), izračunana na podlagi statističnega trenda za obdobje 1950–2010. Znak - pomeni, da trend ni statistično značilen. (Kobold et al., 2011, str. 185)

	Zima	Pomlad	Poletje	Jesen	Leto
LJUBLJANA	0,4	0,4	0,5	0,2	0,4
CELJE	0,4	0,4	0,5	0,2	0,4
MURSKA SOBOTA	0,3	0,3	0,4	0,1	0,3
NOVO MESTO	0,4	0,4	0,5	0,2	0,4
POSTOJNA	0,2	0,3	0,4	0,1	0,2
BILJE	-	0,3	0,5	0,3	0,3
RATEČE	0,2	0,3	0,4	-	0,2

Da bi izločili vplive sprememb okolice merilnega mesta, so na ARSO podatke o temperaturi zraka homogenizirali (Vertačnik et al., 2013). Primerjali so časovne nize npr. Ljubljane s podatki meteoroloških postaj v okolici (Letališče JP Ljubljana, Topol pri Medvodah, Vrhnika in Lipoglav). Take primerjave razkrijejo umetne vplive od dejanskih vplivov podnebnih sprememb. S tako primerjavo so na Agenciji RS za okolje ugotovili (Vertačnik et al., 2013), da gre v Ljubljani pri povprečni in dnevni najnižji temperaturi zraka četrtno dviga v obdobju 1961–2011 pripisati urbanizaciji. Kot dokaz, da za spremembe ni kriva le urbanizacija, si oglejmo sliko 7, kjer je prikazan potek povprečne letne temperature za različne kraje v Sloveniji. Kot vemo, se poselitev na Kredarici ni spremenila, višanje temperature zraka pa je kljub temu očitno. Rjava črta na grafih prikazuje 10-letno drseče povprečje, katere naklon kaže naraščanje temperatur zadnjih 30 let.



Slika 7: Potek povprečne letne temperature v letih 1951–2009 in 10-letno drseče povprečje (rjava črta) ter povprečje referenčnega obdobja 1961–1990 (črna črta) (Cegnar, 2010, str. 8).

4 METODOLOGIJA

4.1 Analiza podatkov

Analiza podatkov je kompleksen pojem, ki povezuje različne faze analize. Te faze se med seboj povezujejo in na koncu raziskovalcu omogočijo, da presodi, če so analizirani podatki smiselni, dovolj natančni, reprezentativni ter če bo na podlagi teh podatkov nadaljnja analiza smiselna. Analizo podatkov sestavljajo štiri ključni koraki (Kundzewicz in Robson, 2000):

- pridobivanje in priprava ustreznih podatkov,
- raziskovalna analiza podatkov,
- uporaba statističnih metod,
- interpretacija.

4.1.1 Pridobivanje in priprava ustreznih podatkov

Pridobiti ustrezne podatke za raziskavo se sliši enostavno, vendar v praksi zahteva precejšno mero znanja in pazljivosti. Upoštevati je potrebno kar nekaj vidikov pridobitve ter priprave podatkov (Kundzewicz in Robson, 2000):

- Kakovost podatkov

Pred analizo moramo podatke pregledati. Poznavanje problematike kakovosti podatkov je za nadaljnjo raziskavo izrednega pomena. Pri hidroloških podatkih z daljšimi nizi meritev pogosto nastopi problem menjave metod merjenja. Take spremembe med nizi podatkov moramo torej poznati, da lahko pred obdelavo podatkov poiščemo ustrezne rešitve.

- Časovna dolžina podatkov

Nizi podatkov naj bodo čim daljši. Kratki nizi podatkov so precej bolj občutljivi na lokalno podnebno spremenljivost in nas pogosto lahko privedejo do napačnih zaključkov. Za preučevanje podnebnih sprememb se v literaturi predlaga vsaj 50 let dolge nize podatkov.

- Manjkajoči podatki v seriji

Manjkajoče vrednosti ali luknje v podatkih kakovost podatkov poslabšajo in analizo otežijo. Potrebno je oceniti, ali se manjkajoči podatki v nizu pojavljajo naključno in ne bodo imeli večjega vpliva na rezultate analize. Če manjka večje število podatkov, je potrebno razmisliti o njihovi reprezentativnosti in smislu uporabe nepopolnih podatkov v analizi. Kljub manjkajočim podatkom v seriji lahko opravimo mnoge metode raziskovanja. Preceniti moramo le, da manjkajočih podatkov ni preveč ter da se ti v nizu pojavljajo slučajno.

- Časovni korak podatkov

V hidrologiji so na voljo dnevni, mesečni, letni podatki. Podatki z veliko frekvenco vsebujejo več informacij in jih je težje analizirati. Potrebne so bolj restriktivne predpostavke za analizo (npr. o neodvisnosti spremenljivk), kar pomeni zahtevnejše računske postopke.

- Uporaba povzetkov meritev

Potrebne količine in podatke za analizo je večkrat treba izračunati iz tako imenovanih surovih, neobdelanih podatkov. Preceniti moramo, ali je za analizo potrebno iz serije dnevni podatki izračunati srednja mesečna povprečja (npr. pretokov) ali bodo zadostovale letne najvišje vrednosti. Katere podatke bomo izbrali za analizo, je odvisno od raziskovalca in narave problematike, ki jo raziskuje.

- Uporaba transformacije podatkov

Zaradi narave hidroloških podatkov, ki pogosto ne zadostijo predpostavki o normalnosti porazdelitve, se lahko podatke pred samo analizo podatkov transformira in tako omogoči lažjo nadaljnjo analizo.

4.1.2 Opisna analiza podatkov

Opisno analizo podatkov lahko drugače imenujemo tudi raziskovalna, vizualna analiza podatkov (angl. Exploratory Data Analysis, EDA). Je sklop statističnih in grafičnih metod za prikazovanje podatkov. EDA je iterativen proces, ki naj se uporablja v več fazah analize podatkov. Je nujen sestavni del vsake statistične analize, saj so brez

razumevanja uporabljenih podatkov rezultati statistične analize lahko brez pomena (Kundzewicz in Robson, 2000). V prvi fazi se EDA uporabi pri pregledu surovih, neobdelanih podatkov, kjer nam razkrije pomembne značilnosti podatkov, kot so na primer:

- časovni vzorci (trend ali postopne spremembe),
- sezonska nihanja,
- regionalni in prostorski vzorci,
- manjkajoči podatki v seriji, osamelci – ekstremno velika razlika posameznega podatka od povprečja ter
- korelacije med podatki.

Če katere od teh značilnosti podatkov odkrijemo, jih s pomočjo EDA lahko tudi nadalje raziskujemo. Metodo EDA lahko uporabimo tudi za preverjanje testne predpostavke o statistični porazdelitvi podatkov, njihove neodvisnosti ter avtokorelacije.

Opisne analize podatkov se lahko posluži kdorkoli, ki skuša razumeti preučevane podatke. Analiza ne zahteva nikakršnega posebnega matematičnega predznanja, zahteva le zbranost, pozornost in pripravljenost najti rešitve. Dobra praksa opisne analize podatkov zahteva smiselno uporabo ustrezno prikazanih grafov. Ne smemo podcenjevati razlike med dobrim in slabim grafičnim prikazom, saj se z dobrim grafičnim zapisom mnogo lažje odkrije pomembne značilnosti, strukture in nepravilnosti v podatkovni seriji.

Trenutno je na voljo kar nekaj programskih paketov, ki vsebujejo različna orodja, s pomočjo katerih je mogoče opraviti dobro opisno analizo podatkov. Od najenostavnejših paketov s preglednicami, kot je Excel, do namiznih statističnih paketov, na primer MINITAB, pa vse do močnih statističnih programskih jezikov, kot je program R. Za potrebe naše raziskave bomo uporabili programska paketa MINITAB ter HYDROSPECT, ki ju bomo kasneje podrobneje predstavili.

Dobro izvedena opisna analiza lahko odpravi potrebo po formalnih statističnih analizah. Te lahko postanejo način za preverjanje in potrjevanje rezultatov, ne pa samo sredstvo za iskanje v podatkih. EDA je prav tako koristna pri odkrivanju težav v zvezi s kakovostjo podatkov, ne more pa nadomestiti ustreznega nadzora kakovosti podatkov. Tako statistični testi v kombinaciji z analizo EDA predstavljajo potrditev, da je opazovani vzorec značilen (Kundzewicz in Robson, 2004). Na tak način bomo v tej nalogi preverjali

trend rasti temperature slovenskih rek v povezavi s temperaturo zraka ter koeficienti NAO ter MO.

EDA vključuje risanje, študijo pomanjkljivosti podatkov ter prostorske prikaze rezultatov. V nadaljevanju si bomo ogledali osnovne komponente uporabe EDA, ki jih bomo uporabili tudi v naši raziskavi, vse ostale tehnike ter primere uporabe EDA je mogoče najti v literaturi (Kundzewicz in Robson, 2000), saj je potrebno poudariti, da je vsaka hidrološka raziskava razred zase in potrebuje edinstven pristop ter uporabo različnih orodij obdelave podatkov.

4.1.2.1 Grafični prikazi časovnih vrst

Večina hidroloških podatkov je prikazanih v obliki časovnih vrst, kar pomeni, da je opazovana spremenljivka zabeležena tekom določenega časovnega intervala. Spremenljivke največkrat prikazujemo na grafih v odvisnosti od časa, saj je časovna spremenljivost ključnega pomena, predvsem, ko med podatki iščemo spremembe. Koncept je preprost, potrebna je pazljivost, da razpoložljive podatke v grafih prikažemo pregledno, da kar najboljše prikazujejo vse vsebovane značilnosti.

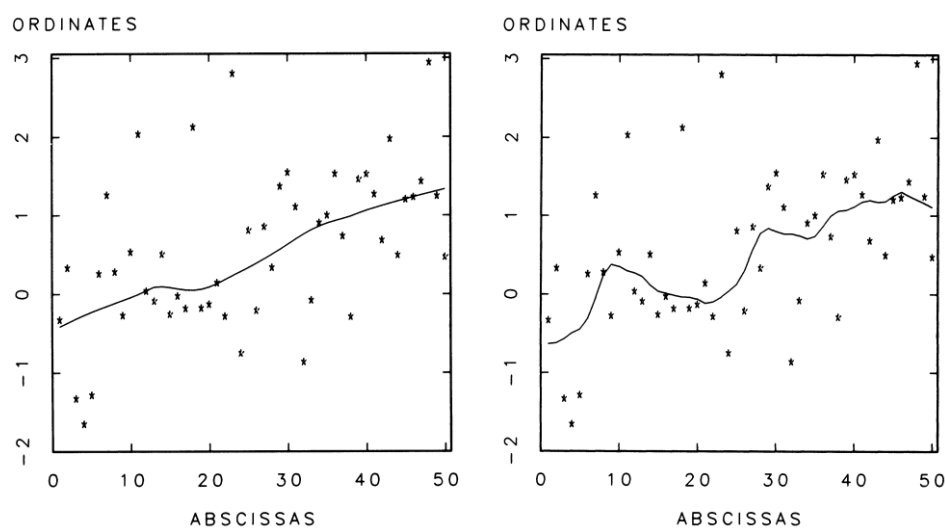
Kadar imamo na voljo podatke, zbrane z več lokacij, je smiselno preučiti grafe podatkov iste regije skupaj na eni strani, kar nam omogoča boljšo preglednost in primerjavo med lokacijami. Tako lahko bolje razberemo vzorec in opazimo težave med podatki. Potrebno je še poudariti, da je zagotovljena boljša preglednost, če se na enem grafu prikaže samo nekaj podatkov. Podatki več lokacij naj imajo za hitrejšo oceno podobnosti oz. razlike med podatki enak časovni interval.

Ko imamo na voljo informacijo o lokaciji merilnega mesta podatkov in preiskujemo podatke več lokacij, lahko za boljšo prostorsko predstavo podatke prikažemo tudi na zemljevidu. Vrednosti spremenljivke lahko označimo z velikostjo simbola oz. z uporabo barvne lestvice. Tak prikaz je smiseln za relativno redko prostorsko razporeditev podatkov.

Pri interpretaciji časovnih vrst podatkov nam je pogosto v pomoč uporaba trendnih črt. To so lahko regresijska premica ter izravnane oz. glajene krivulje, ki sledijo splošnemu trendu podatkov. Zanesljivost trendne črte je odvisna od števila točk in dolžine časa, v katerem trend vztraja, ne da bi bil pri tem prekinjen. Pomemben pa je tudi naklon, saj

večji nakloni pomenijo bolj izrazit trend in obratno. Izravnano krivuljo lahko najlažje pridobimo z uporabo ene od tehnik robustnih metod glajenja podatkov. Za potrebe naše analize bomo uporabili trendno črto linearne regresije ter glajeno krivuljo, pridobljeno s pomočjo funkcije LOWESS (angl. Locally Weighted Scatterpoint Smoothing) z uporabo statističnega programskega paketa MINITAB.

LOWESS je robustna metoda iskanja najmanjših kvadratov. Gre za različico regresije, ki se uporablja za glajenje krivulj. Podano imamo množico točk (x_i, y_i) , na podlagi katerih želimo dobiti glajeno krivuljo. To storimo tako, da izberemo vzorec koordinat x . Za vsak x iz podane množice točk vzamemo določen delež točk (po navadi $\alpha = [[0,3 - 0,5]]$) z najbolj podobnimi koordinatami x_i , kjer je α stopnja glajenja, od katerega je odvisno prileganje glajene krivulje. Za te točke izračunamo linearno regresijo, s tem da vsako točko utežimo glede na razliko $|x - x_i|$. Nazadnje uporabimo linearno regresijo kot model, s katerim ocenimo vrednost y pri danem x . Ko postopek ponovimo za vse x iz vzorca, dobimo glajeno krivuljo (Cleveland, 1979). Največja prednost metode LOWESS je ta, da ne potrebujemo določiti funkcije prileganja preučevanih podatkov. Namesto tega analitik določi samo stopnjo glajenja α ter stopnjo polinoma. Tako je metoda zelo prilagodljiva, zaradi česar je idealna za preučevanje zapletenih procesov, za katere ni nobenih teoretičnih modelov. LOWESS je tako ena od sodobnih metod, ki spadajo v okvir iskanja najmanjših kvadratov in so zelo privlačne za uporabo. Slika 8 prikazuje primera glajenih krivulj za različni stopnji glajenja α .



Slika 8: Primera glajenih krivulj za različni stopnji glajenja α . Levo $\alpha=0,5$, desno $\alpha= 0,2$ (Cleveland, 1979, str. 830, 831)

4.2 Statistične analize

4.2.1 Osnove statističnega testiranja na spremembo

Ogledali si bomo osnovne statistične teste in terminologijo, potrebno za statistično testiranje na spremembe. Kundzewicz in Robson (2000) v svojem delu sistematično navajata vse potrebne informacije za uporabo statističnih metod za testiranje na spremembe v hidroloških podatkih.

Spremembe v serijah podatkov se pojavljajo na več načinov. To so lahko postopne spremembe (trend), nenadne spremembe (skok) ali pa kompleksnejše oblike sprememb. Te spremembe lahko vplivajo na srednjo vrednost, mediano, varianco ali kakšno drugo izmed mnogih lastnosti podatkov. Z vidika uporabe so najbolj razširjeni testi, pri katerih iščemo trende med srednjimi vrednostmi in mediano. Prav te teste bomo potrebovali tudi pri statistični analizi naših podatkov.

Začetna točka statističnega testa je definicija ničelne ter alternativne hipoteze. Ničelna hipoteza je v osnovi tista, ki jo preverjamo. V našem primeru iskanja trenda na podlagi srednjih vrednosti temperature vodotoka bomo za ničelno hipotezo (H_0) privzeli, da trend ne obstaja. Torej za H_0 privzamemo, da ni sprememb v nizu temperaturnih podatkov ter da trend ne obstaja. Kot alternativno hipotezo H_1 pa privzamemo, da trend obstaja in da je bodisi pozitiven ali negativen. Alternativna hipoteza in ničelna hipoteza sta med seboj nezdružljivi.

Statistični test začnemo s predpostavko, da ničelna hipoteza velja ter da je pravilna. Nato preverjamo, če so opazovani podatki skladni s to hipotezo. Ničelna hipoteza je zavrnjena, če podatki z njo niso skladni.

Testna statistika je numerična vrednost, določena na podlagi podatkovnih serij, ki jo uporabljamo za primerjavo ničelne in alternativne domneve. Dobra testna statistika je sestavljena tako, da poudari razliko med obema hipotezama. Preprost primer testne statistike je koeficient linearne regresije, ki ga uporabljamo pri testih iskanja trenda srednjih vrednosti kot v našem primeru. Če trend ni prisoten (ničelna hipoteza), potem bo regresijski koeficient zavzemal vrednost blizu nič. V primeru, da je trend med srednjimi vrednostmi prisoten, pa bo regresijski koeficient zelo različen od nič. Kakršenkoli je rezultat testne statistike, ga je potrebno ovrednotiti ter ga primerjati s pričakovano

vrednostjo statistike na podlagi ničelne hipoteze. Pri tem si pomagamo s stopnjo značilnosti oz. s kritičnim območjem ali območjem zavrnitve.

Kritično območje ali območje zavrnitve določimo s stopnjo tveganja α . To je območje, v katerega pade vrednost testne statistike v primeru, ko se ta precej razlikuje od vrednosti 0. Tako imamo dve možni razlagi, in sicer da ničelna hipoteza velja ter da je bil obravnavan vzorec slučajno tak, da je vrednost statistike padla v kritično območje. Druga možnost je, da je ničelna hipoteza zavrnjena. V tem primeru se vedno odločimo tako, da zavrnemo ničelno hipotezo. Če ničelna hipoteza ne velja, iz tega sledi, da velja alternativna hipoteza. Tako s stopnjo tveganja α trdimo, da velja alternativna hipoteza (H_1).

Poudariti moramo, da noben statistični test ni popoln, tudi v primeru, ko so pravilne vse predpostavke. Pri testiranju hipotez se stopnja značilnosti uporablja kot kriterij za zavrnitev ničelne hipoteze. Stopnja značilnosti nam pove, v kolikšni meri se testna statistika, glede na niz vrednosti razlikuje od vrednosti, ki bi se običajno pojavile v primeru ničelne hipoteze. Tako na primer 95 % stopnja značilnosti predstavlja v povprečju 5 % verjetnost, da bo izračun napačen. Nasprotno pa stopnja tveganja predstavlja verjetnost, da je ničelna hipoteza napačno zavrnjena, čemur pravimo »napaka I. vrste« (Kunzewicz in Robson, 2004). Pri izboru alternativne hipoteze kot veljavne hipoteze lahko storimo napako in zavrnemo ničelno hipotezo, čeprav velja. Verjetnost, da smo storili napako I. vrste, je enako stopnji tveganja α . V primeru, ko testna statistika ne pade v kritično območje, sledi zaključek, da ničelne hipoteze ne moremo zavrniti. Tukaj lahko pride do »napake II. vrste«, ki se pojavi kadar je ničelna hipoteza sprejeta (kar pomeni, da trend ni prisoten) v primeru, ko je pravilna alternativna hipoteza (trend je prisoten).

Moč statističnega testa je opredeljena z nizko verjetnostjo napake II. vrste, kar pomeni, da je tveganje napačnega izbora ničelne hipoteze nizko. Prav tako je moč testa sorazmerna z verjetnostjo odkritja trenda, kadar je ta res prisoten.

Pri statističnem testiranju moramo upoštevati predpostavke, ki so spodaj navedene (Kunzewicz in Robson, 2004).

Podrobno označena oblika porazdelitve – domnevamo, da so podatki normalno porazdeljeni. Predpostavka je prekršena, kadar podatki ne sledijo navidezni porazdelitvi.

Trajnost porazdelitve – vse podatkovne točke imajo identično porazdelitev. Ta predpostavka je prekršena v primeru, da so prisotna sezonska nihanja ali katerikoli drugi cikli v podatkih. Prav tako je predpostavka prekršena v primeru spremembe srednje vrednosti skozi čas oziroma katerekoli druge značilnosti podatkov, ki v testu ni dovoljena.

Neodvisnost – ta predpostavka je prekršena, kadar je prisotna avtokorelacija (korelacija med dvema časovnima vrstama, znana tudi kot serijska korelacija in časovna korelacija) ali v primeru večstranskih študij prostorske korelacije.

Kadar podatki ne izpolnjujejo predpostavke statističnega testa, so rezultati lahko ocene stopnje tveganja v veliki meri napačne. Značilnost hidroloških podatkov je ta, da so pogosto močno ne-normalni. To pomeni, da so testi, ki predvidevajo osnovno normalno porazdelitev, neprimerni. Hidrološki podatki tudi tipično kažejo bodisi avtokorelacijo bodisi prostorsko korelacijo, zato vrednosti podatkov niso neodvisne. Prav tako lahko prikazujejo sezonskost, ki krši predpostavke o trajnosti porazdelitve.

4.2.2 Glavne faze statistične analize pri iskanju sprememb v podatkih

Po Kundzewiczu in Robsonu (2004) so glavne faze statističnega testiranja naslednje:

- na podlagi interesov se moramo odločiti, kateri tip spremenljivke testirati (mesečna povprečja, letni maksimum, sezonsko prilagojeni podatki ...),
- odločitev, kateri tip spremembe nas zanima (postopni trend ali nenadne spremembe),
- izbor statističnega testa, to je izbor testne statistike in izbor metode za ovrednotenje stopnje tveganja, odločamo se s pomočjo primerov dobre prakse, izberemo lahko tudi več testov,
- ovrednotenje stopnje tveganja in
- raziskovanje in interpretacija podatkov.

4.2.3 Testi za ugotavljanje trendov

Obstaja več možnosti statističnega testiranja trendov in ostalih sprememb v hidroloških podatkih. Od tradicionalnih pristopov, kot je metoda največjega verjetja (angl. Maximum

Likelihood Method), do novejših pristopov, kot so tehnike glajenja – na primer že predhodno omenjena regresija z lokalnim koeficientom glajenja (angl. Locally Weighted Regression) (Radziejewski et al., 2000).

V praksi se običajno daje poudarek na skupino neporazdelitvenih metod, ki ne zahteva predpostavke o obliki porazdelitve podatkov. Za neporazdelitvene metode statističnih testov torej ne potrebujemo predpostavke o normalni porazdelitvi podatkov, ki ji hidrološki podatki običajno ne morejo zadostiti. Poznamo več pristopov neporazdelitvenih metod.

Testi na osnovi rangov rangirajo podatkovne vrednosti. Podatkovna točka ima rang r , če je r -ta največja vrednost v nizu podatkov. Večina testov na osnovi rangov predvideva, da so podatki medsebojno neodvisni ter enakomerno porazdeljeni. Prednost teh testov je, da so robustni ter tako enostavni za uporabo (Kundzewicz in Robson, 2000).

Testiranje z normalno transformacijo (angl. Normal Score Transformation testing). Obstaja veliko statističnih testov, ki se sklicujejo na predpostavke o normalni porazdelitvi podatkov. Tem pogojem, kot že omenjeno, hidrološki podatki pogosto ne zadoščajo, saj so običajno precej nenormalno porazdeljeni. Kadar teste vseeno želimo uporabiti, moramo hidrološke podatke najprej transformirati. Normalna transformacija se kaže v podatkih, ki so normalno porazdeljeni. Transformacija deluje po podobnem principu kot rangiranje podatkov, le da nadomestna vrednost ne zavzema ranga r , temveč je nadomeščena s tipično vrednostjo, ki bi jo podatek zavzema, če bi bil niz podatkov normalno porazdeljen. Prednost uporabe normalne transformacije je, da ni nujno, da opazovani podatki sledijo normalni porazdelitvi ter da je test relativno robusten glede ekstremnih vrednosti. Slabost pri testiranju z normalno transformacijo pa je, da je zaznane statistične spremembe, kot je na primer regresijski gradient, relativno težko interpretirati. Testi normalne transformacije rahlo izboljšajo moč detekcije spremembe glede na ekvivalentne teste na osnovi rangov (Kundzewicz in Robson, 2000).

Testiranje z uporabo ponovnega vzorčenja. Te metode se uporabljajo za ugotovitev pomembnosti teste statistike. Prednost te metode je njena fleksibilnost ter uporabnost za širok spekter podatkov, vključno z avtokoreliranimi in sezonskimi podatki. Pri tehniki ponovnega vzorčenja je možno sestavljati nove testne statistike za določanje določenega tipa spremembe, pri čemer ni potrebno izbrati testne statistike iz poznanih testov. Ta možnost sestave poljubne testne statistike omogoča veliko fleksibilnost pri testiranju podatkov (Kundzewicz in Robson, 2004).

Le nekaj naštetih značilnosti, ki jim sledijo različni statistični pristopi za ugotavljanje trendov med serijami podatkov, nas pripelje do dejstva, da obstaja zares veliko različnih testov, ki se jih lahko poslužimo za obdelavo naših podatkov. Zaradi podnebnih sprememb se je v zadnjih letih močno povečalo zanimanje za analiziranje hidroloških ter meteoroloških podatkov (Makor, 2014). Narejenih je bilo kar nekaj študij o pregledu metod za odkrivanje trenda med hidrološkimi podatki (npr. Esterby, 1996; Kundzewicz in Robson, 2000, 2004; Khaled, 2008; Khaliq et al., 2009). Za potrebe moje diplomske naloge se bomo sklicevali na primere dobre prakse, omenjene med glavnimi fazami statistične analize. Glede na značilnosti naših podatkov ter predhodno opravljene opisne ali vizualne analize podatkov smo izbrali teste, ki so za našo analizo trendov primerni. Tako v nadaljevanju predstavljamo statistične teste, ki jih bomo uporabili za analizo trendov temperaturnih podatkov slovenskih vodotokov.

4.2.3.1 Mann-Kendallov test

Mann-Kendallov test spada v skupino testov, osnovanih na rangiranju podatkovnih nizov, pri čemer se dejanske podatkovne vrednosti ne uporabijo. Podatkovna točka se rangira kot n , če je n -ta največja vrednost v nizu podatkov (Kundzewicz in Robson, 2000).

Mann-Kendallov test je še posebej uporaben za zaznavanje postopne spremembe ali trenda v časovnih nizih in je eden najširše uporabljenih robustnih neparametričnih testov na trend v analizah hidroloških podatkov. Zasnovan je na »Tau« statistiki in služi za identifikacijo pomembnih trendov med spremenljivkami (Jurko, 2009).

Mann-Kendallov test (Mann, 1945; Kendall, 1975) ni občutljiv na osamelce in vsebuje dva pomembna parametra, ki se nanašata na zaznavanje trendov. To sta stopnja značilnosti (angl. significance level), ki označuje moč trenda, ter velikost obsega (angl. slope magnitude estimate), ki označuje smer in obseg trenda (Jurko, 2009).

Na Mann-Kendallov test aktualna porazdelitev podatkov nima vpliva, saj test spada med neporazdelitvene teste na osnovi rangov. Test je hkrati tudi manj občutljiv na zunanje dejavnike. Zahteva tako parametričnih kot tudi neparametričnih testov na trend je, da so podatki med seboj neodvisni, saj v nasprotnem primeru pozitivna serijska korelacija med opazovanji poveča možnost statistično značilnega trenda tudi v primeru odsotnosti trenda. Vpliv avtokorelacije torej poveča možnost za napako prve vrste pri testiranju značilnosti trenda neodvisno od velikosti vzorca. Vpliv avtokorelacije je možno iz

podatkov izločiti na več načinov. Hirsch in Slach (1984) sta predlagala popravke za varianco Mann-Kendallove testne statistike na osnovi efektivne velikosti vzorca.

Poleg tega pristopa v literaturi zasledimo tudi tehnike odstranjevanja vpliva avtokorelacije pred testiranjem, to je »pre-whitening«. Bistvo te metode je, da odstrani avtokorelacijo 1. reda iz časovne vrste (y_1, y_2, \dots, y_n), kar da transformirano časovno vrsto dolžine $(n-1)$.

Kendallov korelacijski koeficient τ_b se za časovno vrsto izračuna po formuli:

$$\tau_b = \frac{S}{\sqrt{(n_0 - n_1)n_0}},$$

pri čemer je:

$$n_0 = \frac{n(n-1)}{2},$$

$$n_1 = \sum_{i=1}^m \frac{t_i(t_i-1)}{2},$$

in

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(y_j - y_k),$$

kjer je m število vezanih skupin. Število enot v i -ti skupini je označeno s t_i , funkcija sgn (signum) pa je definirana:

$$\text{sgn}(y_j - y_k) \begin{cases} 1; & y_j - y_k > 0 \\ 0; & y_j - y_k = 0 \\ -1; & y_j - y_k < 0 \end{cases}$$

Kot smo že omenili, Mann-Kendallov test temelji na testni statistiki S . Pozitivna oz. negativna vrednost testne statistike S označuje naraščajoč oz. padajoč trend. Ob predpostavki, da so ostanki neodvisni, je za $n \geq 8$ statistika S približno normalno porazdeljena s srednjo vrednostjo 0 in varianco $\text{Var}(S)$:

$$\text{Var}(S) = \frac{1}{18} (n(n-1)(2n+5) - \sum_{t=1}^m t_i(t_i-1)(2t_i+5)).$$

Ničelno hipotezo, da trenda ni (korelacijski koeficient je 0), zavrnamo, če je absolutna vrednost statistike večja od $z_{\alpha/2}$.

4.2.3.2 Linearna regresija

Regresija pomeni prilagajanje ustrezne matematične funkcije empiričnim podatkom, funkcija, ki jo dobimo, pa je regresijska funkcija. Lahko je enostavna (tj. linearna) ali pa bolj kompleksna (Košmelj, 2007).

O linearni regresiji govorimo takrat, kadar je graf regresijske funkcije premica. Linearni trend je linearna regresija, kjer je čas neodvisna spremenljivka (Medved, 2012).

Za odkrivanje in ocenjevanje linearnega trenda v nizu podatkov y_1, y_2, \dots, y_n , izmerjenih v določenih časovnih točkah x_1, x_2, \dots, x_n , se uporablja enostavni linearni model:

$$y_i = a + bx_i + e_i \quad i = 1 \dots n$$

Kjer sta a in b regresijska koeficienta, e_i pa so ostanki, za katere predpostavimo, da so neodvisni in normalno porazdeljeni z aritmetično sredino 0 ter konstantno varianco σ^2 . Normalno porazdelitev ostankov lahko testiramo s testom Kolmogorov-Smirnov (Kundzewicz in Robson, 2000).

Z metodo najmanjših kvadratov dobimo nepristranski oceni za koeficienta a in b :

$$\hat{b}_i = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}},$$

s standardnim odklonom:

$$s(\hat{b}_i) = \frac{s_e}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}}$$

in

$$\hat{a}_i = \bar{y} - \hat{b}_i \bar{x},$$

kjer je \bar{y} aritmetična sredina vrednosti y_i in \bar{x} aritmetična sredina vrednosti x_i .

Ničelno hipotezo, da trend ni značilen ($b = 0$), proti alternativni hipotezi, da je trend značilen ($b \neq 0$), testiramo s testno statistiko, ki se porazdeljuje po Studentovi porazdelitvi t z $n-2$ prostostnimi stopnjami. Hipotezo lahko podobno testiramo tudi za koeficient a .

Ničelna in alternativna domneva:

H_0 : ($b = 0$) Linearen trend ne obstaja.

H_1 : ($b \neq 0$) Linearen trend obstaja.

Statistika, ki ustreza ničelni domnevi, porazdeljena po Studentovi porazdelitvi t z $n-2$ prostostnimi stopnjami:

$$t_b = \frac{\hat{b}_i}{s(\hat{b}_i)}.$$

Časovne vrste redko izpolnjujejo predpostavko o normalni porazdelitvi in neodvisnosti ostankov, ki jo opisana metoda zahteva. Metoda najmanjših kvadratov je občutljiva tudi na ekstremne vrednosti (osamelce), ki so v serijah hidroloških podatkov pogosto prisotne. V takih primerih lahko dobimo s to metodo nerealne rezultate (Makor, 2014).

4.2.3.3 Pearsonov korelacijski koeficient

Pearsonov korelacijski koeficient je mera linearne povezanosti za dve številski spremenljivki. Če sta spremenljivki povezani ter je povezava linearna, zanju pa lahko privzamemo dvorazsežno normalno porazdelitev, lahko izračunamo oceno koeficienta korelacije – r . (Košmelj, 2007).

Izračunamo ga po obrazcu:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}$$

Vrednost korelacijskega koeficienta je na intervalu $[-1, 1]$. Ničelno domnevo, da ni linearne trenda ($r=0$), testiramo s statistiko, ki se porazdeljuje po Studentovi t-porazdelitvi, z $n-2$ prostostnimi stopnjami.

Ničelna in alternativna domneva:

H_0 : ($r = 0$) Spremenljivki nista linearno povezani.

H_1 : ($r \neq 0$) Spremenljivki sta linearno povezani.

Testna statistika:

$$t = \frac{r\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}}$$

4.2.4 Interpretacija rezultatov statističnih testov

Kundzewitz in Robson (2004) v svojem delu poudarjata, da statistični testi niso popolni ter da lahko prihaja do napak, četudi so vse predpostavke pravilne. Ob predpostavki stopnje tveganja $\alpha = 5\%$ to pomeni, da se bo napaka v izračunu statistike pojavila v 5 % izračunov, kar pomeni, da če je ničelna hipoteza pravilna, potem bo eden od 20 testov prikazan kot statistično značilen, čeprav temu ni tako in bo izračun napačen.

Za čim bolj zanesljive rezultate statističnih testov je smiselno uporabiti več različnih statističnih testov za analizo istih podatkov. En statistični test, četudi izkaže visoko stopnjo značilnosti, nas lahko zavede in pripelje do napačnih zaključkov. Rezultat več testov, ki pokažejo enake rezultate, je trdnejši dokaz o značilnosti podatkov, pogosto pa je večje število rezultatov tudi bolj zapleteno interpretirati.

Rezultate testov moramo interpretirati vzporedno z grafičnimi prikazi nizov podatkov, prav tako so nam v pomoč vse ostale informacije, ki jih imamo na razpolago o merilnem mestu, spremembah na vodotoku, kot so regulacije, jezovi, menjava tehnike merjenja podatkov. Tako nam gradnja jezov na vodotoku lahko obrazloži časovno ujemanje se »skok« med podatki. Smiselno je pregledati tudi regionalne vzorce in primerjati med seboj več postaj iste regije, kar nam lahko nakaže tudi značilnosti regionalnih trendov.

Statistično značilen rezultat testa zazna spremembo v seriji podatkov, pri interpretaciji rezultatov pa je ključno, da razumemo vzroke za to spremembo. Kadar med podatki iščemo povezave s podnebnimi spremembami, ki so dandanes tako aktualne, se moramo zavedati tudi vseh drugih možnih razlag vzrokov sprememb. To so lahko spremembe, ki jih povzroča človek (urbanizacija, rezervoarji, drenažni sistemi, odvzem vode iz vodotoka, sprememba rabe zemljišč ...), naravne spremembe morfoloških značilnosti vodotoka, podnebna spremenljivost in že prej omenjene težave pri kakovosti podatkov. Pomembno je razumeti razliko med podnebno spremenljivostjo ter podnebnimi spremembami, kjer gre pri prvi za naravni cikel sprememb med eno in drugo periodo, podnebne spremembe pa se nanašajo na spremembe v podnebjju preko daljšega

časovnega obdobja. Podnebna spremenljivost je pogosto lahko vzrok za napačno detekcijo trenda med podatki, katerih časovni niz je krajši od 30 let.

4.3 Programska oprema

4.3.1 Programski paket Hydrospect

Maciej Radziejewski je pod mentorstvom Zbigniewa W. Kundzevicza (2004) razvil programski paket Hydrospect za zaznavanje trendov v dolgih časovnih nizih hidroloških podatkov. Prvotno je bil Hydrospect namenjen za analizo hidroloških podatkov z vidika klimatske spremenljivosti in sprememb v okviru Svetovnega klimatskega programa Voda Svetovne meteorološke organizacije.

Program omogoča branje podatkov iz tekstovnih datotek. Ustvarjanje in urejanje podatkov v okviru programa ni podprto. Paket Hydrospect sledi preprosti filozofiji obdelave podatkov, brez nepotrebnih modifikacij, zato podatke urejamo in spreminjamo v povezavi z drugimi programi.

Hydrospect omogoča uporabo osmih različnih statističnih testov za zaznavanje sprememb:

- linearna regresija,
- Mann-Kendallov ne-porazdelitveni test,
- CUSUM,
- test kumulativnih deviacij,
- Worsleyev likelihood ratio,
- Kruskall-Wallis,
- Spearmanov koeficient korelacije in
- Normal scores regresija.

Poleg statističnih testov program omogoča tudi ustvarjanje prilagojenih nizov podatkov, npr. rangiranje, vse funkcije programa pa so dosegljive uporabniku v prijaznem Windows okolju. Program vrača vrednosti testnih statistik in dosežene dejanske stopnje značilnosti. Visoka stopnja značilnosti nakazuje, da je hipoteza o odsotnosti spremembe zaradi dokazov zavrnjena, tako z visoko stopnjo značilnosti trdimo, da je sprememba

prisotna. Vsi testi v okviru programa Hydrospect temeljijo na predpostavki o neodvisnosti časovnih nizov, nekateri testi pa tudi na predpostavki o normalni porazdelitvi. Veljavnost teh predpostavk moramo upoštevati pri interpretaciji rezultatov.

4.3.2 Programski paket Minitab

Minitab je preprost za uporabo ter splošno uporaben programski paket. Začetki programskega paketa Minitab segajo v leto 1972, kjer so ga na univerzi Penn State University razvili v študijske namene. Je močno programsko orodje, ki omogoča širok nabor osnovnih ter zapletenejših statističnih metod za analizo podatkov. Uporablja se tako za potrebe izobraževanja kot tudi v gospodarstvu. Posebej prilagojen je za uporabo v Microsoft Windows okolju.

Minitab vsebuje preko 200 različnih ukazov za izvajanje različnih manipulacij in statističnih testov. Uporabniku s pomočjo različnih oken omogoča preprosto prehajanje od baz s podatki do oken z grafi in rezultati. Večino zahtevanih operacij lahko izberemo iz preglednega menija. Na voljo je obsežen zavihek s pomočjo, kjer so izčrpno razložene različne značilnosti statističnih testov. Program vsebuje tudi tako imenovanega »vodiča«, ki uporabnika vodi skozi celoten proces statistične analize, od začetnega pregleda in urejanja baze podatkov do izrisa grafov in izbire primerne statističnega testa.

Na voljo so orodja za ustvarjanje prilagojenih nizov podatkov. Za uporabo pri analizah so na voljo vse osnovne statistične operacije in statistični testi – od korelacije, variance in kovariance, do analize ANOVA, Multivariatne analize, neparametričnih testov. Program omogoča prikaz rezultatov z različnimi grafi, ki jim preprosto lahko dodamo regresijske premice, drseča povprečja ter glajene krivulje. Rezultate na enostaven način izvozimo v Microsoft Word ali Powerpoint.

5 PODATKI

5.1 Podatki o temperaturi vode

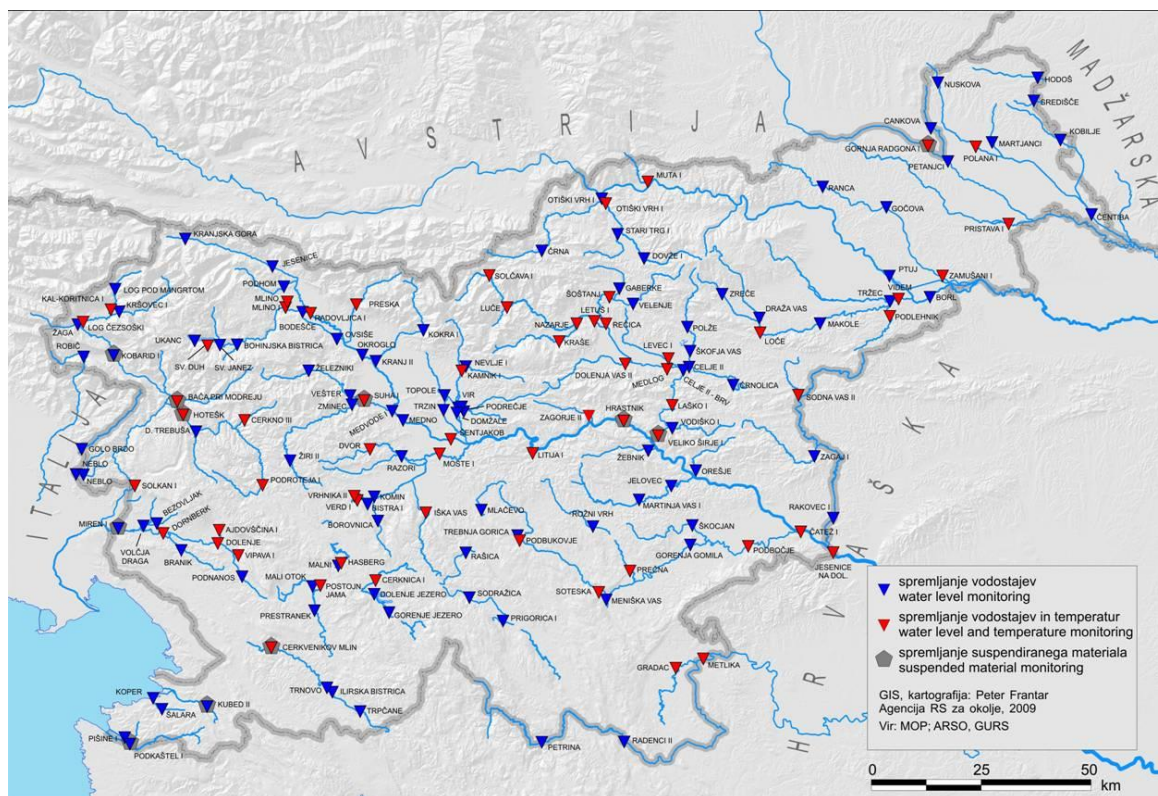
V Sloveniji podatke o temperaturi vode zbirajo na Agenciji RS za okolje v okviru hidrološkega monitoringa. Pravna podlaga za izvajanje programa hidrološkega monitoringa je Zakon o varstvu okolja (Ur. l. RS, 41/04), Zakon o vodah (Ur. l. RS, 67/02), Zakon o varstvu pred naravnimi in drugimi nesrečami (Ur.l. RS, 64/94) in Uredbe o stanju površinskih voda (Ur. l. RS 14/09). Program hidrološkega monitoringa površinskih voda vsebuje zbiranje podatkov o režimu površinskih voda in hidroloških parametrov, potrebnih za spremljanje, napovedovanje in obveščanje o stanju voda. Zajema meritve višin vodne gladine, hitrosti vode, pretoke, geometrijo prerezov, temperature vode in vsebnosti suspendiranih snovi v vodi.

Prve meritve in opazovanja na površinskih vodah na območju današnje Slovenije so se začele v obdobju avstroogrške monarhije v drugi polovici 19. stoletja (Bat et al., 2008). Med letoma 1918 in 1945 so bile hidrološke meritve omejene večinoma na beleženje vodostajev v okviru hidrološke direkcije pri gradbeni direkciji v Ljubljani. Leta 1947 so ustanovili hidrometeorološki zavod. Od takrat se postopno neprekinjeno odvija modernizacija in širjenje slovenske hidrološke mreže. Najstarejše, še danes delujoče merilne postaje, sodeč po arhivu Agencije RS za okolje, so Litija na Savi, Celje na Savinji, Vrhnika na Ljubljani, Planina na Unici in Gornja Radgona na Muri. Sistem hidroloških opazovanj se je skozi čas spreminjal in prilagajal trenutnim potrebam ter razpoložljivi opremi. Na začetku so se opazovanja izvajala le občasno. Sprva so merili le nivo vodne gladine, nato pa so redna opazovanja razširili tudi na meritve vodnih količin, pojave ledu in meritve temperature vode. Sprva so podatke zbirali enkrat dnevno, in sicer ob sedmi uri zjutraj, kasneje pa so merilna mesta začeli opremljati z napravami za zvezno beleženje vodnega stanja (limnigrafi). Leta 1940 je na območju Slovenije delovalo 121 vodomernih postaj. Število postaj je z leti naraščalo, meritve so postajale vedno bolj sistematične in kakovostnejše. Po letu 1980 so postaje začeli nadgrajevati tudi v avtomatske merilne postaje, limnigrafe so postopno zamenjavali podatkovni zapisovalniki. Na razvoj hidrološke mreže je vplivalo predvsem varstvo pred poplavami vodotokov ter njihovo izkoriščanje za tehnološke in vodooskrbne namene, danes pa se razvija predvsem zaradi potreb po varovanju in preučevanju okolja (Kobold, 2010).

Temperaturo vode se meri na mestu, kjer je voda dovolj globoka in ne zastaja. Pri ročnem merjenju je reprezentativnost meritev lahko nekoliko vprašljiva, saj so merski pogoji odvisni od nivoja vode v strugi, morebitne zaledenosti struge, stalnosti merilnega mesta in natančnosti opazovalca. Izmerki imajo negotovost 0,1 °C. Podatki, ki jih opazovalci pošiljajo na ARSO, se preverjajo in tekoče vnašajo v bazo hidroloških podatkov. Avtomatske merilne postaje delujejo tako, da temperaturo vode merijo termistorji na postaji, pritrjeni v ustju cevi, ki je speljana iz ohišja postaje na dno struge. V primeru avtomatskih meritev rezultati sprotno prihajajo v bazo podatkov. Tudi izmerki temperature s termistorji imajo negotovost 0,1 °C. Prednost v primerjavi z ročnimi meritvami je poleg neprekinjenega niza izmerkov tudi nespremenljivost mesta meritve. Predpostavljamo, da so izmerki na dnu struge še najbolj reprezentativni, čeprav ta predpostavka še ni bila preverjena s profilnimi meritvami (Vodenik et al., 2008).

Merilne postaje so glede na namen organizirane v osnovno oz. primarno, razširjeno oz. sekundarno ter izredno mrežo postaj, ki so pomembne za hidrološko prognoziranje, katerih podatki se vsakodnevno spremljajo in objavljajo. Osnovna mreža je sestavljena iz reprezentativnih merilnih mest posameznih porečij. Sekundarna mreža je gostejša na posameznih delih porečij s specifično hidrološko problematiko, npr. na delih porečij s povečano občutljivostjo na ekstremne hidrološke razmere.

V programu hidrološkega monitoringa površinskih voda za leto 2014 so se meritve izvajale na 180 merilnih mestih. Na 138 mestih je bilo zagotovljeno zvezno beleženje višine vodne gladine, na 42 je potekalo le enkrat ali večkrat dnevno merjenje vodostajev, na 7 merilnih mestih pa so se izvajale samo hidrometrične meritve. Iz 77 merilnih mest je omogočen avtomatski prenos podatkov v realnem času. Temperaturo vode se je spremljalo na 98 merilnih mestih, ki so prikazana na sliki 9. V izjemnih hidroloških razmerah, kot so poplave in suše, se hidrometrično delo lahko razširi tudi izven redne mreže vodomernih postaj (Frantar et al., 2014).



Slika 9: Merilna mesta hidrološkega monitoringa površinskih tekočih voda, razdeljena po parametrih (vir: ARSO)

Za potrebe naše analize smo izbrali seznam postaj z daljšim neprekinjenim nizom meritev temperature vode. V literaturi zasledimo (Kundzewicz in Robson, 2000), da je za zaznavo trendov med hidrološkimi podatki potreben časovni niz podatkov, daljši od 30 let, najprimernejši so časovni nizi dolgi vsaj 50 let. Zaradi majhnega števila postaj v Sloveniji s 50 let dolgim časovnim nizom podatkov smo se odločili, da za potrebe naše analize zberemo postaje s 40 let dolgim časovnim nizom temperaturnih podatkov. Tako smo dobili seznam 21 vodomernih postaj s podatki o temperaturi vode od leta 1972 do 2012. Kar nekaj postaj med izbranimi ima niz podatkov precej daljši od 40 let, vendar morajo biti za primerljivost rezultatov časovni nizi postaj enako dolgi. Tako nam postaje z daljšimi nizi podatkov lahko služijo le kot kazalci širše slike pri iskanju trendov temperature slovenskih vodotokov.

Pri analizi hidroloških podatkov je ključnega pomena kakovost preučevanih podatkov. Do napak med podatki lahko pride iz različnih razlogov, kot so sprememba merilnih tehnik, sprememba lokacij meritev, tiskarskih napak, menjava opazovalca.

Prva težava, na katero smo naleteli med procesom zbiranja podatkov, je bila, da se je v 40 letih zbiranja temperaturnih podatkov vodotokov spremenil način ter sistem merjenja

na večini hidroloških postaj. Na postajah so sprva, kot že omenjeno, temperaturo merili ročno, enkrat dnevno. Z razvojem tehnologije in povečanjem potreb po zanesljivih hidroloških podatkih se je sistem merjenja na mnogih vodomernih postajah moderniziral. Leta 2003 so v Sloveniji začele delovati prve samodejne merilne hidrološke postaje, ki temperaturo vode spremljajo zvezno, tekom celega dneva. Na koncu dneva nam podajo povprečno dnevno vrednost temperature vode. Razlika med podatkom trenutne vrednosti temperature vodotoka in povprečne dnevne vrednosti temperature vodotoka je lahko očitna. Vsekakor bi bili podatki o povprečni dnevni temperaturi vode za našo analizo bolj primerni in reprezentativni, vendar je niz teh podatkov prekratek, da bi ga lahko uporabili za kakršnokoli tovrstno analizo. Večina postaj se je posodobila z letom 2007, kar pomeni le 5-letni niz meritev, torej do leta 2012. Tako smo morali na Agenciji RS za okolje pridobiti podatke o trenutnih dnevni vrednostih temperature vode za vse izbrane postaje, ki so tekom preučevanega obdobja spremenile način pridobivanja podatkov iz trenutnih opazovanj na samodejno merjenje temperature vode. Dobili smo niz 40-letnih podatkov o temperaturi vodotokov, pri čemer smo izločili možnost napak med podatki z naslova spremembe načina merjenja.

Zaradi spremembe načina merjenja je na nekaterih postajah prišlo do izpada podatkov, bodisi za nekaj mesecev, na nekaterih postajah celo let meritev, saj se je star način pridobivanja podatkov opustil, nov sistem merjenja pa še ni bil vzpostavljen. Primer take postaje je Miren na reki Vipavi, kjer med leti 2008 in 2012 primanjkuje za 4 let podatkov.

Na preglednici 2 so pod zaporedno številko prikazani šifra vodomerne postaje, ime vodomerne postaje in koordinate vodomerne postaje Y in X v starem državnem koordinatnem sistemu D48/GK. Barvno so označene postaje, pri katerih se je tekom obravnavanega obdobja 40 let spremenil način merjenja temperature vode iz ročnega v avtomatski način pridobivanja podatkov o temperaturi vode.

Za omenjene postaje smo morali torej podatke o dnevni povprečni temperature vode zamenjati za trenutne vrednosti temperature vode.

Preglednica 2: Seznam izbranih postaj za analizo.

Št.	Šifra	Vodotok	Vodomerna postaja	Koordinate	
				Y[m]	X[m]
1	1220	LEDAVA	POLANA	587362	171082
2	3420	SAVA	RADOVLJICA	436120	133220
3	3570	SAVA	ŠENTJAKOB	468075	104515
4	3650	SAVA	LITIJA	486670	101285
5	4200	SORA	SUHA	448320	113319
6	4400	KAMNIŠKA BISTRICA	KAMNIK	470525	120070
7	4860	KOLPA	METLIKA	525549	54558
8	4970	LAHINJA	GRADAC	519295	52380
9	5030	LJUBLJANICA	VRHNIKA	446125	91575
10	5080	LJUBLJANICA	MOSTE	465490	101180
11	6060	SAVINJA	NAZARJE	496710	130800
12	6200	SAVINJA	LAŠKO	518410	112230
13	6550	BOLSKA	DOLENJA VAS	507533	121683
14	6630	LOŽNICA	LEVEC	517346	122220
15	7160	KRKA	PODBOČJE	535726	80170
16	7340	PREČNA	PREČNA	508820	74507
17	8180	SOČA	SOLKAN	396180	93920
18	8450	IDRIJCA	HOTEŠK	407154	110061
19	8500	BAČA	BAČA	405797	113112
20	8600	VIPAVA	MIREN	392410	84250
21	9050	REKA	CERKVENIKOV MLIN	427181	57164

Obarvane so postaje, pri katerih se je tekom izbranega obdobja spremenil način pridobivanja podatkov iz trenutnih opazovanj v zvezno merjenje temperature vode.

Pri analizi hidroloških podatkov se je v fazi pregleda podatkov potrebno odločiti, katere podatke bomo uporabili za analizo. Z dnevnimi, mesečnimi ali letnimi vrednosti temperature vode bomo preučevali povprečja ali ekstremne vrednosti. Za iskanje trendov med temperaturnimi podatki vodotokov bomo uporabili podatke o letnih povprečnih temperaturah vodotokov. Za iskanje sezonskih razlik med trendi bomo preučili tudi mesečne podatke. Vsi povprečni podatki so izračunani na podlagi dnevnih vrednosti, zato moramo ne glede na uporabljena letna povprečja pregled podatkov začeti na dnevni ravni.

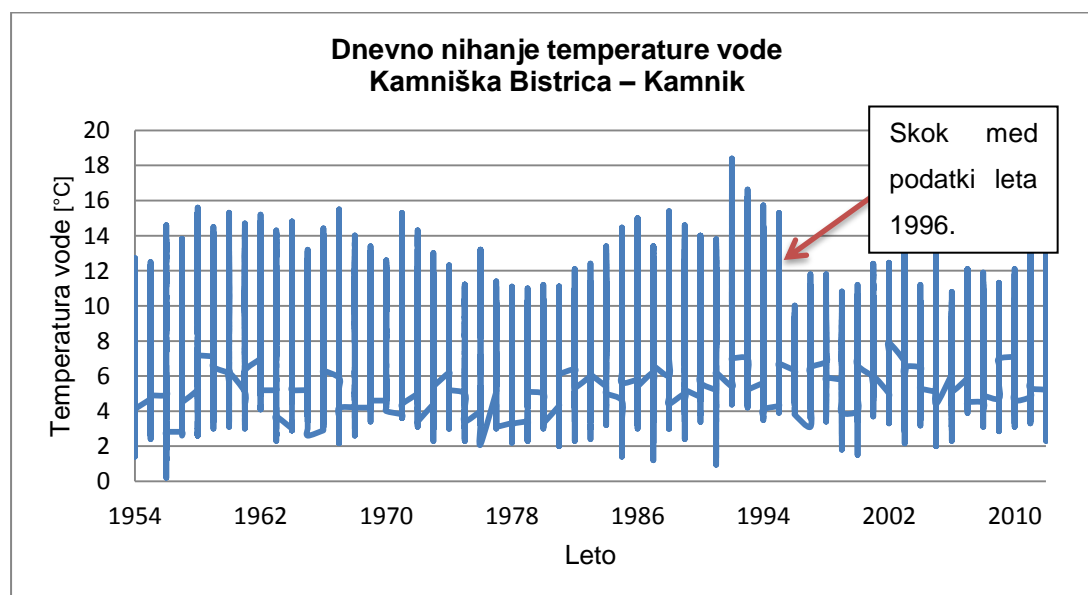
5.1.1 Opisna analiza podatkov o temperaturi vodotokov

Na tej točki predstavljamo svoje delo pri začetnem pregledu podatkov, ki jih obravnavamo v nadaljevanju dela. Pri opisni analizi podatkov je ključno, da nepregledno množico podatkov prikažemo s pomočjo grafov, ki nam nazorno prikažejo nihanja vrednosti ter možna odstopanja med podatki. Analizo dnevnih izmerkov smo naredili za vse obravnavane postaje.

Potrebno je poudariti, da na izmerjene podatke o temperaturi vode vpliva veliko število dejavnikov, ki jih pri pregledu podatkov ne moremo določiti, izmeriti in ovrednotiti, od napak pri odčitavanju meritev do napak pri zapisovanju, sprememb v topografiji rečne struge, kot je na primer sprememba obrežne vegetacije, sprememba prostornine vode v vodotoku (prilivi, odlivi) ter vsi ostali možni antropogeni vplivi. Da bi izločili vse ostale dejavnike, ki vplivajo na vrednosti izmerjenih podatkov, bi bilo potrebno podatke homogenizirati. Zavedati se moramo tudi, da ni nujno, da so »sumljivi« podatki nepravilni, pogosto se na podlagi primerjav z okoliškimi postajami izkaže, da so tudi »neverjetni« izmerki lahko pravilni. Tako vseh »sumljivih« podatkov ne smemo izločiti iz analize ali jih kakorkoli popravljati, saj za to nimamo kompetenc. Dobljeni rezultati na podlagi popravljenih podatkov bi lahko bili napačni. Ključno je poznavanje preučevanih podatkov, da ob morebitnih nepričakovanih rezultatih analize rezultate podkrepimo z znanjem o možnih pomanjkljivostih podatkov.

Homogenizacija nizov podatkov pomeni preverjanje skladnosti izmerkov v določenem časovnem nizu. Zaradi selitev merilnih postaj, menjave merilnih instrumentov in spremembe okolice izmerjeni in zapisani podatki pogosto ne odsevajo le podnebnih sprememb in nihanj. S primerjavo časovnih nizov sosednjih postaj in različnih primerjav (temperatura vode s temperaturo zraka) je mogoče deloma ločiti podnebne signale od umetnih vplivov na posamezni postaji (Vertačnik et al., 2013). Podatki o temperaturi vode, ki so na voljo za našo analizo, niso homogenizirani. Na ARSO se trudijo homogenizirati nize podatkov, ki so ključni za analizo trendov in spremenljivosti podnebnih spremenljivk, kot so temperatura zraka, količina padavin, trajanje sončnega sevanja ter snežna odeja, med katere temperatura vode ne sodi. Tako smo primorani analizo opraviti na podlagi podatkov, ki so na voljo, ter biti še toliko bolj pazljivi pri opisni analizi podatkov, da jih natančno preučimo. Vedeti moramo, s kakšnimi podatki imamo opravka, saj je poznavanje obravnavanih podatkov ključnega pomena za dobro izvedeno analizo le teh.

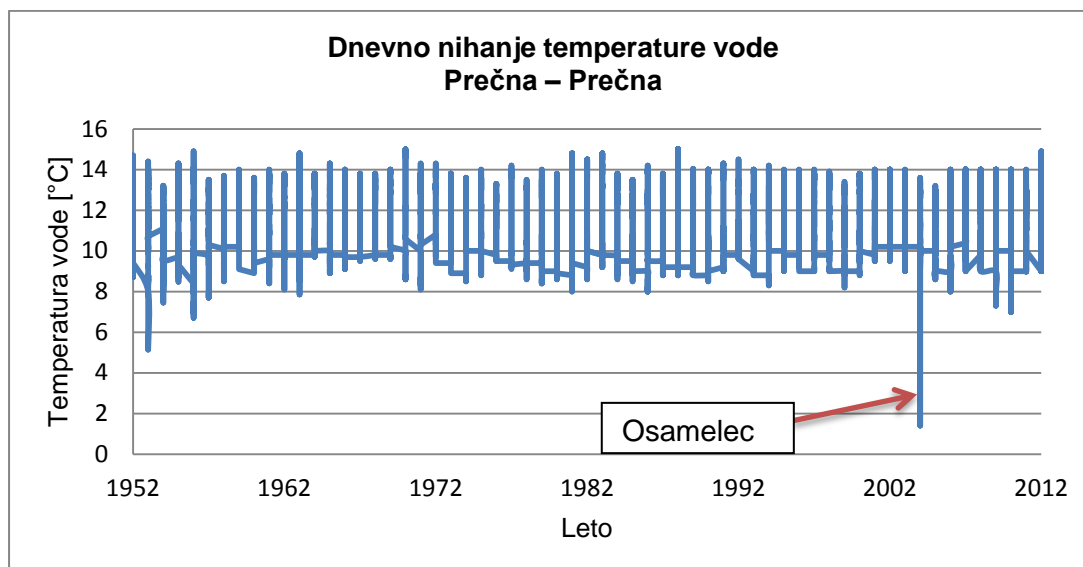
Na spodnjih grafikonih prikazujemo primere pregleda dnevnih podatkov o temperaturi vode za vodomerni postaji Kamnik, Prečna, Cerkevnikov mlin in Nazarje. Kot smo že omenili, je pri opisni analizi podatkov ključno, da nepregledno množico podatkov prikažemo s pomočjo grafov, ki nam bolj nazorno prikažejo nihanja vrednosti in možna odstopanja med podatki. Tako na primeru postaje Kamnik (slika 10) opazimo v letih 1992 in 1993 višje vrednosti od pričakovanih, obenem pa ne moremo z gotovostjo trditi, da gre za napačno meritev. Na postaji je lahko prišlo do menjave kakšne od ključnih komponent pri merjenju temperature vode, do menjave opazovalca ali mikrolokacije meritev, lahko je bil zgrajen nov objekt na vodotoku. Očitno je tudi odstopanje med podatki od leta 1996 naprej, ko so izmerjene temperature nižje. Pri razlagi takih nepravilnosti med podatki so nam v pomoč metapodatki, to so podatki o podatkih. Povejo nam več o okoliščinah meritev, na primer kdo izvaja meritve, s katerim merilnim instrumentov, podajo nam točno mikrolokacijo meritev ter pričajo o spremembah, ki so se zgodile na merilnem mestu. Iz grafa prikaza dnevnih temperatur vode na merilnem mestu na Kamniški Bistrici lahko predvidevamo, da izsledki naše nadaljnje analize temperature na tej postaji ne bodo najbolj reprezentativni.



Slika 10: Prikaz dnevnih nihanj temperature vode za vodomerno postajo Kamnik (arhiv ARSO)

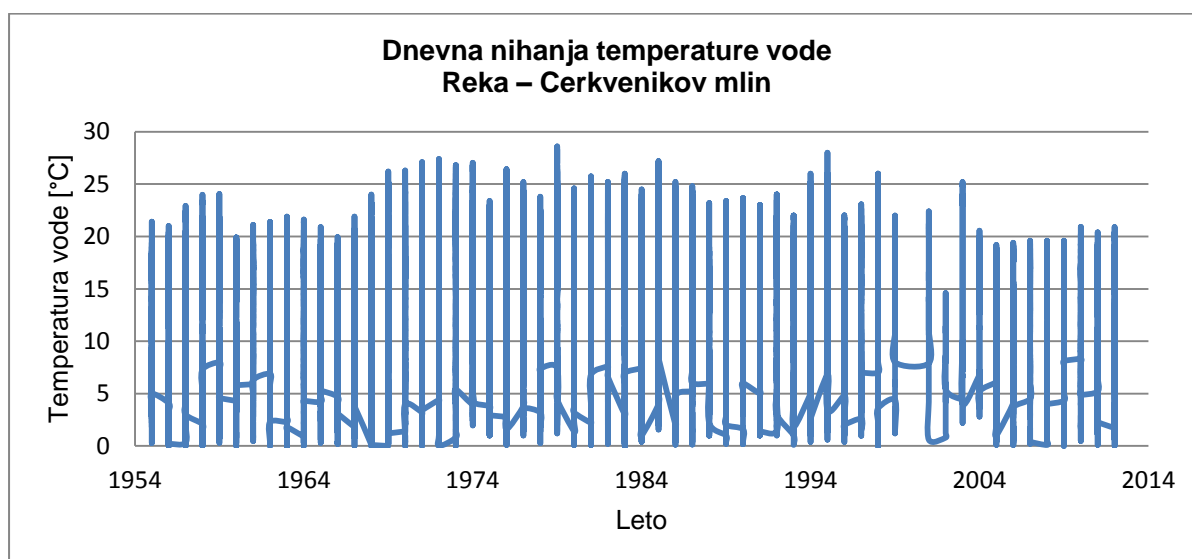
Na grafikonu dnevnih vrednosti temperature na vodomerni postaji Prečna je precej bolj očitno osamelec med podatki (slika 11). Dne 5. 5. 2004 je zapisana vrednost temperature reke Prečne 1,4 °C, medtem ko so predhodne in sledeče vrednosti enake 11,4 °C. Tukaj lahko z večjo gotovostjo trdimo, da je prišlo do napake pri zapisovanju ali

vnosu podatkov v računalnik ter tak podatek odstranimo iz obravnavanega niza podatkov.



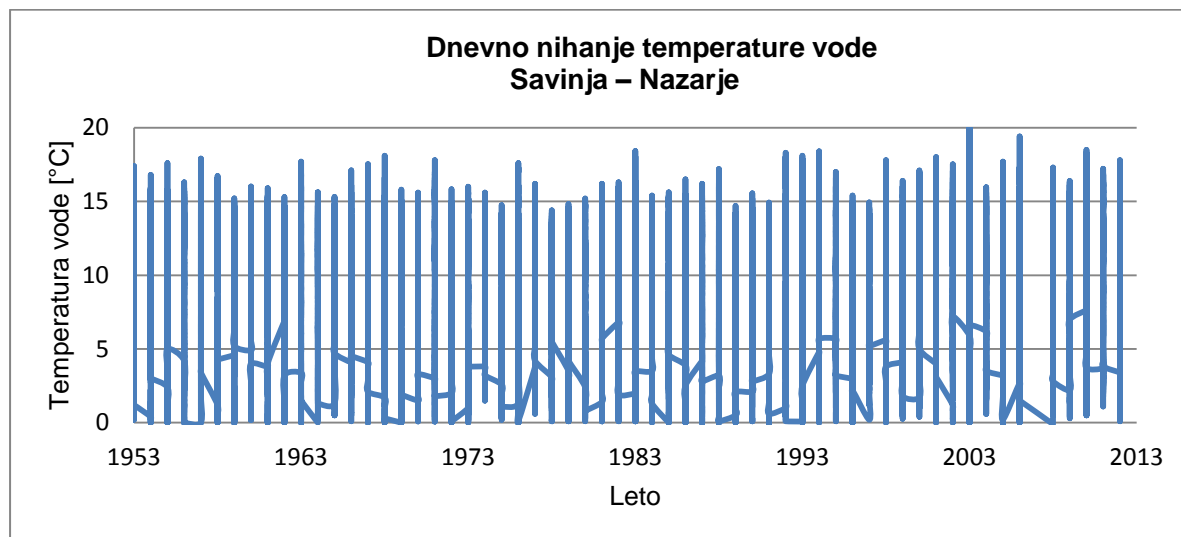
Slika 11: Prikaz dnevni nihanj temperature vode za vodomerno postajo Prečna (arhiv ARSO).

Pri pregledu podatkov za vodomerno postajo Cerkevnikov mlin na Reki (slika 12) smo ugotovili, da so vsa merilna leta do leta 2009 nepopolna – še posebej na začetku drugega tisočletja, kot je razvidno iz grafa dnevni nihanj temperature, kjer je za leta 2001–2004 zapisanih vsega skupaj manj kot 200 meritev. Taki podatki so za analizo trendov zelo nezanesljivi, saj je odvisno, kateri del leta so bile meritve opravljane.



Slika 12: Prikaz dnevni nihanj temperature vode za vodomerno postajo Cerkevnikov mlin (arhiv ARSO).

Kot primer bolj enotnih podatkov dnevni nihanj temperature pogledimo še vodomerno postajo Nazarje na reki Savinji (slika 13). Med dnevnimi izmerki temperature vode ni opaziti nobenega vidnejšega skoka ali osamelca med podatki. Opazimo le, da manjkajo podatki o temperaturi vode za leto 2007, kar se ujema s preходом vodomerne postaje iz sistema opazovanja trenutnih vrednosti na sistem samodejnih meritev temperature vode.



Slika 13: Prikaz dnevnih nihanj temperature vode za vodomerno postajo Nazarje (arhiv ARSO).

5.2.2 Prikaz letnih povprečij temperature vode z uporabo trendnih črt

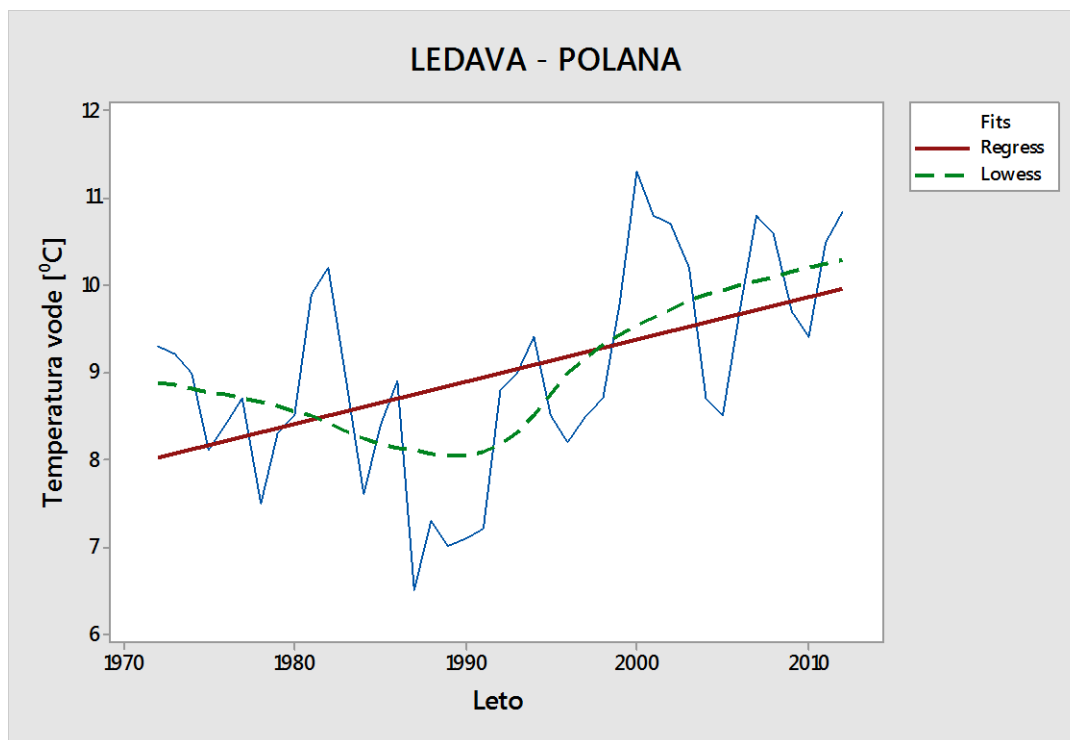
Za izbrane vodomerne postaje smo v nadaljevanju opisne analize podatkov naredili grafe letnih povprečij temperature vode za izbrano obdobje 40 let. Kot smo omenili že v poglavju o metodologiji, lahko dobro izvedena opisna analiza odpravi potrebo po formalnih statističnih analizah, ki so način za preverjanje in potrjevanje rezultatov in ne le sredstvo za iskanje v podatkih. Za pomoč pri interpretaciji časovnih vrst temperaturnih podatkov smo uporabili linearno regresijsko premico in glajeno krivuljo, pridobljeno s pomočjo funkcije LOWESS, obe z uporabo statističnega programskega paketa MINITAB. Zanesljivost trendnih črt je odvisna od števila podatkov in dolžine časa, v katerem trend vztraja, ne da bi bil prekinjen. Naklon trendnih črt nam poda podatek o izrazitosti trenda. Večji naklon pomeni bolj izrazit trend in obratno.

Pri glajeni krivulji smo za vse postaje izbrali stopnjo glajenja $\alpha = 0,5$. Glajena krivulja se podatkom bolj prilega v primerjavi z linearno regresijsko premico. Prednost glajene

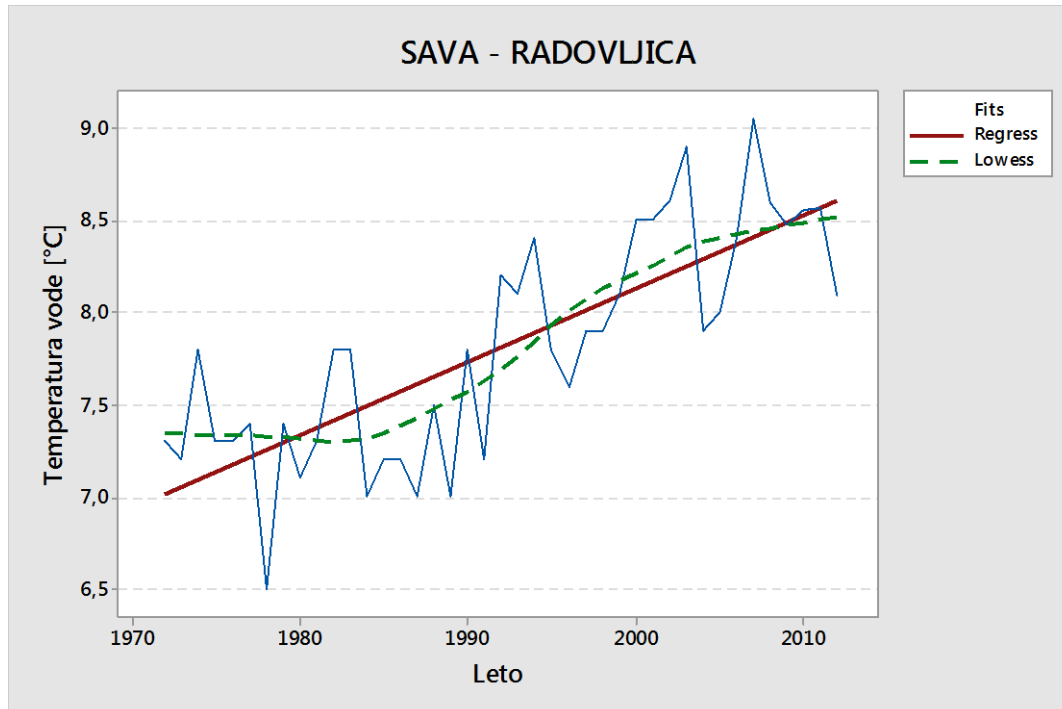
krivulje je, da se ob primerno izbrani stopnji glajenja z metodo iskanja najmanjših kvadratov najbolj izstopajoči podatki zgladijo, kar pomeni, da nam ta metoda lahko iz analize izloči marsikateri »sumljiv« podatek, ki je bodisi nepravilno izmerjen ali zapisan. Prednost te metode je tudi ta, da lahko natančneje sledimo toku sprememb med podatki. Opazimo lahko, katera leta in desetletja so bila tista, med katerimi je temperatura vode v vodotokih izrazito padala in naraščala, ter primerjamo postaje med seboj. To nam omogoča širšo sliko o tem, katero merilno obdobje priča o rasti temperature. V primeru, da se ta obdobja med seboj ujemajo na več postajah, lahko z večjo gotovostjo trdimo, da je trend rasti temperature vodotokov zares prisoten. Uporaba glajenih krivulj je lahko prvi korak pri analizi lomov trendov, saj lahko s pomočjo glajenih krivulj že s prostim očesom opazimo, v katerih delih opazovanega obdobja je trend rasti temperature padajoč, naraščajoč in kakšna je izrazitost naraščanja in padanja trenda.

V nadaljevanju so prikazani grafi vodomernih postaj, razporejenih po vsej Sloveniji, to je postaje Ledava – Polana, Sava – Radovljica, Savinja – Nazarje in Idrijca – Hotešk. Grafi vseh ostalih postaj so priloženi v prilogi A. Iz grafov lahko s pomočjo regresijske premice razberemo, da je pri skoraj vseh obravnavanih postajah prisoten trend naraščanja temperature vode. Glajena krivulja nam omogoči, da v večini primerov opazimo očitno rast temperature v obdobju konec 80. in začetku 90. let prejšnjega stoletja, kar sovпада z že poznanimi raziskavami podnebnih sprememb po svetu.

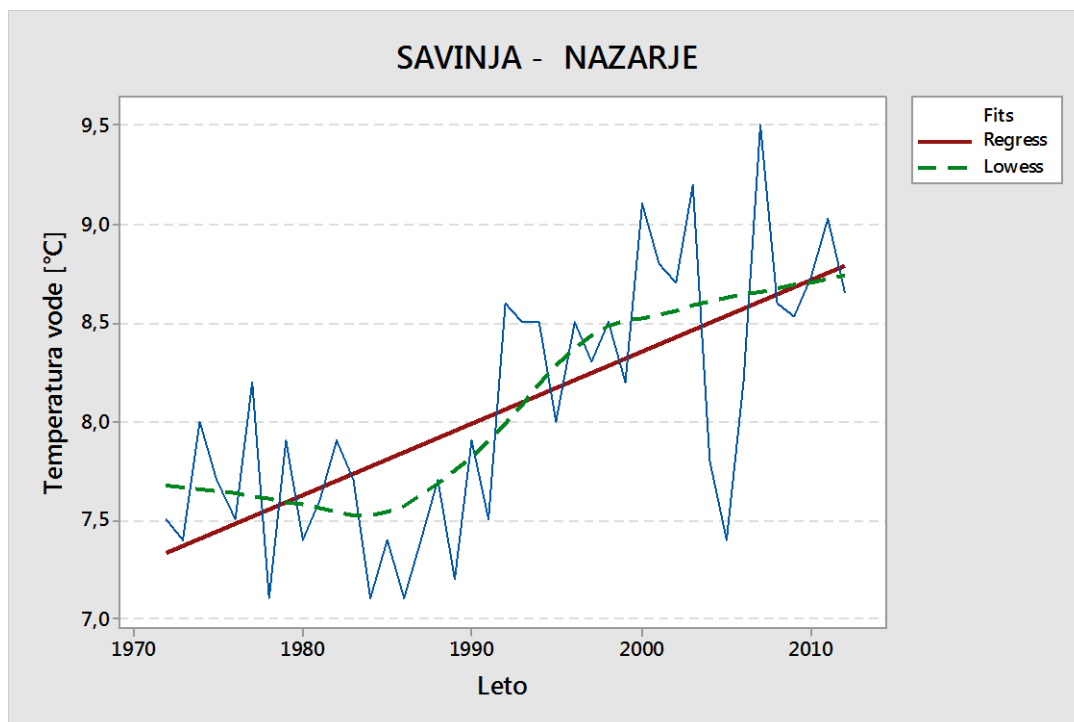
Podatki kažejo, da je pred obdobjem poznih 80. let prejšnjega stoletja trend temperature vode rahlo padajoč. Podatki vodomerne postaje Polana na reki Ledavi kažejo celo izrazitejši padajoči trend temperature vode, ki se šele v začetku 90. let spremeni v izrazito naraščajočega. Iz glajenih krivulj podatkov postaj Radovljica, Nazarje in Hotešk lahko razberemo, da se je izrazit trend naraščanja temperature vode začel v sredini 80. let in še vedno traja. Intenziteta trenda naraščanja se je glede na glajene krivulje podatkov vodomernih postaj v zadnjem obdobju zmanjšala. Večina obravnavanih vodomernih postaj kaže na umirjanje trenda naraščanja temperature vode nekje v prvih letih 21. stoletja.



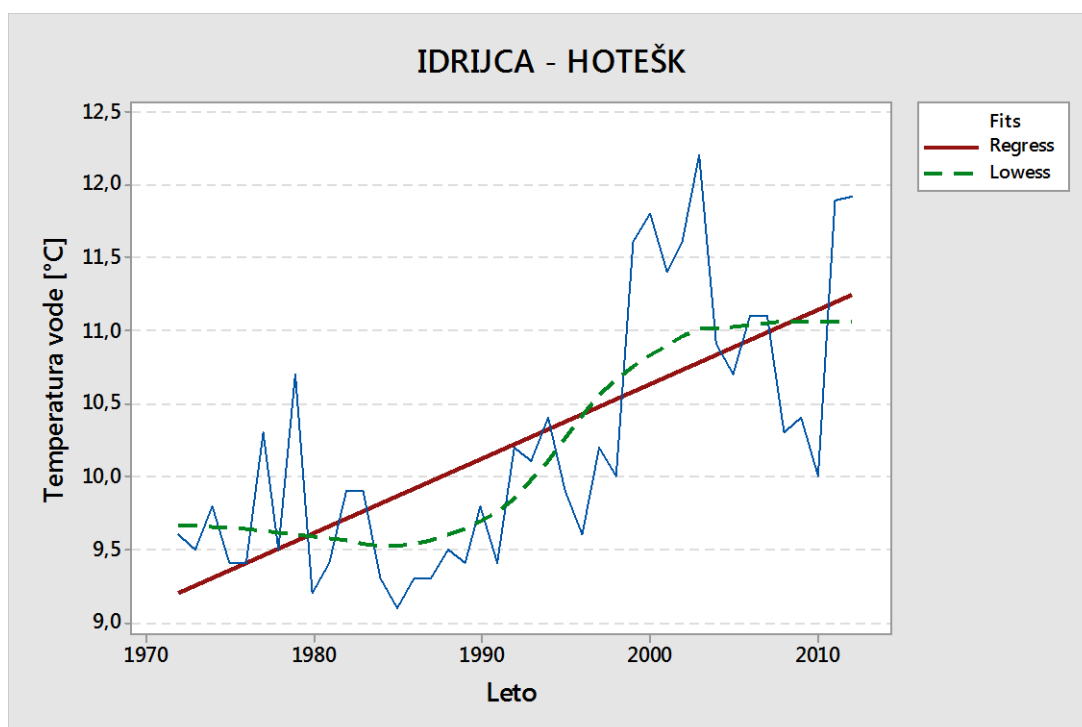
Slika 14: Prikaz letne povprečne temperature vode s prikazom linearne trendne črte ter glajene krivulje za vodomerno postajo Ledava – Polana.



Slika 15: Prikaz letne povprečne temperature vode s prikazom linearne trendne črte ter glajene krivulje za vodomerno postajo Sava – Radovljica.



Slika 16: Prikaz letne povprečne temperature vode s prikazom linearne trendne črte ter glajene krivulje za vodomerno postajo Savinja – Nazarje



Slika 17: Prikaz letne povprečne temperature vode s prikazom linearne trendne črte ter glajene krivulje za vodomerno postajo Idrija – Hotešk.

5.2 Podatki o temperaturi zraka

Ena od nalog tega diplomskega dela je primerjava temperature vode s temperaturo zraka. Da bomo te primerjave lahko izpeljali, moramo poznati tudi značilnosti podatkov o temperaturi zraka, ki se zbirajo, beležijo in preverjajo v okviru državne meteorološke službe. Temperatura zraka je glavni meteorološki parameter za spremljanje podnebnih sprememb. Od meritev s klasičnimi termometri do spremljanja podnebnih sprememb je dolga pot. Preverjene posamezne vrednosti izmerkov so osnova za tekoče spremljanje vremena. Kadar želimo izmerek umestiti v daljše obdobje, moramo preveriti medsebojno skladnost izmerkov v časovnem nizu. Zaradi selitev merilnih postaj, menjave merilnih naprav, pozidave okolice in še marsičesa drugega podatkovni niz ne odseva le nihanja podnebnih razmer za dano območje. S primerjavo bližnjih postaj je deloma mogoče ločiti podnebni signal od umetnih vplivov. Zahtevnemu procesu izločitve nezaželenih umetnih vplivov na časovni niz podatkov pravimo homogenizacija. Homogenizirani nizi podatkov so osnova za študijo podnebnih sprememb (Vertačnik et al., 2013).

Podatki o temperaturi zraka so na voljo v podatkovnih bazah Agencije RS za okolje. Zaradi opravljene homogenizacije na nizih podatkov o temperaturi zraka opisna analiza podatkov ni potrebna. Zavedati se moramo razlike med kvaliteto podatkov o temperaturi vode ter podatkov o temperaturi zraka, pri katerih so odstranjeni nezaželeni umetni vplivi. Prav tako moramo v zakup vzeti dejstvo, da bomo pri naši analizi primerjali trenutne izmerjene dnevne vrednosti temperature vode z dnevnimi povprečji temperature zraka. Poznavanje podatkov, ki jih uporabljamo v analizi, je ključnega pomena, zato si v nadaljevanju pogledjmo, kakšne so lastnosti podatkov o temperaturi zraka in način odstranitve napak, umetnih vplivov iz podatkovnih nizov, ki jih bomo uporabili v naši analizi.

5.2.1 Kontrola in homogenizacija podatkov

Od meteoroloških meritev do vzpostavitve baze temperaturnih podatkov za analizo podnebnih sprememb je dolga pot. Podatke zbira in preverja več strokovnjakov tudi po več let. V nadaljevanju si bomo po Vertačnik et al. (2013) ogledali, kako so na ARSO pridobili obstoječo bazo temperaturnih podatkov, ki jih bomo uporabili tudi pri naši analizi.

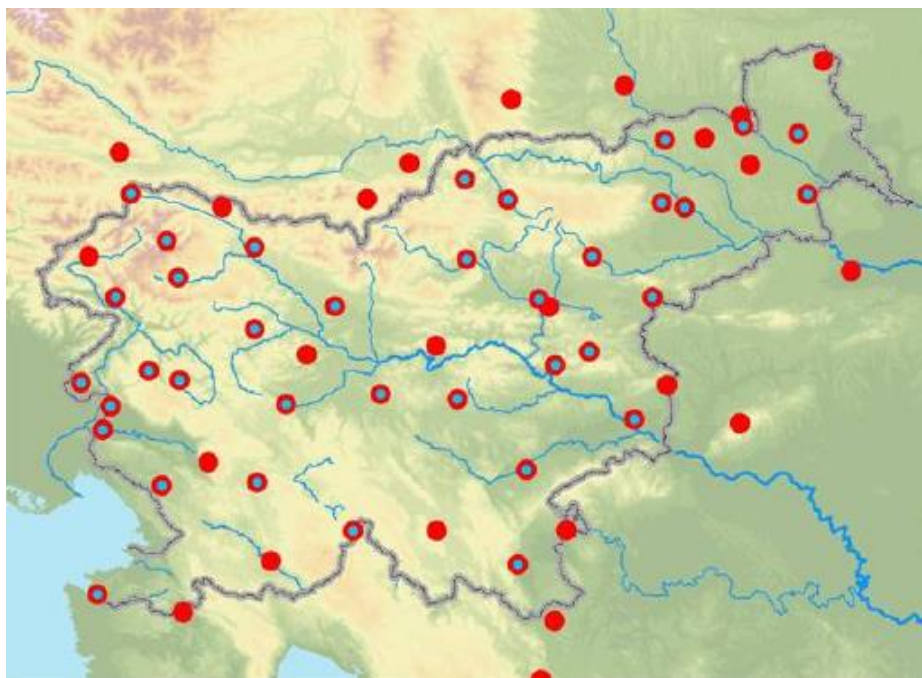
Če postopek razdelimo v štiri faze, si te sledijo:

- vnos izmerkov v podatkovno bazo,
- kontrola s podatki na isti ter na sosednjih postajah,
- homogenizacija in polnjenje manjkajočih vrednosti,
- analiza homogeniziranih nizov.

Kontrola izmerkov se izvaja na podlagi medsebojne skladnosti tako, da se preverja, če so najvišje izmerjene temperature res večje od najnižje izmerjene temperature ter pregleda izstopajočih vrednosti. Nato se izvede samodejna prostorska kontrola in ročna kontrola (pregled papirnatega arhiva, grafična prostorska primerjava), kjer so v veliko pomoč redundančne meritve (termogrami).

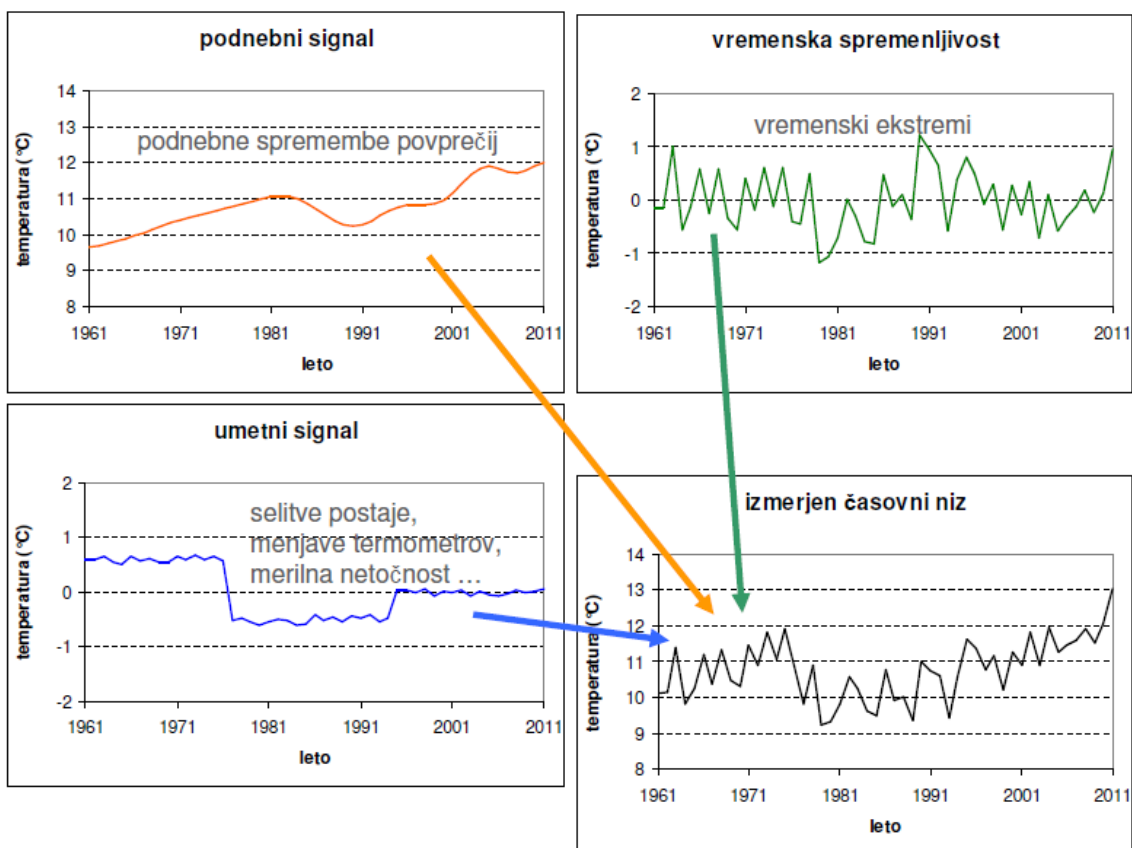
Med postopkom samodejne prostorske primerjave računalniški program z interpolacijo dopolni manjkajoče vrednosti v nizu, nato se izvede interpolacija na podlagi korelacije časovnih vrst z okoliškimi postajami. Dobimo uravnoteženo povprečje linearne regresije za pare referenčna-kontrolirana postaja, nato se izmerjene in prostorsko interpolirane vrednosti med seboj primerjajo, naredi se groba ocena negotovosti interpoliranih vrednosti v pomoč pri končni izbiri sumljivih vrednosti.

Na podlagi statistike odkritih napak, metapodatkov in grafične primerjave skladnosti se izberejo časovni nizi za homogenizacijo. Izločijo se postaje z močno in deloma postopno spremembo okolice v merilnem obdobju. Za postopek homogenizacije podatkov o temperaturi zraka je bilo tako izbranih 49 postaj (slika 18) z meritvami temperature zraka v Sloveniji, dodanih pa je bilo tudi 11 tujih postaj (avstrijske in hrvaške).



Slika 18: Zemljevid postaj z nizom povprečne temperature (rdeče) in najnižje temperature (modro) zraka. Nabor postaj z nizom najvišje temperature zraka zajema le postaje na območju Slovenije. (Vertačnik et al., 2013, str. 9)

Osnovni cilj homogenizacije podatkov je odstranitev signala v časovni vrsti, ki ni posledica podnebne spremenljivosti in sprememb. Meritve se prilagodijo na enake razmere meritev (okolica, opazovalec, merilna naprava ...). V uporabi je večinoma relativni pristop, ki temelji na primerjavi testirane postaje z referenčnimi, ob predpostavki o enakem oz. zelo podobnem signalu referenčne in testirane postaje. Zavedati se moramo, da se umetni signal lahko le deloma odstrani, odvisno zlasti od vremenske spremenljivosti. Vplive na podatkovni niz prikazuje slika 20.



Slika 19: Prikaz vplivov na podatkovni niz (vir: <http://meteo.arso.gov.si/uploads/probase/www/climate/text/sl/publications/Kaj%20se%20dogaja%20z%20izmerki%20v%20procesu%20kontrole%20in%20homogenizacije.pdf>, pridobljeno: 10. 11. 2014)

5.2.2 Programsko orodje Homer

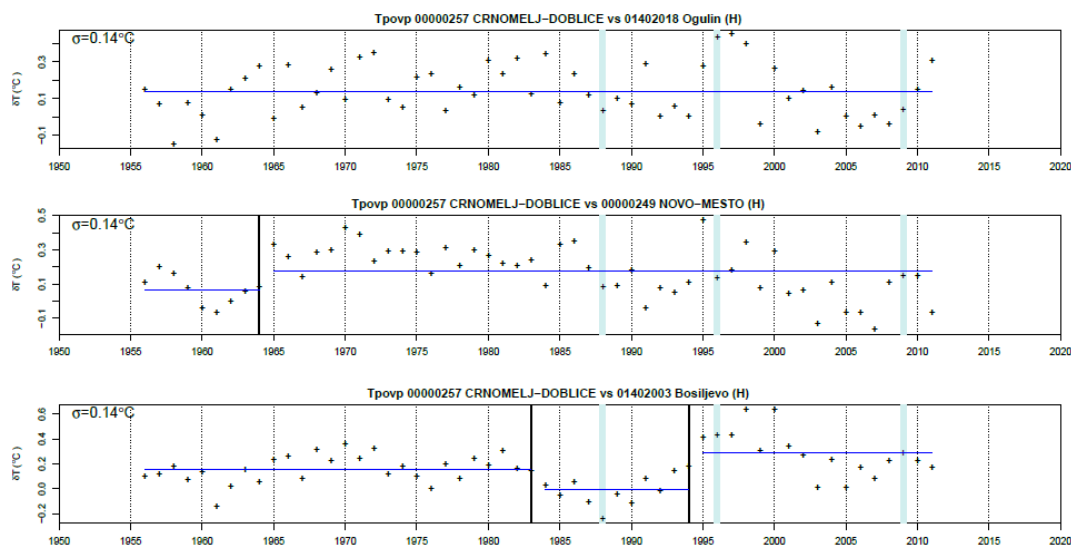
V okviru evropskega projekta COST ES0601 so strokovnjaki s področja fizike, matematike in klimatologije testirali različne homogenizacijske metode. Na podlagi homogenizacije umetno ustvarjenih nizov s statističnimi značilnostmi dejanskih izmerkov so primerjali rezultate različnih homogenizacijskih metod. S primerjavo rezultatov so ugotovili razlike, prednosti in pomanjkljivosti med različnimi pristopi. Izkazalo se je, da najboljše homogenizacijske metode močno izboljšajo kakovost časovnih nizov (Venema et al., 2012). Cilj projekta je bil izdelati uporabniško prijazno in učinkovito programsko orodje za homogenizacijo podnebnih nizov. Tako je nastal HOMER, ki združuje dobre lastnosti posameznih testiranih metod. Programsko orodje teče v programskem okolju R

in ima grafični vmesnik (R Development Core Team, 2012). Najboljše homogenizacijske metode so deloma samodejne, deloma ročne, zato je zaželeno, da homogenizacijo podatkovnih nizov izvajajo izkušeni strokovnjaki. Strokovnjak najprej zažene kontrolo podatkov, kjer lahko s primerjavo temperaturnih razlik med sosednjimi postajami izloči napačne vrednosti. Nato zažene homogenizacijski sklop programa z različnimi metodami zaznavanja skokov v podatkovnih nizih. S pomočjo grafičnih prikazov in metapodatkov se strokovnjak odloči o časovni umestitvi skokov.

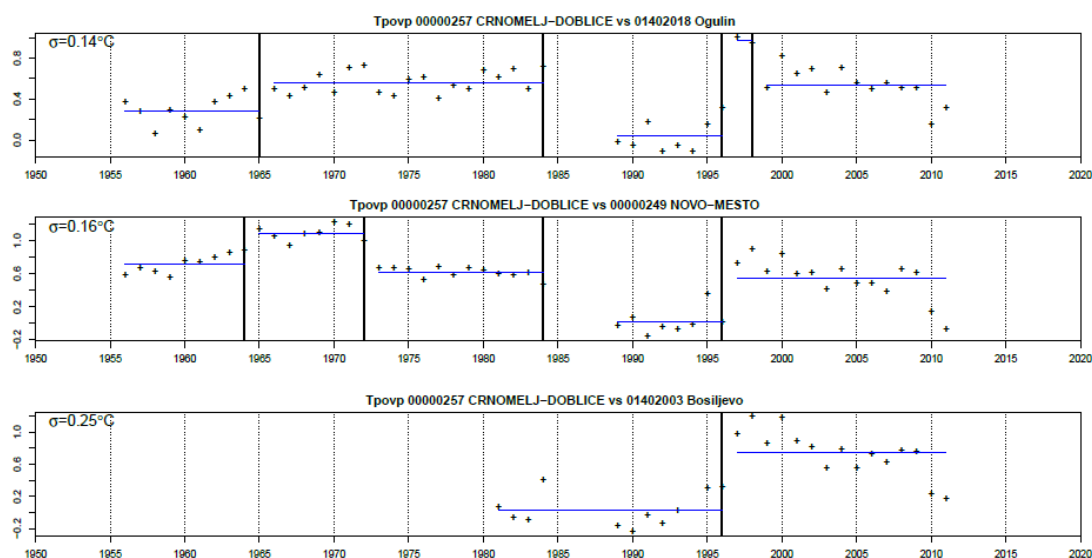
Program samodejno izračuna velikost popravkov na podlagi lokacije skokov in primerjave povprečnih vrednosti nekaj let pred in po skoku. Ko postopek večkrat ponovimo, postopno odpravljamo nehomogenosti v podatkovnem nizu.

Slika 16 prikazuje razliko temperaturnih nizov testirane (Črnomelj, Dobliče) in referenčne postaje (Ogulin, Novo mesto, Bosiljevo). Vodoravna modra črta prikazuje povprečno vrednost obdobja med dvema prelomoma (navpične črne črte) ali začetkom oziroma koncem niza. Zgornji del slike kaže primerjavo originalnih podatkov (obdobja praznine so manjkajoče vrednosti bodisi na testirani bodisi na referenčni postaji), spodnji del enako po homogenizaciji z dopolnjenimi manjkajočimi vrednostmi. Odebeljene svetlo modre navpične črte prikazujejo položaj vstavljenih prelomov na testirani postaji. Po homogenizaciji se nizi medsebojno bistveno bolj ujemajo, saj ima razlika nizov enakomernejši potek (Vertačnik et al., 2013).

PO HOMOGENIZACIJI IN DOPOLNITVI MANJKAJOČIH PODATKOV

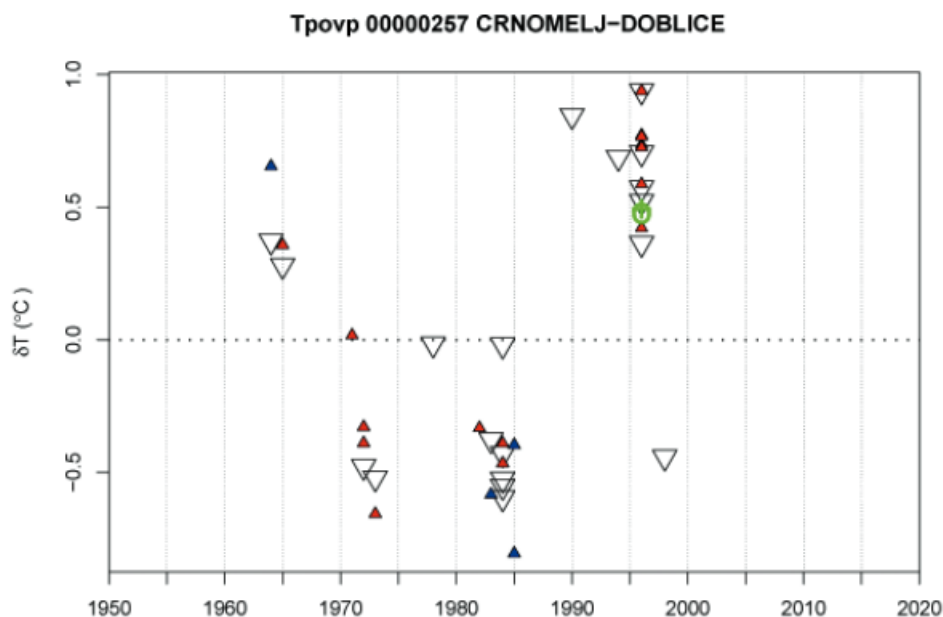


PRED HOMOGENIZACIJO, ORIGINALNI PODATKI



Slika 20: Grafični prikaz homogenosti izbrane časovne vrste v programskem orodju HOMER, metoda »odkrivanja prelomov po parih nizov« (ang. »pairwise detection«) (Vertačnik et. al., 2013, str. 8).

Slika 21 prikazuje prelome med podatki, prikazane s programskim orodjem HOMER. Na vodoravni osi slike je prikazano leto, na navpični pa izračunana velikost temperaturnega skoka na podlagi primerjave testiranega niza z nizi referenčnih postaj. Kjer se v kratkem časovnem obdobju (enega do treh let) in pri podobni velikosti skoka gnetejo omenjeni znaki, je to dokaj zanesljiv znak, da gre dejansko za prelom na testirani postaji. V ostalih primerih gre običajno za statistični šum ali prelom na eni od referenčnih postaj.



Slika 21: Prikaz prelomov v programskem orodju HOMER po metodi odkrivanja prelomov po parih (trikotniki) in metodi sočasne delitve nizov na odseke (ang. »joint segmentation method«, zeleni krogi). (Vertačnik et. al., 2013, str.9).

Omejen nabor temperaturnih nizov v zelo razgibanem slovenskem prostoru precej otežuje homogenizacijo zaradi prostorske pestrosti podnebnih razmer in z njimi povezanih razlik med primerjanimi lokacijami. Strokovnjak, ki se odloča o posameznih nehomogenostih, prav tako lahko prispeva k povečanju negotovosti končnega rezultata. Oba vpliva je mogoče omiliti s pomočjo tako imenovane skupinske homogenizacije. Tako postopek homogenizacije poteka s pomočjo več strokovnjakov, ki preučijo dane podatke. Rezultati vseh strokovnjakov se med seboj primerjajo. Po presoji subjektivnega vpliva strokovnjaka in vplivu prostorske gostote nizov preučevanih podatkov dobimo rezultat, to je homogeniziran niz podatkov.

6 ANALIZA TRENDOV

6.1 Analiza srednje letne temperature vode

Po natančnemu pregledu podatkov o temperaturi vode na izbranih vodomernih postajah je sledila analiza srednje letne temperature vode. Zbrali smo podatke srednje letne temperature za omenjen nabor postaj s časovnim nizom 40 let. Rezultati opisne analize podatkov so nam potrdili, da pri večini vodomernih postaj lahko opazimo rast temperature tekom opazovanega obdobja. Preveriti pa je potrebno, če je rast temperature vode na izbranih postajah tudi statistično značilna.

Pri iskanju sprememb v serijah hidroloških podatkov moramo v prvi fazi določiti, katere oblike sprememb iščemo. V našem primeru med temperaturnimi podatki vodotokov iščemo postopno spremembo temperature vode v opazovanem obdobju (trend). Izbrati moramo statistični test, ki ga bomo uporabili za analizo naših podatkov. Izbor statističnega testa pomeni izbor testne statistike in izbor metode za ovrednotenje stopnje tveganja. Odločamo se s pomočjo primerov dobre prakse, izberemo lahko tudi več testov. Pri analizah hidroloških podatkov je eden najširše uporabljenih robustnih ne-parametričnih testov na trend Mann-Kendallov statistični test. Prav tako je zaradi svoje preprostosti pogosto uporabljena metoda linearne regresije. Osnovana je na predpostavkah o normalni porazdelitvi in neodvisnosti spremenljivk, kar moramo vzeti v zakup pri interpretaciji rezultatov te metode. Metoda linearne regresije nam bo služila kot primerjalna metoda, s katero bomo primerjali rezultate dobljene z Mann-Kendallovim statističnim testom. Mann-Kendallov test, ki je osnovan na rangiranju podatkovnih nizov, ni občutljiv na osamelce, medtem ko pri testu linearne regresije ekstremnih vrednosti ne moremo izločiti in je metoda na osamelce občutljiva. Primerjali bomo rezultate obeh testov za še boljšo predstavbo o značilnostih podatkov in rezultatov testov na trend.

Statistični test pričnemo z definicijo ničelne ter alternativne hipoteze. Privzeli bomo ničelno hipotezo H_0 , da trend ne obstaja in da ni sprememb v nizu temperaturnih podatkov. Kot alternativno hipotezo H_1 pa privzamemo, da trend obstaja ter je bodisi pozitiven ali negativen. Prav tako statistični test začnemo s predpostavko, da ničelna hipoteza velja in da je pravilna. Nato preverjamo, če so opazovani podatki skladni s to hipotezo. Ničelna hipoteza je zavrnjena, če podatki z njo niso skladni.

Testna statistika je numerična vrednost, določena na podlagi podatkovnih serij, ki jo uporabljamo za primerjavo ničelne in alternativne domneve. Primer testne statistike je v naši analizi koeficient linearne regresije. Če trend ni prisoten (ničelna hipoteza), potem bo regresijski koeficient zavzemal vrednost blizu nič. V primeru, da je trend med srednjimi vrednostmi prisoten, pa bo regresijski koeficient zelo različen od nič. Kakršenkoli je že rezultat testne statistike, ga je potrebno ovrednotiti in ga primerjati s pričakovano vrednostjo statistike na podlagi ničelne hipoteze. Pri tem si pomagamo s stopnjo značilnosti oz. s kritičnim območjem ali območjem zavrnitve.

S stopnjo tveganja α določimo kritično območje. V našem primeru smo uporabili stopnjo tveganja $\alpha = 0,05$. To je območje, kamor pade vrednost testne statistike v primeru, ko je ta precej različna od nič. V tem primeru zavrnemo ničelno hipotezo in s stopnjo tveganja α trdimo, da velja alternativna hipoteza. Stopnja tveganja torej predstavlja verjetnost, da je ničelna hipoteza napačno zavrnjena. Stopnja značilnosti pa se pri testiranju hipotez uporablja kot kriterij za zavrnitev ničelne hipoteze. Stopnja značilnosti nam pove, v kolikšni meri se testna statistika glede na niz vrednosti razlikuje od vrednosti, ki bi se običajno pojavile v primeru ničelne hipoteze. Tako na primer 95 % stopnja značilnosti predstavlja v povprečju 5 % verjetnost, da bo izračun napačen.

Pri statističnem testiranju moramo upoštevati predpostavke o obliki porazdelitve, trajnosti porazdelitve ter neodvisnosti časovnih vrst. Hidrološki podatki so pogosto močno ne-normalno porazdeljeni. Pri analizi srednje letne temperature vode lahko privzamemo, da so podatki neodvisni ter da avtokorelacija v podatkovnih nizih ni prisotna.

Statistične analize smo izvedli s pomočjo programskega paketa Hydrospect. Preglednica 3 prikazuje rezultate testnih statistik in stopnje značilnosti preučevanih časovnih nizov podatkov za izbrane postaje. Rezultati iskanja trenda med temperaturnimi podatki so pokazali statistično značilno rast temperature vode v obdobju zadnjih štiridesetih let za kar 16 od 21 postaj. Stopnja značilnosti pri vseh postajah, ki izkazujejo statistično značilen pozitiven trend, pa je višja od 99 %.

Našo pozornost tako pritegnejo rezultati testov na vodomernih postajah, kjer statistično značilen trend ni zaznan. To je postaja na Kamniški Bistrici, kjer je bilo že pri opisni analizi podatkov jasno, da časovni niz podatkov ni reprezentativen ter da so v nizu vidna neskladja. Prav tako obe postaji na reki Ljubljanici ne izkazujeta statistično značilnega naraščajočega trenda, medtem ko prostorsko primerljiva postaja Šentjakob na reki Savi izkazuje pozitiven trend ob 99,99 % stopnji značilnosti. Predvidevamo, da gre vzrok za tak rezultat na reki Ljubljanici na merilni postaji Moste pripisati spremembi merilnega

mesta. Postaja je bila leta 2006 prestavljena na območje, kjer je odvzem vode za Toplarno in je zaradi tega velik številu antropogeni vpliv na meritve temperature vode (Kobold, 2015). Vemo tudi, da je merilna postaja Vrhnika stacionirana pri izviru reke Ljubljanice in je temperatura vode na tem merilnem mestu še močno odvisna od temperature vode podtalnice. Spremembe temperature vodotoka na tej postaji zato niso značilne.

Vodomerna postaja na reki Prečni prav tako ne izkazuje statistično značilnega naraščajočega trenda. Tudi to postajo smo omenili v opisni analizi podatkov, kjer smo v podatkovnih nizih o temperaturi vode našli neskladja. Za boljšo razlago teh neskladij bi nam bili v pomoč metapodatki o postaji, ki pa z izjemo osnovnih podatkov žal niso sistematično zbrani.

Vodomerna postaja Cerkevnikov mlin na reki Reki izkazuje statistično značilen padajoč trend. Razlog za to je predvsem v pomanjkljivem časovnem nizu podatkov, kjer nobeno leto meritev do leta 2009 ni bilo popolno. Podatki so se od pričetka merjenja temperature vode na tej postaji zbirali na vsakih nekaj dni. Do leta 1980 je bilo na leto v povprečju zbranih 250 podatkov, na prelomu tisočletja se je rednost meritev poslabšala. Tako v podatkovnem nizu primanjkujejo podatki predvsem za poletne mesece v obdobju od leta 1998 do leta 2004, ko bi bila izmerjena temperatura najvišja. Prav ti manjkajoči podatki so vzrok za dobljeni rezultat, ki na podlagi nepopolnih podatkov ne more biti reprezentativen. Povedati moramo še, da daljši časovni niz izboljša vrednost testne statistike na omenjeni postaji. Če izračunamo vrednost testne statistike za srednje letne temperature merjene od leta 1955 do leta 2010, dobimo kot rezultat testne statistike pozitiven trend s stopnjo značilnosti 97,17 % (Matul, 2013).

Preglednica 3: Rezultati statističnih testov

Št.	Šifra	Vodomerna postaja	Mann-Kendallov test		Linearna regresija	
			Vrednost testne statistike	Stopnja značilnosti	Koeficient korelacije	Stopnja značilnosti
1	1220	LEDAVA, POLANA	2,867	99,58	0,489	99,88
2	3420	SAVA, RADOVLJICA	5,226	99,99	0,783	99,99
3	3570	SAVA, ŠENTJAKOB	5,372	99,99	0,793	99,99
4	3650	SAVA, LITIJA	4,922	99,99	0,651	99,99
5	4200	SORA, SUHA	4,367	99,99	0,602	99,99
6	4400	KAMNIŠKA BISTRICA, KAMNIK	0,664	49,34	0,053	25,68
7	4860	KOLPA, METLIKA	3,884	99,98	0,586	99,99
8	4970	LAHINJA, GRADAC	2,851	99,56	0,460	99,67
9	5030	LJUBLJANICA, VRHNIKA	1,592	88,86	0,275	90,92
10	5080	LJUBLJANICA, MOSTE	0,586	44,21	0,059	28,73
11	6060	SAVINJA, NAZARJE	4,415	99,99	0,687	99,99
12	6200	SAVINJA, LAŠKO	5,288	99,99	0,761	99,99
13	6550	BOLSKA, DOLENJA VAS	4,771	99,99	0,663	99,99
14	6630	LOŽNICA, LEVEC	3,742	99,98	0,446	99,6
15	7160	KRKA, PODBOČJE	3,592	99,96	0,534	99,96
16	7340	PREČNA, PREČNA	0,503	38,47	0,143	62,6
17	8180	SOČA, SOLKAN	3,662	99,97	0,500	99,92
18	8450	IDRIJCA, HOTEŠK	4,481	99,99	0,693	99,99
19	8500	BAČA, BAČA	6,148	99,99	0,846	99,99
20	8600	VIPAVA, MIREN	2,778	99,45	0,501	99,78
21	9050	REKA, CERKVENIKOV MLIN	-2,984	99,71	-0,428	99,47

Rezultati analize srednje letne temperature vodotokov na izbranih vodomernih postajah pričajo o naraščajočem trendu temperature vodotokov po vsej Sloveniji. V nadaljevanju dela si bomo ogledali, kako se te spremembe prikazujejo skozi leto, ločeno po letnih časih, in ali lahko te spremembe povežemo s spremembami temperature zraka ter indeksi oscilacij.

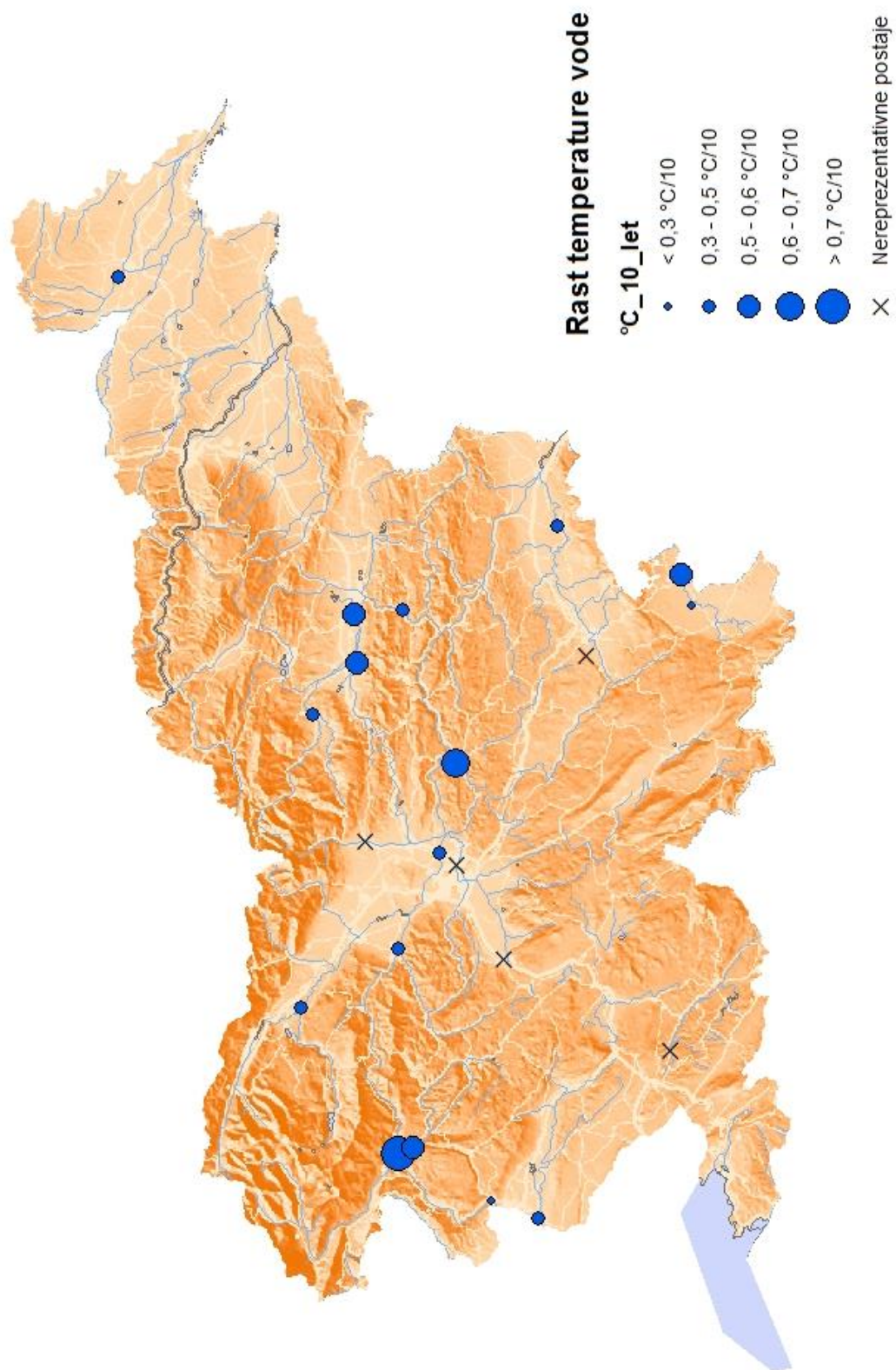
6.2 Analiza sezonskosti temperature vode

Temperatura vode ima velik vpliv na razmere v vodotoku. Problematika naraščanja povprečne letne temperature vode je najbolj pereča v poletnih mesecih, ko je temperatura vode previsoka in zato lahko usodna za večje število sladkovodnih vrst rib. Analizo temperature vode po letnih časih smo naredili z namenom preveritve spreminjanja temperature vode na izbranih vodomernih postajah tekom meteoroloških letnih časov. Podatke smo zbrali po mesecih, kjer december, januar in februar predstavljajo obdobje zime, marec, april in maj pomlad, junij, julij in avgust poletje ter september, oktober in november jesen. Kot prvo preučevano desetletje smo izbrali 1972–1981 ter zadnje 2002–2011. Preglednica 4 prikazuje spremembo temperature vode na dekado ($^{\circ}\text{C}/10$). Za vsako obravnavano postajo je izpisana vrednost za posamezni letni čas ter celoletno spremembo.

Slika 22 prikazuje prostorsko razporeditev celoletne povprečne rasti temperature vode na dekado za izbrane vodomerne postaje.

Preglednica 4: Rezultati analize sezonskosti srednje letne temperature vode [$^{\circ}\text{C}/10$], z znakom - so označeni statistično neznačilni rezultati.

Št.	Šifra	Vodomerne postaja	Zima	Pomlad	Poletje	Jesen	Leto
1	1220	LEDAVA, POLANA	-0,15	0,4	1,1	0,3	0,48
2	3420	SAVA, RADOVLJICA	0,54	0,37	0,39	0,36	0,39
3	3570	SAVA, ŠENTJAKOB	0,2	0,4	0,63	0,37	0,42
4	3650	SAVA, LITIJA	-	0,61	1,25	0,51	0,61
5	4200	SORA, SUHA	0,32	0,52	0,7	0,49	0,49
6	4400	KAMNIŠKA BISTRICA, KAMNIK	-	-	-	-	-
7	4860	KOLPA, METLIKA	-	0,75	1,1	0,48	0,6
8	4970	LAHINJA, GRADAC	-	-	0,19	0,05	0,28
9	5030	LJUBLJANICA, VRHNIKA	-	-	-	-	-
10	5080	LJUBLJANICA, MOSTE	-	-	-	-	-
11	6060	SAVINJA, NAZARJE	0,19	0,23	0,19	0,08	0,36
12	6200	SAVINJA, LAŠKO	0,19	0,47	0,7	0,28	0,41
13	6550	BOLSKA, DOLENJA VAS	-	0,65	0,85	0,5	0,59
14	6630	LOŽNICA, LEVEC	-	0,59	0,67	0,68	0,55
15	7160	KRKA, PODBOČJE	-	0,49	0,72	0,29	0,37
16	7340	PREČNA, PREČNA	-	-	-	-	-
17	8180	SOČA, SOLKAN	-	0,29	0,47	0,19	0,24
18	8450	IDRIJCA, HOTEŠK	0,35	0,56	0,71	0,53	0,51
19	8500	BAČA, BAČA	0,49	0,94	1,07	0,74	0,82
20	8600	VIPAVA, MIREN	-	0,45	0,67	0,23	0,33
21	9050	REKA, CERKVENIKOV MLIN	-	-	-	-	-



Slika 22: Prikaz rasti povprečne letne temperature vode [°C/10 let]

Spremembe na dekada smo izračunali s pomočjo naklona premice linearne regresije za posamezna preučevana obdobja. Iz preglednice 4 lahko razberemo, da je trend rasti temperature vode najbolj opazen ravno poleti, ko so vodostaji nizki in je temperatura vode v vodotokih že tako visoka. Pri 12 obravnavanih postajah je poletna rast temperature vodotoka večja od $0,6\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ let}$, kar pomeni poletni dvig temperature vode v zadnjih 40 letih za več kot $2\text{ }^{\circ}\text{C}$. Glede velikosti spremembe poletne temperature vode izstopajo postaje Ledava – Polana, Sava – Litija, Kolpa – Metlika in Bača – Bača, kjer znaša sprememba temperature vode več kot $1\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ let}$. V povprečju znaša letna sprememba temperature vode na dekada slabih $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ let}$ za vse obravnavane postaje, ki so izkazale statistično značilne rezultate. Z znakom (-) so označene celice, pri katerih rezultat ni bil statistično značilen. Kljub temu da smo statistično neznačilne podatke izločili iz preglednice, so ti rezultati služili kot potrditev naših dognanj v predhodnih analizah. Tako so rezultati analize sezonskih sprememb temperature vode za postajo Cerkevnikov mlin pokazali vzrok statistično značilnega padajočega trenda. Opazimo, da gre pri tej postaji za drastičen upad temperature vode vodotoka prav poleti, kjer je v nizu podatkov največja vrzel.

V splošnem analiza temperature vodotokov po letnih časih prikazuje, da so se najmanjše spremembe temperature vodotokov zgodile pozimi. Na večini obravnavanih postaj spremembe temperature vode v zimskem času niso statistično značilne. Razloge za tak rezultat bi lahko iskali tudi pri vprašljivi doslednosti izvajanja ročnih meritev temperature vode, ko vodotoki zamrznejo. Potrebno bi bilo preveriti, če so opazovalci v preteklosti v razmerah, ko so bili vodotoki zamrznjeni, sploh merili temperaturo vode, se pravi razbijali led, da so prišli do vode (Kobold, 2015). Rezultati naše analize so pokazali, da je na postaji Ledava – Polana opazen celo blag padec povprečne temperature vode. Vsekakor so v primerjavi z ostalimi letnimi časi spremembe temperature vode pozimi najnižje pri vseh obravnavanih postajah, razen pri postaji Radovljica na reki Savi, kjer je sprememba temperature vode v zimskem času večja kot v ostalih letnih časih.

Kot zanimivost lahko dobljene rezultate spremembe temperature vode po letnih časih primerjamo s spremembami temperature zraka, ki jo prikazujemo v poglavju 3, preglednica 1. Tudi v tej preglednici so predstavljene spremembe temperature zraka na dekada ($^{\circ}\text{C}/10$) za vsak letni čas posebej. Preučevan niz podatkov pa je daljši od našega, in sicer od leta 1950 do leta 2010. Tako rezultate med seboj primerjamo le kot približen vpogled v korelacijo temperature vode in zraka, čemur se natančneje posvetimo pri naslednji analizi.

6.3 Korelacija temperature vode in zraka

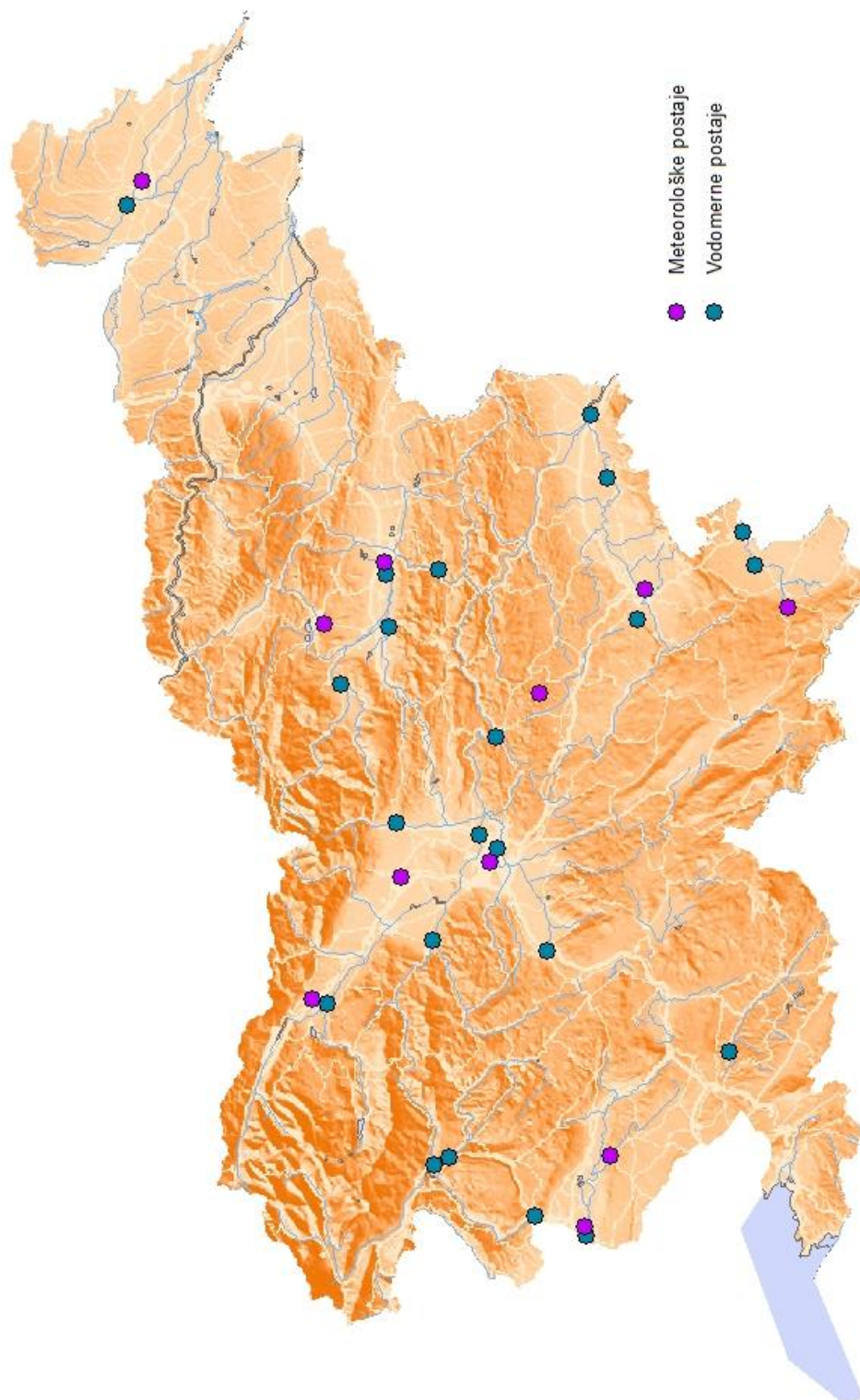
Na temperaturo vode močno vplivajo vremenski pogoji, vpliv katerih lahko dokaj dobro opišemo s temperaturo zraka. Analiza odvisnosti temperature vode površinskih voda v odvisnosti od temperature zraka je še posebej aktualna v zadnjih letih, ko je segrevanje podnebja opazno (Vodenik, et al., 2008). Analize srednjih letnih ter obdobjnih temperatur vode smo si ogledali v prejšnjih poglavjih, v tem poglavju pa bomo preverili, ali trendi rasti temperature vode v vodotokih sledijo tudi trendom temperature zraka na bližnjih merilnih postajah.

Podatke o povprečni letni temperaturi vode bomo primerjali s podatki o povprečni letni temperaturi zraka. Potrebno se je zavedati, s kakšnimi podatki operiramo, ter poudariti, da primerjamo homogenizirane nize podatkov o temperaturi zraka, izračunane na podlagi povprečne dnevne temperature, na eni strani ter nehomogenizirane nize podatkov o temperaturi vode, dobljene na podlagi trenutnih dnevnih opazovanj. Pri interpretaciji te analize bomo tako morali ta dejstva upoštevati.

Podobne analize po svetu so pokazale (Mosheni in Stefan, 1999; Webb in Nobilis, 2007), da obstaja močna korelacija med temperaturo vode in temperaturo zraka. V Sloveniji so na ARSO na to temo naredili nekaj vzorčnih analiz, podrobneje pa ta tematika še ni bila obravnavana.

Iz nabora naših obravnavanih postaj smo za to analizo izbrali postaje, ki pri analizi srednje letne temperature vodotokov izkazujejo statistično značilen naraščajoč trend. Pri ostalih postajah se je pri pregledu podatkov izkazalo, da vsebujejo večje število napak, da so pri nekaterih postajah zunanji, antropogeni vplivi preveliki, tako rezultati analiz na podlagi teh podatkov niso reprezentativni. Za analizo nam ostane 16 postaj, razporejenih po vsej Sloveniji, ki smo jim iskali najbližje klimatske postaje za čim boljšo primerjavo temperature zraka in vode. Pri prostorskem ujemanju hidroloških in meteoroloških postaj smo imeli precej težav. Nabor meteoroloških postaj je sicer zelo širok, vendar se časovni nizi meritev pogosto niso ujemali z našim izbranim 40 let dolgim časovnim nizom. Tako smo za postaje, kjer je bilo prostorsko ujemanje parov obeh postaj slabo, morali izračunati aritmetično sredino podatkov zbranih iz več okoliških, bolj oddaljenih postaj. Težave smo imeli predvsem pri postajah Hotešk in Bača, kjer podatkov o temperaturi zraka skorajda ni bilo moč dobiti. Tako smo izračunali povprečen podatek o temperaturi zraka s pomočjo postaj, ki so nam bile na voljo. Za vodomerno postajo Idrijca Hotešk smo tako kot referenčne postaje za temperaturo zraka vzeli postaje Bilje, Slap ter

Ljubljano. Poizkusili smo še s postajo v Lescah, ki pa je zaradi severnejše lege in s tem nižjimi povprečnimi temperaturami pri primerjavi rezultatov odstopala. Na sliki 23 prikazujemo mrežo uporabljenih vodomernih in meteoroloških postaj.



Slika 23: Prikaz vodomernih ter meteoroloških postaj.

Preglednica 5 prikazuje seznam parov postaj. V primeru, ko za izbrano vodomerno postajo ni bilo primerne referenčne klimatske postaje, smo izbrali več referenčnih postaj, na podlagi katerih smo nato izračunali aritmetično sredino vseh podatkov o temperaturi zraka, ki smo jo nato primerjali s podatki o temperaturi vode.

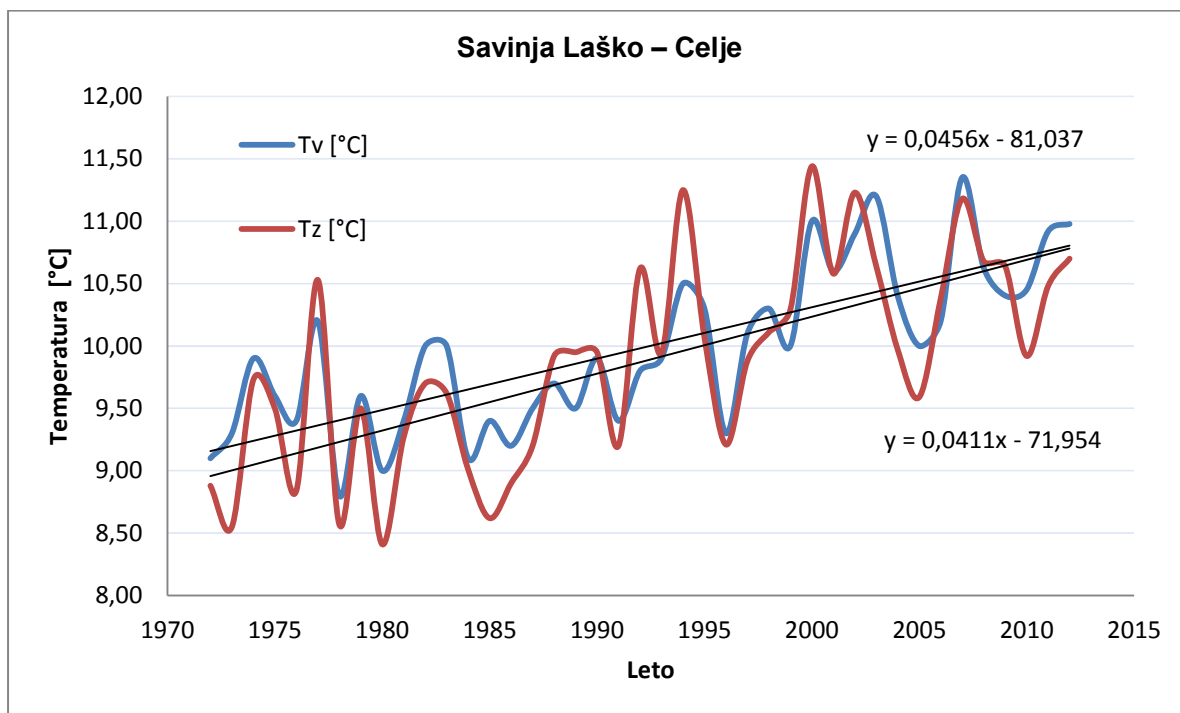
Preglednica 5: Seznam obravnavanih meteoroloških in hidroloških postaj z rezultatom korelacije

Meteorološke postaje	Hidrološke postaje	R²
Murska Sobota	Ledava, Polana	0,356
Ljubljana Bežigrad	Sava, Šentjakob	0,617
Lesce	Sava, Radovljica	0,643
Lesce, Brnik, Ljubljana	Sora, Suha	0,284
Novo mesto	Krka, Podbočje	0,272
Celje, Velenje	Savinja, Nazarje	0,721
Celje	Savinja, Laško	0,798
Celje	Ložnica, Levec	0,330
Celje, Velenje, Ljubljana	Bolska, Dolenja vas	0,650
Črnomelj	Kolpa, Metlika	0,537
Črnomelj	Lahinja, Gradac	0,517
Sevno, Ljubljana, Celje	Sava, Litija	0,394
Bilje	Soča, Solkan	0,176
Bilje	Vipava, Miren	0,138
Bilje, Slap, Ljubljana	Idrijca, Hotešk	0,674
Bilje, Slap	Bača, Bača	0,638

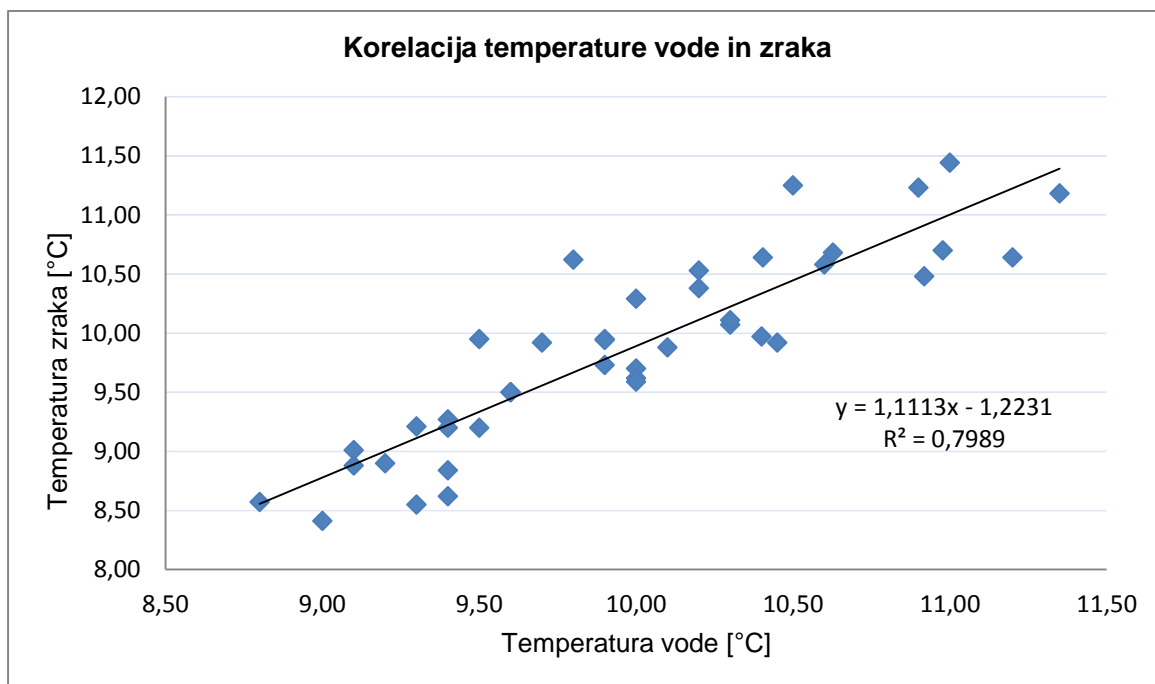
Na podlagi zbranih podatkov smo naredili preprosto primerjavo srednje letne temperature vode s srednjo letno temperaturo zraka. Rezultate smo prikazali z grafi, s pomočjo katerih se izkaže, da pri večini obravnavanih postaj temperatura vode sledi trendu temperature zraka. Podatki temperature vode v odvisnosti od temperature zraka kažejo na linearno odvisnost. V nadaljevanju prikazujemo graf (slika 24) srednje letne temperature vode in zraka za primer vodomerne postaje Laško na reki Savinji in meteorološke postaje Celje. Slika 25 prikazuje korelacijo med spremenljivkama. Postaji Laško in Celje izkazujeta najvišji koeficient korelacije izmed vseh obravnavanih postaj. Vsi ostali grafi so priloženi v prilogah.

V preglednici 5 smo zbrali vse vrednosti koeficientov korelacije. Iz tabele kritičnih vrednosti Pearsonovega korelacijskega koeficienta R za določen N obravnavanih parov odčitamo vrednost R, ki ob določenem stopnji zaupanja še pomeni statistično značilen rezultat (Neave, 1998). V našem primeru, ko je N=40, ob stopnji zaupanja $\alpha = 0,05$,

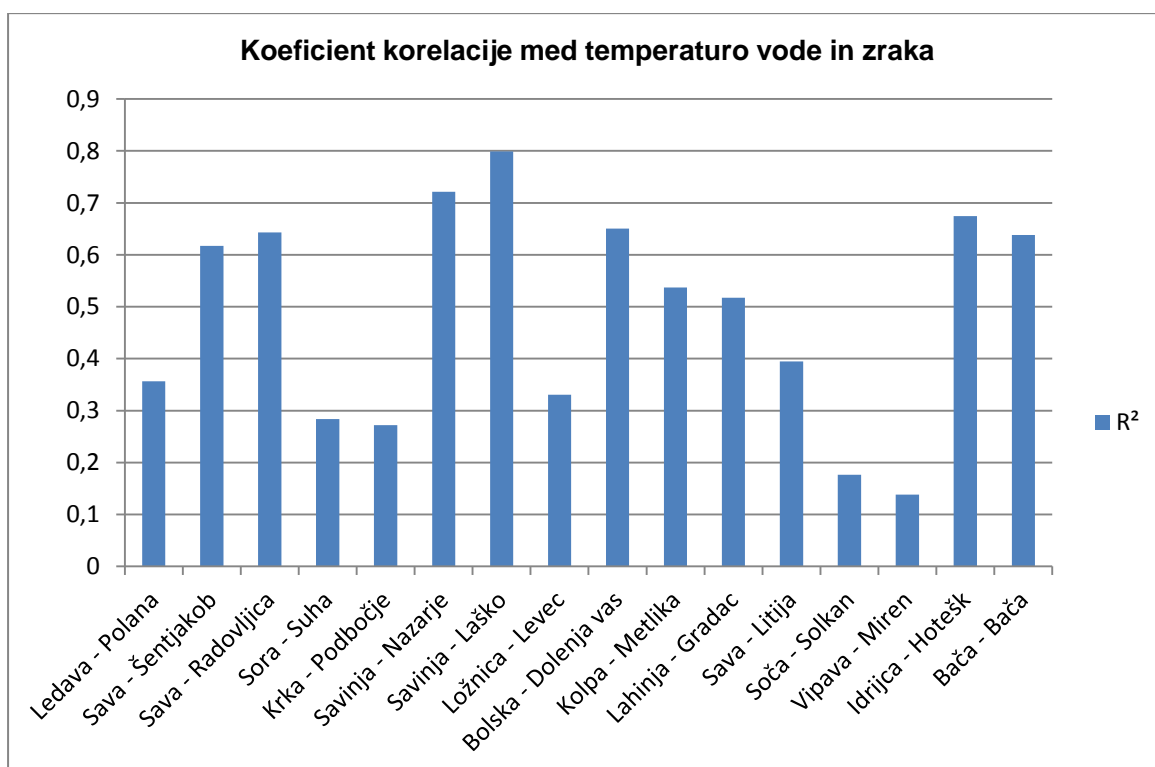
mora biti $R \geq 0,312$, da lahko govorimo o statistično značilni korelaciji med temperaturo vode in zraka. Rezultate, ki zadoščajo temu pogoju, smo v preglednici 5 označili s krepkim tiskom. Rezultati primerjave temperature vode in zraka so precej dobri glede na neujemajoče se podatke. Od skupaj 16 analiziranih postaj dobimo 12 statistično značilnih korelacij. Za zagotovitev boljše preglednosti rezultate korelacij prikazujemo na sliki 26.



Slika 24: Graf povprečne letne temperature vode in zraka za postajo Savinja – Laško in klimatološko postajo v Celju



Slika 25: Izračun koeficienta korelacije za postaji Laško in Celje



Slika 26: Prikaz koeficientov korelacije temperature zraka in vode za obravnavane hidrološke postaje

6.4 Spreminjanje temperature vzdolž vodotoka

Vodotoki kažejo tako časovne kot prostorske razlike v temperaturi vode. Temperatura vodotoka blizu izvira je v splošnem blizu temperature podtalnice. Temperatura zraka in drugi zunanji vplivi na temperaturo vode blizu izvira še nimajo velikega vpliva. Z oddaljevanjem od izvira se viša tudi dnevna povprečna temperatura vodotoka, kar je pri manjših vodotokih še bolj izrazito.

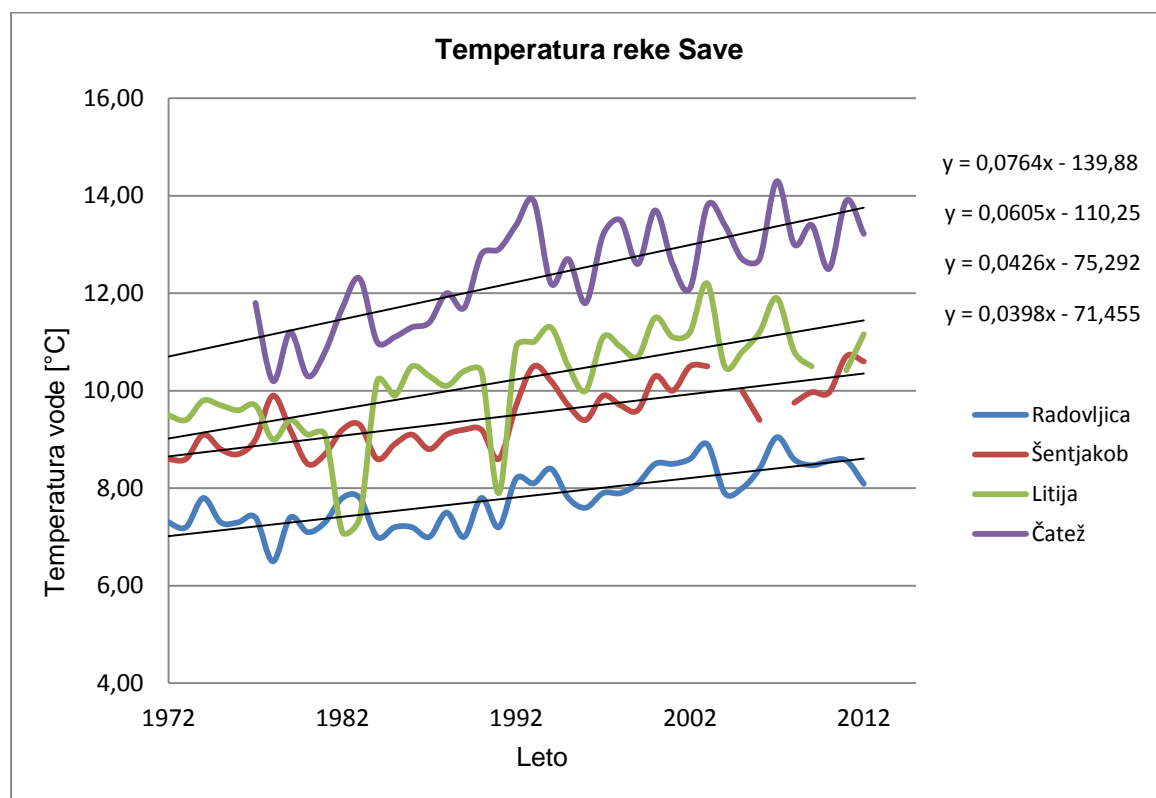
Za analizo spreminjanja temperature vodotoka dolvodno po vodotoku v Sloveniji smo izbrali reki Savo in Savinjo, za kateri obstajajo dovolj dolgi nizi podatkov na več postajah. Za najboljši rezultat take analize bi potrebovali podatke o temperaturi vode ob izviru vodotoka. Ker podatkov z dovolj dolgim nizom o temperaturi vode ob izviru nimamo, bomo za primerjavo vzeli postajo, ki je najbližja izviru.

6.4.1 Sava

Pretočne značilnosti kažejo, da ima Sava v povirnem delu do Radovljice alpski snežno dežni pretočni režim, kar pomeni praviloma največje pretoke spomladi zaradi taljenja snega in dežja, drugi višek pretokov pa je jeseni zaradi deževja. Najmanj vode ima Sava v tem delu pozimi, saj večina padavin ostane zadržana v snegu, kar zmanjšuje odtok, drugi nižek pa je poleti zaradi manjše količine padavin in večjega izhlapevanja. V Ljubljanski kotlini reka s pritoki spremeni pretočni režim, ki postane alpski dežno snežni in tak ostane vse do iztoka iz države. Vodnatost reke narašča od izvira proti iztoku iz države.

Iz preglednice obdobjnih statistik pretokov slovenskih rek, ki so jo izdelali na ARSO za obdobje od leta 1971–2000, smo zbrali podatke o povprečnih pretokih. Na vodomerni postaji v Radovljici imamo v povprečju dobrih 40 m³/s pretoka, na Šentjakobu 85 m³/s, v Litiji (po dotoku Kamniške Bistrice in Ljubljanice) 160 m³/s, v Radečah (po dotoku Savinje) 200 m³/s, v Čatežu (po dotoku Krke) pa že 270 m³/s. Dolgoročni trendi srednjih pretokov na Savi pa izkazujejo upadajoč trend, torej zmanjševanje povprečnih količin odtoka. V smeri proti iztoku narašča tudi temperatura vode v Savi. Srednja letna temperatura z okrog 8 °C v Radovljici še nakazuje velik vpliv snežnice in dolvodno postopoma narašča. Tako ima Sava na Šentjakobu v povprečju 9,5 °C, v Litiji 10,5 °C in v Čatežu 12,5 °C.

Na sliki 27 so prikazane krivulje povprečne letne temperature vode, ki si zaporedno sledijo dolvodno po vodotoku. Za prikaz rasti temperature vodotoka dolvodno smo uporabili tudi podatke s postaje Čatež, ki jih zaradi krajšega časovnega niza v predhodnih analizah nismo uporabili. Iz prikaza regresijskih premic lahko opazimo, da naklon premic narašča dolvodno po vodotoku, najmanjši je na prvi postaji v Radovljici, kjer so zunanji vplivi na temperaturo vode najmanjši. Prav tako so nihanja povprečne letne temperature vode na tej postaji najmanjša. Temperatura vode dolvodno torej narašča, trend višanja temperature vode tekom obravnavanega obdobja 40 let je opazen na vseh postajah.



Slika 27: Temperatura vode reke Save in trendi



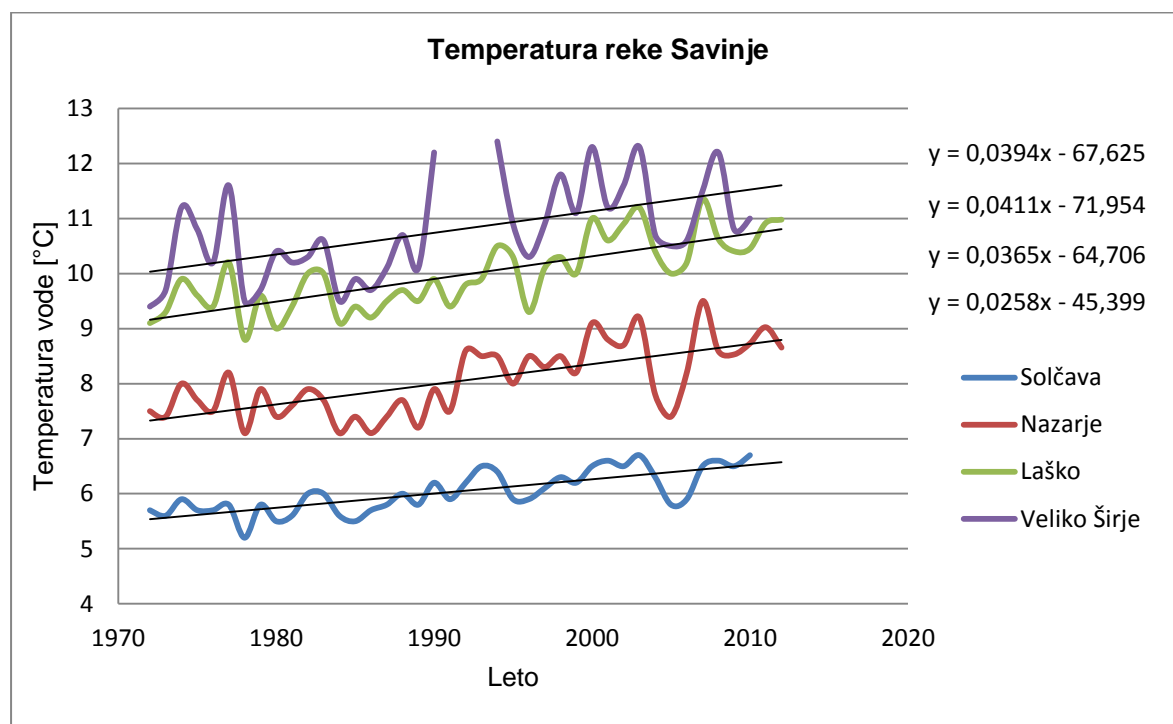
Slika 28: Prikaz postaj na reki Savi

6.4.2 Savinja

Reka Savinja je s svojimi pritoki na območju Zgornje Savinjske doline značilen hudourniški vodotok. Pretočne značilnosti reke Savinje kažejo, da ima reka Savinja v zgornjem toku alpski snežno dežni pretočni režim. Na pretok vplivajo tako dolgotrajna deževja, kot tudi izraziti kratkotrajni nalivi, pozno poleti pa vpliva še taljenje snega v visokogorju. Na območju so še številne grape in erozijski jarki, po katerih ob vseh večjih padavinah in topljenju snega tečejo vodotoki. Porečje Savinje obsega skupaj 1864 km² in se na svoji 100 km dolgi poti spusti za 750 m pri Zidanem Mostu, kjer se izlije v Savo (Fazarinc, 2002). Za razliko od večine slovenskih rek je Savinja tudi v spodnjem toku izrazito hudourniška. Povprečni pretoki proti izlivu naraščajo. Povprečni pretok izračunan za obdobje od leta 1971 do leta 2000 v Solčavi znaša 2,17 m³/s, na postaji Nazarje 16 m³/s, v Laškem 40 m³/s ter v Velikih Širjah 44 m³/s.

Tudi pri reki Savinji povprečna temperatura vode proti iztoku narašča. Povprečna temperatura vode izmerjena na postaji Solčava znaša 6 °C, pri Nazarjah se poveča na 8 °C, v Laškem naraste na 10 °C ter v Velikem Širju na 11 °C.

Na sliki 29 je prikaz srednje letne temperature vode za štiri postaje, razporejene po Savinji. Za boljše ponazoritev rasti temperature vode proti iztoku smo predhodno analiziranima postajama Nazarje in Laško dodali še postaji Solčava in Veliko Širje. Opazimo, da se temperatura vode kot omenjeno proti iztoku viša. Najmanjše nihanje povprečne letne temperature vode je opazno na postaji Solčava. Glede na regresijske premice, prikazane na grafu, je tudi rast povprečne letne temperature skozi obravnavano obdobje 40 let najmanjše na postaji Solčava. Proti iztoku vodotoka pa se na postaji Nazarje rast srednje letne temperature poveča in je primerljiva tudi na postajah Laško ter Veliko Širje.



Slika 29: Temperatura vode reke Savinje in trendi



Slika 30: Prikaz postaj na reki Savinji

6.5 Primerjava trendov obravnavanega obdobja z daljšim časovnim obdobjem

V predhodnih analizah smo obravnavali časovni niz podatkov za obdobje od leta 1972 do leta 2012. Za tak časovni niz podatkov smo se odločili, da smo dobili širši krog obravnavanih postaj. V tem delu diplomske naloge si bomo ogledali trende rasti temperature vode za primere postaj vodotokov v Sloveniji, pri katerih obstajajo daljši nizi podatkov.

Prvi sistematično zbrani podatki o temperaturi vode slovenskih vodotokov segajo v leto 1953. Tako imajo postaje z najdaljšim nizom temperaturnih podatkov do danes zbranih že dobrih 60 let podatkov o meritvah temperature vode. Kot smo že omenili, se je število postaj, na katerih potekajo meritve temperature vode, z leti povečevalo. Primeri vodomernih postaj z meritvami od leta 1953 so Radovljica in Litija na reki Savi, Laško in Nazarje na reki Savinji, Podbočje na reki Krki, Solkan na reki Soči, Hotešk na reki Idrijci in Metlika na reki Kolpi. Postaji s temperaturnimi podatki od leta 1954 sta še Suha na reki Sori in Bača na reki Bači.

Namen tega dela analize trendov temperature vodotokov je ugotoviti, kako se trendi spreminjajo, če opazovano obdobje podaljšamo iz 40 na 60 let. Preglednica 6 prikazuje trende rasti temperature vode na dekada ($^{\circ}\text{C}/10$ let) za vodomerne postaje Radovljica, Solkan in Podbočje. Primerjali smo trende rasti temperature vode za krajše, že v predhodnih analizah obravnavano obdobje, in daljše, 60 let dolgo obdobje od leta 1953 do leta 2013. Primerjava kaže, da se s podaljšanjem opazovanega obdobja trendi rasti temperature vode na vseh postajah znižajo. Sprememba temperature vode na dekada je nižja tako v različnih letnih časih kot tudi na letni ravni. Tak rezultat nas znova opomni, da so se največje spremembe pri temperaturi vode dogajale ravno v zadnjih desetletjih.

Preglednica 6: Prikaz trendov rasti temperature vode na dekada ($^{\circ}\text{C}/10$ let) za obdobje 1972–2012 in 1953–2013. Z znakom (-) so označeni statistično neznačilni rezultati.

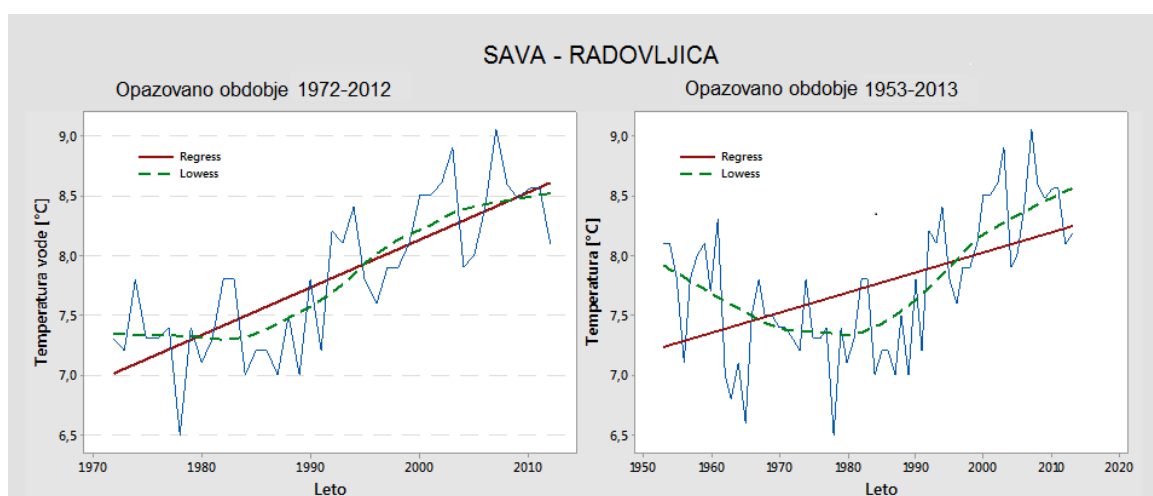
Vodomerne postaja	Opazovano obdobje	Trendi rasti temperature vode [$^{\circ}\text{C}/10$ let]				
		Zima	Pomlad	Poletje	Jesen	Leto
SAVA, RADOVLJICA	1972–2012	0,5	0,36	0,39	0,36	0,39
	1953–2013	0,23	0,18	0,17	0,13	0,17
SOČA, SOLKAN	1972–2012	-	0,29	0,47	0,19	0,24
	1953–2013	-	0,18	0,43	0,13	0,22
KRKA, PODBOČJE	1972–2012	-	0,49	0,72	0,29	0,37
	1953–2013	-	0,33	0,46	0,11	0,26

Daljši časovni nizi podatkov torej zmanjšajo naklon premic linearne regresije, glajene krivulje pa nam omogočijo podrobnejši vpogled v spreminjanje temperature vode vodotokov skozi obravnavano obdobje. V prilogi C so priloženi grafi s prikazom premice linearne regresije in glajenih krivulj s pomočjo funkcije LOWESS za deset obravnavanih postaj, pri katerih obstajajo podatki o temperaturi vode od leta 1953 oz. 1954.

Prikaz daljšega niza temperaturnih podatkov ter prikaz glajenih krivulj podaja iztočnico za analizo lomov trendov temperaturnih podatkov. Analiza lomov trendov bi lahko pokazala, v katerih obdobjih je za posamezno vodomerno postajo temperatura vode bolj izrazito naraščala. Iz prikaza glajenih krivulj lahko namreč opazimo, da je temperatura vode izrazito naraščala pri skoraj vseh obravnavanih postajah od leta 1980 naprej, v zadnjih letih pa se ta trend pri mnogih postajah umirja, naklon glajenih krivulj je manjši. Prav tako bi z analizo lomov trendov bolj natančno določili, katera leta v opazovanem

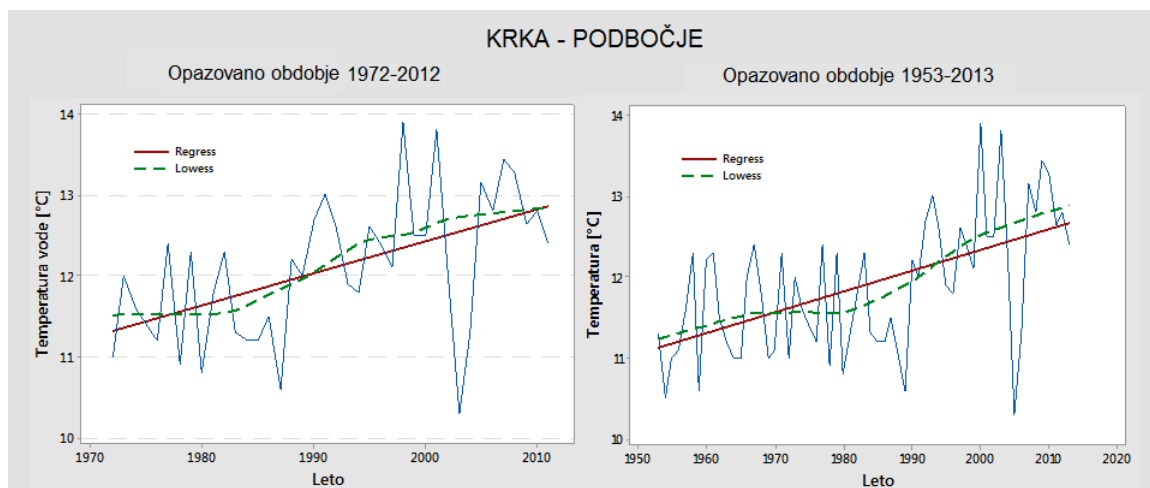
obdobju so tista, pri katerih so se dogajale največje spremembe, ter rezultate več postaj primerjali med sabo.

Na slikah 31–33 prikazujemo primerjavo grafov krajšega in daljšega opazovanega obdobja. Grafa podatkov na postaji Radovljica slikovito prikazujeta razliko med obema opazovanima obdobjema. Daljši časovni niz podatkov razkrije gibanje vrednosti povprečne temperature vode v preteklosti, ko je na dotični vodomerni postaji povprečna temperatura vode v obdobju prvih 30 let meritev padala. Tako nenadno zviševanje temperature vode po letu 1980 dobi precej večjo težo v primerjavi z grafom, kjer je prikazano krajše opazovano obdobje.

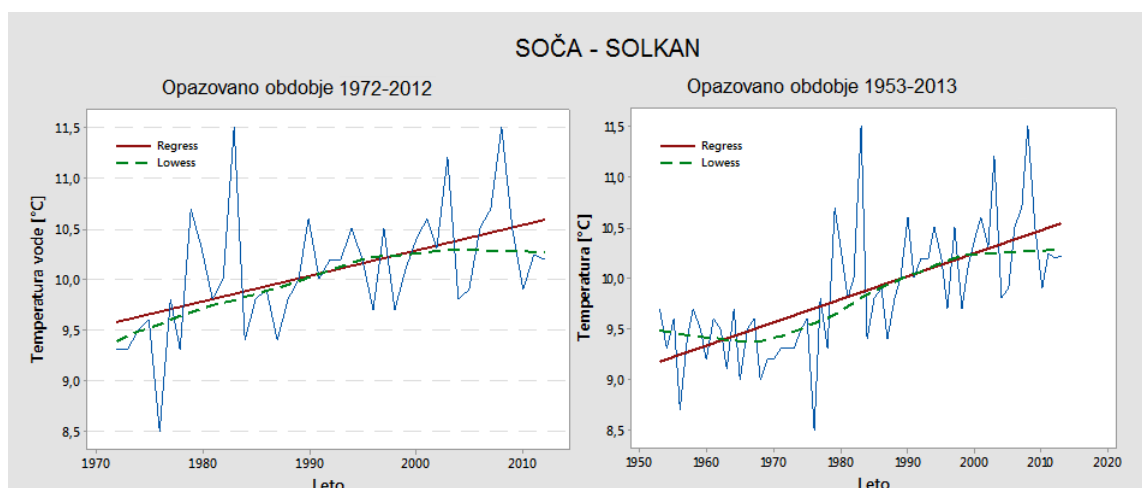


Slika 31: Primerjava grafov s krajšim in daljšim opazovanim obdobjem za vodomerno postajo Sava, Radovljica.

Na slikah 32 in 33 sta prikazana grafa obeh opazovanih obdobjih za postaji Podbočje in Solkan. Daljši časovni niz podatkov bolje prikažejo začetek trenda rasti temperature vode v 80-ih letih prejšnjega stoletja na postaji Podbočje. Postaja Solkan pa izkazuje začetek rasti temperature vode že pred letom 1970, kar pri grafu s krajšim nizom podatkov ni razvidno. Primerjava dveh obravnavanih časovnih obdobjih dokazuje, da so za iskanje trendov v hidroloških podatkih primernejši daljši časovni nizi podatkov. To dejstvo je lahko vodilo k nadaljnjemu sistematičnemu zbiranju podatkov o temperaturi vode, da bodo v prihodnje analize temperature vode vodotokov lahko še boljše.



Slika 32: Primerjava grafov s krajšim in daljšim opazovanim obdobjem za vodomerno postajo Krka, Podbočje.



Slika 33: Primerjava grafov s krajšim in daljšim opazovanim obdobjem za vodomerno postajo Soča, Solkan.

6.6 Korelacija z indeksi oscilacije

V tem poglavju smo preverjali povezavo indeksov oscilacije s temperaturo vode vodotokov v Sloveniji in referenčnimi temperaturami zraka za izbrane postaje. Podatke o vrednostih indeksov oscilacije smo pridobili na spletu. Podatki o indeksu severnoatlantske oscilacije (NAO) so na voljo na spletnih straneh Nacionalnega centra Združenih držav za raziskovanje vremena (angl. United States National Weather Service, Climate Prediction Center) (<http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/CWlink/pna/norm.nao.monthly.b5001.current.ascii.table>, pridobljeno 27. 10. 2014). Na razpolago so dnevne vrednosti indeksa severnoatlantske oscilacije od leta 1950. Za potrebe naše analize smo pridobili podatke o mesečnih povprečjih indeksa NAO za obravnavano obdobje od leta 1972 do leta 2012.

Podatke o indeksih mediteranske oscilacije smo pridobili na spletnih straneh Univerze vzhodne Anglije, oddelka za raziskovanje podnebja (angl. Climatic Research Unit) (<http://www.cru.uea.ac.uk/cru/data/moi/>, pridobljeno 27. 10. 2014). V bazi podatkov so shranjeni podatki o indeksih sredozemske oscilacije, merjene med Algieri in Cairom, v nadaljevanju MOI1, ter indeksi oscilacije, merjeni med Gibraltarjem in letališčem Lod v Izraelu, v nadaljevanju MOI2. Na voljo so dnevne vrednosti indeksov od leta 1948 naprej.

Dosedanje analize so pokazale povezanost indeksov oscilacije NAO in MO z mesečno količino padavin (Sušelj in Bergant, 2005), še posebej v hladnem delu leta. V svojem članku sta avtorja dokazala, da je povezava indeksov s temperaturami šibkejša kot v primeru padavin.

Webb in Nobilis (2007) v svojem članku navajata, da je koeficient korelacije med indeksom NAO in temperaturo zraka v Avstriji največji v hladnem delu leta, in sicer v tromesečju od januarja do marca. Primerljive rezultate korelacije dobijo tudi za temperature vodotokov. Zaključita, da obstaja statistično značilna korelacija z indeksom NAO v Avstriji tako za temperaturo zraka kot tudi za temperaturo vode.

Tudi v naši analizi smo pridobljene vrednosti indeksov oscilacije obravnavali ločeno po kvartalnih. Kot zimsko tromesečje smo vzeli mesece od januarja do marca, pomladni kvartal sestavljajo meseci od aprila do junija, poletnega meseci od julija do septembra ter jesenskega meseci od oktobra do decembra. Meteorološko gledano v Sloveniji veljajo za zimske sicer meseci december, januar in februar, vendar smo se zaradi lažje obravnave

ter skladnosti z drugimi raziskavami korelacije z indeksi oscilacije poslužili omenjene delitve leta na kvartale.

V preglednici 7 predstavljamo rezultate analize, ki smo jih pridobili s pomočjo programskega paketa MINITAB, kjer smo izračunali koeficiente korelacije za vsakega izmed kvartalov in korelacijo z letnim povprečjem z indekse NAO in MO. Leva preglednica prikazuje vrednosti Pearsonovega koeficienta korelacije med temperaturo vodotokov ter indeksi oscilacije. Statistično značilni rezultati so poudarjeni.

Korelacija indeksov NAO in MO je izrazitejša za temperaturo zraka. Rezultat je pričakovan, tudi glede na že omenjeno razliko v kvaliteti podatkov temperature zraka in vode. Prav tako je analiza temperature vodotokov po letnih časih pokazala, da so spremembe pri temperaturi vode v zimskih mesecih najmanj izrazite. Indeksi korelacije med temperaturo vode in indeksi oscilacije so v veliki večini statistično neznačilni. Največ statistično značilnih korelacij smo dobili za korelacijo z indeksom NAO, in sicer za mesece od julija do septembra. V primerjavi z indeksom MO je bilo nekaj rezultatov statistično značilnih za pomladne mesece od aprila do junija.

Temperatura zraka z indeksi oscilacije najbolje korelira v zimskih mesecih. Korelacijski indeksi so za obdobje od januarja do marca na več postajah statistično značilni in pozitivni. To pomeni, da so z manjšo aktivnostjo sredozemske ciklogeneze oz. s prevladujočim anticiklonalnim vremenom povezane višje temperature zraka v zimskih mesecih.

Preglednica 7: Koeficienti korelacije med temperaturo vode in indeksi oscilacije (zgoraj) ter koeficienti korelacije med temperaturo zraka in indeksi oscilacije (spodaj).

Korelacija s temperaturo vode		Koeficient korelacije														
		MOI1				MOI2				NAO						
		J-M	A-J	J-S	O-D	LETO	J-M	A-J	J-S	O-D	LETO	J-M	A-J	J-S	O-D	LETO
Šifra	Vodometna postaja	J-M	A-J	J-S	O-D	LETO	J-M	A-J	J-S	O-D	LETO	J-M	A-J	J-S	O-D	LETO
1220	LEDAVA, POLANA	-0,105	0,314	0,007	0,009	0,216	-0,012	0,302	0,053	0,112	0,224	-0,064	-0,16	-0,431	0	-0,192
3420	SAVA, RADOVLJICA	0,048	0,159	0,115	0,206	0,151	0,052	0,2	0,153	-0,15	0,092	0,149	-0,091	-0,126	-0,223	-0,174
3570	SAVA, ŠENTJAKOB	0,099	0,057	0,11	0,282	0,102	0,029	0,053	0,174	-0,053	0,076	0,192	-0,103	-0,355	0,07	-0,108
3650	SAVA, LITJIA	0,064	0,025	-0,081	0,302	0,022	0,149	0,166	-0,126	-0,183	0,045	0,122	-0,051	-0,411	-0,178	-0,137
4200	SORA, SUHA	-0,003	0,158	-0,066	0,215	0,193	0,09	0,335	-0,04	-0,009	0,166	0,098	0,067	-0,266	-0,142	0,016
4860	KOLPA, METLIKA	0,006	-0,031	0,067	-0,132	0,16	-0,019	0,047	-0,18	-0,067	0,138	0,016	0,059	-0,253	0,119	-0,001
4970	LAHINJA, GRADAC	-0,187	0,148	0,229	0,353	0,009	-0,093	0,324	0,241	-0,006	0,031	-0,053	0,061	-0,043	-0,181	0,078
6060	SAVINJA, NAZARJE	-0,147	0,095	0,149	0,182	0,017	-0,123	0,114	0,202	-0,194	0,025	-0,057	-0,187	-0,378	-0,309	-0,236
6200	SAVINJA, LAŠKO	-0,002	0,075	0,092	0,146	0,24	0,07	0,139	0,146	-0,245	0,171	0,035	-0,148	-0,38	-0,192	
6550	BOLSKA, DOLENJA VAS	0,063	-0,088	-0,227	0,409	0,098	0,078	0,024	-0,131	-0,054	0,049	0,161	0,004	-0,128	-0,305	0,029
6630	LOŽNICA, LEVEC	-0,016	0,21	-0,155	0,238	0,052	0,099	0,246	-0,074	-0,064	0,134	0,163	-0,19	-0,244	-0,203	-0,184
7160	KRKA, PODBOČJE	-0,007	0,11	0,103	-0,105	0,05	0,076	0,21	0,137	-0,149	0,092	0,012	-0,161	-0,225	-0,188	-0,129
8180	SOČA, SOLKAN	-0,161	0,033	0,039	0,288	0,229	-0,067	-0,035	0,094	-0,136	0,141	-0,085	-0,095	-0,033	-0,255	-0,006
8450	IDRIČA, HOTEŠK	-0,024	0,32	-0,004	0,148	0,217	0,036	0,364	-0,019	-0,22	0,119	-0,052	0,041	-0,076	-0,238	-0,012
8500	BAČA, BAČA	0,013	0,208	0,143	0,275	0,086	0,033	0,22	0,038	-0,272	-0,052	0,085	-0,15	-0,389	-0,204	-0,267
8600	VIPAVA, MIREN	-0,053	0,255	0,175	0,291	0,107	0,097	0,264	0,194	-0,11	0,055	0,133	0,08	-0,227	-0,143	0,142
Korelacija s temperaturo zraka		Koeficient korelacije														
		MOI1				MOI2				NAO						
		J-M	A-J	J-S	O-D	LETO	J-M	A-J	J-S	O-D	LETO	J-M	A-J	J-S	O-D	LETO
Referenčna vodometna postaja	Meteorološke postaje	J-M	A-J	J-S	O-D <td>LETO</td> <td>J-M</td> <td>A-J</td> <td>J-S</td> <td>O-D <td>LETO</td> <td>J-M</td> <td>A-J</td> <td>J-S</td> <td>O-D <td>LETO</td> </td></td>	LETO	J-M	A-J	J-S	O-D <td>LETO</td> <td>J-M</td> <td>A-J</td> <td>J-S</td> <td>O-D <td>LETO</td> </td>	LETO	J-M	A-J	J-S	O-D <td>LETO</td>	LETO
LEDAVA, POLANA	Murska Sobota	0,314	0,079	0,041	0,248	0,232	0,346	0,121	0,093	-0,182	0,197	0,36	-0,045	-0,282	-0,256	0,005
SAVA, RADOVLJICA	Lesce	-0,005	-0,024	-0,118	-0,328	0,258	0,073	-0,073	-0,151	-0,056	0,238	0,029	-0,093	-0,267	0,002	-0,011
SAVA, ŠENTJAKOB	Ljubljana Bežigrad	0,335	0,161	0,079	0,248	0,238	0,352	0,165	0,109	-0,209	0,188	0,339	-0,05	-0,308	-0,265	-0,05
SAVA, LITJIA	Sevno, Ljubljana, Celje	0,29	0,143	0,076	0,267	0,282	0,317	0,189	0,125	-0,175	0,219	0,318	-0,04	0,301	-0,229	-0,011
SORA, SUHA	Lesce, Brnik, Ljubljana	0,311	0,156	0,161	0,249	0,286	0,338	0,16	0,181	-0,181	0,249	0,349	-0,034	-0,274	-0,223	0,034
KOLPA, METLIKA, LAHINJA GRADAC	Črnomelj	0,287	0,066	0,052	0,234	0,126	0,314	0,103	0,07	-0,133	0,031	0,276	-0,204	-0,2	-0,221	-0,151
SAVINJA, NAZARJE	Celje, Velenje, Ljubljana	0,319	0,151	0,112	0,272	0,23	0,337	0,191	0,151	-0,137	0,176	0,334	-0,051	-0,282	0,204	-0,01
SAVINJA, LAŠKO; LOŽNICA LEVEC	Celje	0,259	0,133	0,064	0,271	0,208	0,286	0,2	0,125	-0,157	0,188	0,3	-0,028	-0,28	-0,22	0,005
BOLSKA, DOLENJA VAS	Celje, Velenje	0,319	0,151	0,112	0,272	0,23	0,337	0,191	0,151	-0,137	0,176	0,334	-0,049	-0,282	-0,204	-0,01
KRKA, PODBOČJE	Novo mesto	0,322	0,129	0,101	0,266	0,271	0,338	0,157	0,134	-0,159	0,218	0,335	-0,058	-0,342	-0,229	-0,011
SOČA, SOLKAN; VIPAVA MIREN	Bilje	-0,009	0,225	0,06	0,193	0,139	0,061	0,257	0,081	-0,207	0,136	0,107	-0,03	-0,321	-0,193	-0,072
IDRIČA, HOTEŠK	Bilje, Slap, Ljubljana	0,22	0,198	0,074	0,255	0,224	0,26	0,206	0,101	-0,179	0,194	0,286	-0,035	-0,306	-0,208	-0,012
BAČA, BAČA	Bilje, Slap	0,106	0,216	0,085	0,228	0,171	0,151	0,22	0,103	-0,192	0,144	0,208	-0,043	-0,328	-0,181	-0,066

7 ZAKLJUČEK

Temperatura vode površinskih voda je v veliki meri odvisna od temperature zraka. V skladu s trendi globalnega segrevanja zemeljskega ozračja pričakujemo trend segrevanja površinskih voda. Analiza povprečnih temperatur vode za daljše časovno obdobje potrjuje to predpostavko.

V okviru diplomske naloge smo analizirali obstoječe podatke o temperaturi vode vodotokov v Sloveniji. To je prva obširna analiza s podatki o temperaturi vode v Sloveniji. Poznavanje obravnavanih podatkov je ključnega pomena za nadaljnjo analizo, zato smo preverjali kakovost podatkov s pregledom dnevnih vrednosti temperature vodotokov za izbrano obravnavano obdobje 40 let. Pri pregledu smo ugotovili, pri katerih postajah so med podatki opazni skoki, osamelci in druge neskladnosti v obravnavanih nizih podatkov. Že pred začetkom analize podatkov smo lahko predvideli, na katerih postajah rezultati analize po vsej verjetnosti ne bodo reprezentativni. Pregled podatkov je bil naš predpogoj za nadaljnje delo, na ARSO pa lahko v prihodnje naše izsledke preverijo in po potrebi odpravijo napake.

V fazi opisne analize smo podatke prikazali na grafih, kjer smo s pomočjo trendnih črt dobili prve dokaze o rasti povprečne letne temperature vode obravnavanih vodotokov v Sloveniji. S pomočjo glajenih krivulj smo ugotovili, da je rast temperature vode na večini obravnavanih postaj najbolj očitna v obdobju zadnjih 20–30 let.

Zbrane podatke smo v nadaljevanju analizirali z uporabo statističnih testov. Po načelu dobre prakse pri analizi hidroloških podatkov smo se odločili za uporabo Mann-Kendallovega statističnega testa ter kot primerjalni test uporabili enostaven test linearne regresije. 16 od analiziranih 21 vodomernih postaj je ob stopnji tveganja $\alpha = 0,05$ izkazala stopnjo značilnosti naraščajočega trenda višjo od 99 %. Postaje, ki ne izkazujejo statistično značilnega trenda, smo omenili že pri pregledu obravnavanih podatkovnih nizov in predvideli nereprezentativne rezultate postaj na Kamniški Bistrici, Ljubljani, Prečni ter reki Reki.

Rezultat analize trendov temperature vode vodotokov po letnih časih je pokazal zaskrbljujočo rast temperature vode v poletnih mesecih, ko so življenjske razmere v vodotokih zaradi višje temperature vode in nizkih pretokov lahko kritične. Na kar 12 postajah je rast povprečne poletne temperature vodotoka višja od 0,6 °C na desetletje, kar v zadnjih 40 letih pomeni dvig povprečne temperature za več kot 2 °C.

Na temperaturo vode v vodotokih v veliki meri vplivajo vremenske razmere, ki jih najlažje opišemo s temperaturo zraka. Izbranim vodomernim postajam smo poiskali prostorsko primerljive meteorološke postaje s podatki o temperaturi zraka. Preverili smo Pearsonov koeficient korelacije med temperaturo vode in zraka. Rezultati korelacije so kljub težavam z različno kakovostjo obravnavanih podatkov zadovoljivi. Statistično značilno korelacijo izkazuje 12 od 16 obravnavanih postaj. Sklepamo, da pri slovenskih vodotokih obstaja korelacija med temperaturo vodotokov ter temperaturo zraka.

Temperatura vodotokov se ne spreminja le časovno, temveč tudi prostorsko. Preverili smo, kako se spreminja povprečna temperatura vode dolvodno proti iztoku za reki Savo in Savinjo. Ugotovili smo, da je nihanje povprečnih letnih temperatur pri obeh obravnavanih rekah najmanjše na prvi postaji, ki je najbližje izviru, kjer imajo na temperaturo vode v vodotoku zunanji dejavniki najmanjši vpliv. Kot je bilo pričakovano, se povprečna temperatura vode na obeh obravnavanih vodotokih proti izlivu povečuje.

Za analize v diplomskem delu smo se omejili na 40-letni časovni niz podatkov o temperaturah vode, da smo pridobili večji vzorec obravnavanih postaj. Temperatura vode se je v Sloveniji pričela sistematično beležiti leta 1953. Za nekaj obravnavanih postaj smo preverili, kako se trendi rasti temperature vode spremenijo, če obravnavamo daljši časovni niz podatkov. Ugotovili smo, da se zmanjšajo, kar je še dodaten dokaz, da so se največje spremembe pri temperaturi vode v vodotokih dogajale v zadnjih desetletjih. Prav tako smo ugotovili, da grafični prikazi daljših časovnih nizov podatkov bolje prikažejo spreminjanje povprečne temperature vode skozi daljše časovno obdobje. Prikaz glajenih krivulj podaja iztočnico za analizo lomov trendov temperaturnih podatkov, ki bi podala odgovore na vprašanja, katera leta so bila v nizih podatkov tista, ki so botrovala največjim spremembam temperature vode slovenskih vodotokov.

Indeksi klimatskih modelov na večjih ravneh so zelo pomembni za razumevanje vremena na določenem območju, zaradi njih lahko bolje razumemo fizikalne značilnosti sistema klimatskih spremenljivk. Indeks NAO je eden najvplivnejših indeksov klimatskih modelov na severni polobli, obstaja pa še drugi, ki deluje na manjših območjih. Za podnebje v Sredozemlju je najpomembnejši regionalni vzorec v polju zračnega tlaka sredozemska oscilacija ter z njo povezan indeks MOI. Dokazano lahko indekse oscilacije uspešno povežemo s parametri, kot so temperatura zraka, količina padavin in temperatura vodotokov (Sušelj in Bergant, 2005; Webb in Nobilis, 2007). V diplomskem delu smo preverjali, ali obstaja povezava s temperaturo vode na izbranih vodomernih postajah v Sloveniji in indeksi NAOI ter MOI. Rezultati so pokazali slabo ujemanje. Indeksi

korelacije med temperaturo vode in indeksi oscilacije so v veliki večini statistično neznačilni. Največ statistično značilnih korelacij smo dobili za korelacijo z indeksom NAO, in sicer za mesece od julija do septembra. Primerjava s temperaturo zraka je podala boljše rezultate koeficientov korelacije, kar je bilo pričakovano glede na boljšo kvaliteto nizov podatkov o temperaturi zraka. Temperatura zraka z indeksi oscilacije najbolje korelira v zimskih mesecih. Korelacijski indeksi so za obdobje od januarja do marca na več postajah statistično značilni in pozitivni. To pomeni, da so z manjšo aktivnostjo sredozemske ciklogeneze oz. s prevladujočim anticiklonalnim vremenom povezane višje temperature zraka v zimskih mesecih.

Za ohranjanje ravnovesja med gospodarskim izkoriščanjem vodotokov, zaščito pred naravnimi nesrečami in zagotavljanjem primernega življenjskega okolja za širok spekter vodnih organizmov je ključnega pomena poznavanje temperaturnih razmer v naših vodotokih. Zbiranje in beleženje kakovostnih podatkov o temperaturi vode je prvi korak proti temu cilju. V okviru nadgradnje hidrološkega monitoringa si ARSO prizadeva zagotoviti zvezno beleženje temperature vode na hidroloških postajah po Sloveniji (Kobold, 2015). Zvezni podatki o temperaturi vode bodo v prihodnje boljše izhodišče za nadaljnje analize, saj bi bila lahko na podlagi podatkov izdelana analiza temperaturnih režimov slovenskih rek.

V zadnjih letih je še posebej aktualna analiza odvisnosti temperature vode od temperature zraka glede na dokazano korelacijo med obema spremenljivkama. Poznavanje te odvisnosti omogoča napovedi temperature vodotoka v pogojih povišane temperature zraka in oceno morebitnih vplivov na ekosisteme v vodotokih in posredno na gospodarsko izkoriščanje vodotokov. V prihodnje je torej na voljo še nekaj analiz, katerih rezultati bi pripomogli k poznavanju temperaturnih razmer slovenskih vodotokov. Poznavanje le-teh je ključnega pomena, da se na pričakovane spremembe lahko pripravimo ter omilimo posledice očitnega višanja temperature slovenskih vodotokov.

VIRI

Alabaster, J. D. in Lloyd, R. 1980. *Water Quality Criteria for Freshwater Fish*. Butterworths: 361 str.

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.

ARSO. 2015.

http://www.arso.gov.si/vode/podatki/amp/H21_g_1.html (Pridobljeno 26. 1. 2015.)

Bat, M., ... [et al.]. 2008. 60 let slovenske meteorološke in hidrološke službe. Ljubljana, MOP, Agencija RS za okolje.

Bates, B.C., Kundzewicz, Z.W., Wu, S., Palutikof, J.P., ... [et al.]. 2008. *Climate Change and Water*. Technical Paper of the Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC Secretariat, Geneva: 210 str.

Caissie, D. 2006. The thermal regime of rivers: a review. *Freshwater Biology*, 51: 1389–1406.

Caissie, D., El-Jabi, N. in St-Hilaire, A. 1998. Stochastic modelling of water temperature in a small stream using air to water relations. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 25: 250–260.

Cegnar, T., Dolinar, M., Frantar, P., Vertačnik, G., ... [et al.]. Cegnar, T., ur. 2010. *Okolje se spreminja: Podnebna spremenljivost Slovenije in njen vpliv na vodno okolje*, Ministrstvo za okolje in prostor, Agencija Republike Slovenije za okolje, Ljubljana: 162 str.

Cleveland, W. 1979. Robust locally weighted regression and smoothing scatterplots. *Journal of the American Statistical Association*, 74: 829-836.

Conte M., Giuffrida, A., Tedesco, S. 1989. The Mediterranean Oscillation. Impacts on Precipitation and Hydrology in Italy. *Proceedings on Conference on Climate and Water*, 1: 121-137.

Cowx, I. G. 2000. Potential impact of groundwater augmentation of river flows on fisheries: a case study from the River Ouse, Yorkshire, England. *Fisheries Management and Ecology*, 7: 85–96.

Criado-Aldeanueva, F., Soto-Navarro, F. J. 2013. The Mediterranean Oscillation Teleconnection Index: Station-Based versus Principal Component Paradigms. *Advances in Meteorology*. Hindawi Publishing Corporation, Article ID 738501.

Crisp, D. T. 1996. Environmental requirements of common riverine European salmonid fish species in fresh water with particular reference to physical and chemical aspects. *Hydrobiologia*, 323: 201–221.

Dünkeloh, A., Jacobeit, J. 2003. Circulation Dynamics of Mediterranean Precipitation Variability 1948-1998. *International Journal of Climatology*, 23: 1843-1866.

Eaton, G. J., Scheller, R. M. 1996. Effects of climate warming on fish thermal habitat in stream of the United States, *Limnology and Oceanography*, 41 (5): 1109-1115.

Esterby, S. R. 1996. Review of methods for the detection and estimation of trends with emphasis on water quality applications. *Hydrological Processes*, 10: 127-149.

Fazarinc, R. 2002. Solčava, Luče, Ljubno, Nazarje, Mozirje – bodo kdaj varna pred naraslo Savinjo? *Slovenski vodar*, (12): 11–14.

Frantar, P., ... [et al.]. 2014. Program hidrološkega monitoringa površinskih voda za leto 2014. Ministrstvo za kmetijstvo in okolje, Agencija RS za okolje.

Hari, R. E., Livingstone, D. M., Siber, R., Burkhard-Holm, P., Guetinger, H. 2006. Consequences of climatic change for water temperature and brown trout populations in Alpine rivers and streams. *Global Change Biology*, 12: 10–26.

Hirsch, R. M., Slack, J. R. 1984. A Nonparametric Trend Test for Seasonal Data With Serial Dependence. *Water Resources Research* 20(6): 727-732.

Hurrell, J. W., Kushnir, Y., Visbeck, M. in Ottersen, G. 2003. The North Atlantic Oscillation:

Climate Significance and Environmental Impacts, vol 134, poglavje: An Overview of the North Atlantic Oscillation. *Geophysical Monograph Series*.

Jurko, M. 2009. Statistična analiza značilnih pretokov slovenskih rek. Diplomsko delo. Ljubljana. UL, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Študij vodarstva in komunalnega inženirstva (samozaložba M. Jurko): 72 str.

Khaled, H. 2008. Trend detection in hydrologic data: The Mann-Kendall trend test under the scaling hypothesis. *Journal of Hydrology*, 349: 350-362.

Khaliq, M. N., Ouarda, T. B. M. J., Gachon, P., Sushama, L., St-Hilaire, A. 2009. Identification of hydrological trends in the presence of serial and cross correlations: A review of selected methods and their application to annual flow regimes of Canadian rivers. *Journal of Hydrology*, 368: 117-130.

Kobold, M. ur. 2010. Hidrološki letopis Slovenije 2007, Razvoj na področju hidrološkega monitoringa. Ministrstvo za okolje in prostor, Agencija RS za okolje.

Kobold M., Frantar, P., Dolinar M. 2011. Vpliv padavin na pretočni režim Slovenije. V Volfand, J. ur. *Upravljanje voda v Sloveniji = Water management in Slovenia*. Ljubljana: 66 str.

Kobold, M. 2015. Temperaturni podatki vodotokov v Sloveniji. Osebna komunikacija. (26. 1. 2015.)

Košmelj, K. 2007. *Uporabna statistika*. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta: 239 str.

Kudzewicz, Z.W., Robson, A. 2000. Detecting trend and other changes in hydrological data. Geneva, WMO: 168 str.

Kudzewicz, Z.W., Robson, A. 2004. Change detection in hydrological records – a review of the methodology. *Hydrological Sciences Journal*, 49: 7-19.

Lorenzo-Lacruz, J., Vicente-Serrano, S. M., Lopez-Moreno, J. L., Gonzalez-Hidalgo, J. C. in Moran-Tejeda, E. 2011. The response of Iberian rivers to the North Atlantic Oscillation. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 15: 2581–2597.

Makor, S. 2014. Hidrološki režim vodotoka in analiza trenda. Seminarska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba S. Makor): 73 str.

Matul, N. 2013 Vpliv podnebnih sprememb na trende temperature slovenskih rek. Seminarska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba N. Matul): 55. str.

Marshall, J., Y. Kushnir, D. Battisti, P. Chang, A. Czaja, R. Dickson, J. Hurrell, M. McCartney, R. Saravanan & M. Visbeck. 2001. North atlantic Climate Variability: Phenomena, Impacts and Mechanisms. *International Journal of Climatology*, 21: 1863-1898.

Medved, V. 2012. Nekateri testi za odkrivanje trendov in prelomnih točk na klimatskih podatkih za Slovenijo. Diplomski naloga, Univerza v Mariboru, Fakulteta za kmetijstvo in biosistemske vede (samozaložba V. Medved): 46 str.

Mezek, A. 2013. Raziskava o potočni postrvi na Savi Bohinjki. Ribiška družina Bled: 18 str.

Mohseni, O., Stefan, H. G. 1999. Stream temperature/air temperature relationship: a physical interpretation. *Journal of Hydrology* 218: 128–141.

Nacionalni center Združenih držav za raziskovanje vremena. 2014.
<http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/CWlink/pna/norm.nao.monthly.b5001.curent.ascii.table> (Pridobljeno 27. 10. 2014.)

Neave, H. R. 1995. *Statistic tables for mathematicians, engineers, economists and the behavioural and management sciences*. London : Routledge: 88 str.

NOAA Climate. 2014.
http://www.climatewatch.noaa.gov/wp-content/uploads/2010/03/NAO_Schematic.png.
(Pridobljeno 16. 10. 2014.)

Ozaki, N., Fukushima, T., Harasawa, H., Kojiri, T., Kawashima, K., Ono, M. 2003. Statistical analyses on the effects of air temperature fluctuations on river water qualities. *Hydrological Processes*, 17: 2837-2853.

Radziejewski, M., Bardossy, A. in Kundzewicz, Z. W. 2000. Detection of change in river flow using phase randomization. *Hydrol. Sci. Journal*, 45(4): 547-558.

Radziejewski, M., Kundzewicz, Z. W. 2004. Development, use and application of the hydrospect data analysis system for the detection of changes in hydrological time series for use in wcp-water and national hydrological services. Report WMO.

R Development Core Team. 2012. *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.

<http://www.R-project.org/>. (Pridobljeno 9. 11. 2014.)

Robinson, M., Boardman, J., Evans, R., Heppell, K., Packman, J. in Leeks, G. 2000. Land use change. *The hydrology of the UK: A Study of Change*: 30-54.

Samec, N. 2006. *Okoljsko inženirstvo. Študijsko gradivo za podiplomski študij tehniškega varstva okolja*. Maribor, Univerza v Mariboru, Fakulteta za strojništvo: 155 str.

Solomon, D. J. 2005. Anthropogenic Influences on the Temperature Regime in a Chalk River. Environment Agency Science Report: 48 str.

Stefan, H. G., Preud'homme, E. B. 1993. Stream temperature estimation from air temperature. Water Resour. Bull., 29: 27-45.

Stefan, H. G., Sinokrot, B. A. 1993. Projected global climate change impact on water temperatures in five north central U.S. streams. Clim. Change, 24: 353-381.

Supić, N., Grbec, B., Vilibić, I. in Ivančić, I. 2004. Long-term changes in hydrographic conditions in northern Adriatic and its relationship to hydrological and atmospheric processes. Annales Geophysicae, 22: 733-745.

Sušelj, K., Bergant, K., 2005. Sredozemski oscilacijski indeks in vpliv na podnebje Slovenije. Zbornik referatov s področja geodezije in geofizike.

Univerza Vzhodne Anglije, oddelek za raziskovanje podnebja (2014)
<http://www.cru.uea.ac.uk/cru/data/moi/> (Pridobljeno 27. 10. 2014.)

Venema, V. K. C., Mestre, O., Aguilar, E., Auer, I., Guijarro, J. A., Domonkos, P., Vertacnik, G., Szentimrey, T., Stepanek, P., Zahradnicek, P., Viarre, J., Müller-Westermeier, G., Lakatos, M., Williams, C. N., Menne, M. J., Lindau, R., Rasol, D., Rustemeier, E., Kolokythas, K., Marinova, T., Andresen, L., Acquotta, F., Fratianni, S., Cheval, S., Klancar, M., Brunetti, M., Gruber, C., Prohom Duran, M., Likso, T., Esteban, P., in Brandsma, T., 2012. Benchmarking homogenization algorithms for monthly data. Clim. Past, 8: 89–115.

Vertačnik, G. 2013. Kaj se dogaja z izmerki v procesu kontrole in homogenizacije. Strokovni posvet Podnebna spremenljivost Slovenije.
<http://meteo.arso.gov.si/uploads/probase/www/climate/text/sl/publications/Kaj%20se%20dogaja%20z%20izmerki%20v%20procesu%20kontrole%20in%20homogenizacije.pdf>
(Pridobljeno 12. 11. 2014.)

Vertačnik, G., Dolinar, M. in sod., Dolinar, M., ur. 2013. Podnebna spremenljivost Slovenije, Glavne značilnosti gibanja temperature zraka v obdobju 1961- 2011. Ljubljana: Ministrstvo za okolje in kmetijstvo, Agencija RS za okolje.
<http://meteo.arso.gov.si/uploads/probase/www/climate/text/sl/publications/PSS-Glavne-znacilnosti-gibanja-temperature-zraka-1961-2011.pdf> (Pridobljeno 3.9.2014)

Vodenik, B. 2001. Termodinamični režim reke. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba B. Vodenik): 66 str.

Vodenik, B., Robič, M., Kobold, M. 2008. Vpliv podnebnih sprememb na temperaturo površinskih voda. Strategija upravljanja z vodami v luči podnebnih sprememb. Zbornik 19. Mišičev vodarski dan: 32-41.

Webb, B. W. 1996. Trends in stream and river temperature. *Hydrological Processes*, 10: 205–226.

Webb, B. W., Nobilis, F. 2007. Long-term changes in river temperature and the influence of climatic and hydrological factors. *Hydrological Sciences*, 52(1): 74-85.

Webb, B. W. in Walsh, A. J. 2004. Changing UK river temperatures and their impact on fish populations. *Hydrology: Science and Practice for the 21st Century II*: 177–191.

Ostali viri

Brandt, C.J., Thornes, J.B. 1996. Mediterranean desertification and land use. John Wiley and Sons, London. 572 str.

Cegnar, T., Dolinar, M., Frantar, P., Kobold, M., ... [et al.]. Cegnar, T., ur. 2012. Okolje, v katerem živimo. Ljubljana: Ministrstvo za okolje in kmetijstvo, Agencija RS za okolje, Ljubljana. 111str.

Chiew, F. H. S., McMahon, T. A. 1993. Detection of trend or charge in annual flow of Australian rivers. *International Journal of Climatology* 13, 643–653.

Conlan, K., Lane, S., Ormerod, S., Wade, T. 2005. Preparing for Climate Change Impacts on

Freshwater Ecosystems (PRINCE). Environment Agency Science Report, 156 str.

Cooter, E. J. , Cooter, S. W. 1990. Impacts of greenhouse warming on water temperature and water quality in the southern United States. *Clim. Res.* 1(1), 1–12.

Edinger, J. E., D.W. Duttweiler, J. C. Geyer. 1968. The response of water temperatures to meteorological conditions, *Water Resources Research*, 4 (5), 1137–1143.

Frantar, P. 2012. Temperaturni režim slovenskih rek in spremembe med obdobji 1976-1990 ter 1991-2005. Okolje v katerem živimo. Ljubljana. Ministrstvo za kmetijstvo in okolje Agencija Republike Slovenije za okolje, 71–80.

Hammond, D., Pryce, A. R. 2007. Climate change impacts and water temperature. Science report. Environment agency.

Hirsch, R. M., Slack, J. R., Smith, R. A. 1982. Techniques of Trend Analysis for Monthly Water Quality Data. *Water Resources Research*, 18(1), 107–121.

Houghton, J. T., Ding, Y., Griggs, D.J., Noguer, M., Van der Linden, P. J., Xiaosu, D., ... [et al.]. 2001. *Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* Cambridge University Press, UK.

Hostetler, S. W. 1991. Analysis and modeling of long-term stream temperature on the Steamboat Creek basin, Oregon: Implications for land use and fish habitat, *Water Resour. Bull.*, 27(4), 637–647.

Hurrell, J. W. 1995. Decadal Trends in the North Atlantic Oscillation: Regional Temperatures and Precipitation. *Science*, 269, 676–679.

Mohseni, O., Stefan, H. G., Erickson, T. R. 1998. A nonlinear regression model for weekly stream temperatures. *Water resources research*, 34, 10, 2685–2692.

Morrill, J., Bales, R., and Conklin, M. 2005. Estimating Stream Temperature from Air Temperature: Implications for Future Water Quality. *J. Environ. Eng.*, 131(1), 139–146.

Palutikof, J.P. 2003. Analysis of Mediterranean climate data: measured and modelled. In: Bolle, H.J. (ed): *Mediterranean climate: Variability and trends*. Springer-Verlag, Berlin. 133–153.

Palutikof, J.P., Conte, M., Casimiro Mendes, J., Goodess, C.M., Espirito Santo, F. 1996. Climate and climate change. In *Mediterranean Climate-Variability and Trends*, Bolle HJ (ed.). Springer Verlag: Berlin; 133–153.

Pilgrim, J. M., Fang, X., Stefan, H. G. 1998. Stream temperature correlations with air temperatures in Minnesota: Implications for climate warming. *Journal of the American water association*, 34, 5, 1109–1121.

Pittock, A. B. 1980. Monitoring, casualty and uncertainty in a stratospheric context. *Pageoph*, 118, 643–660.

Šipek, V. 2013. The influence of large-scale climatic patterns on precipitation, temperature and discharge in Czech river basins. *J. Hydrol. Hydromech.*, 61, 4, 278–285.

Von Storch, H., Zwiers, F. W. 1999. *Statistical Analysis in Climatology*. Cambridge. Cambridge University Press, 495 str.

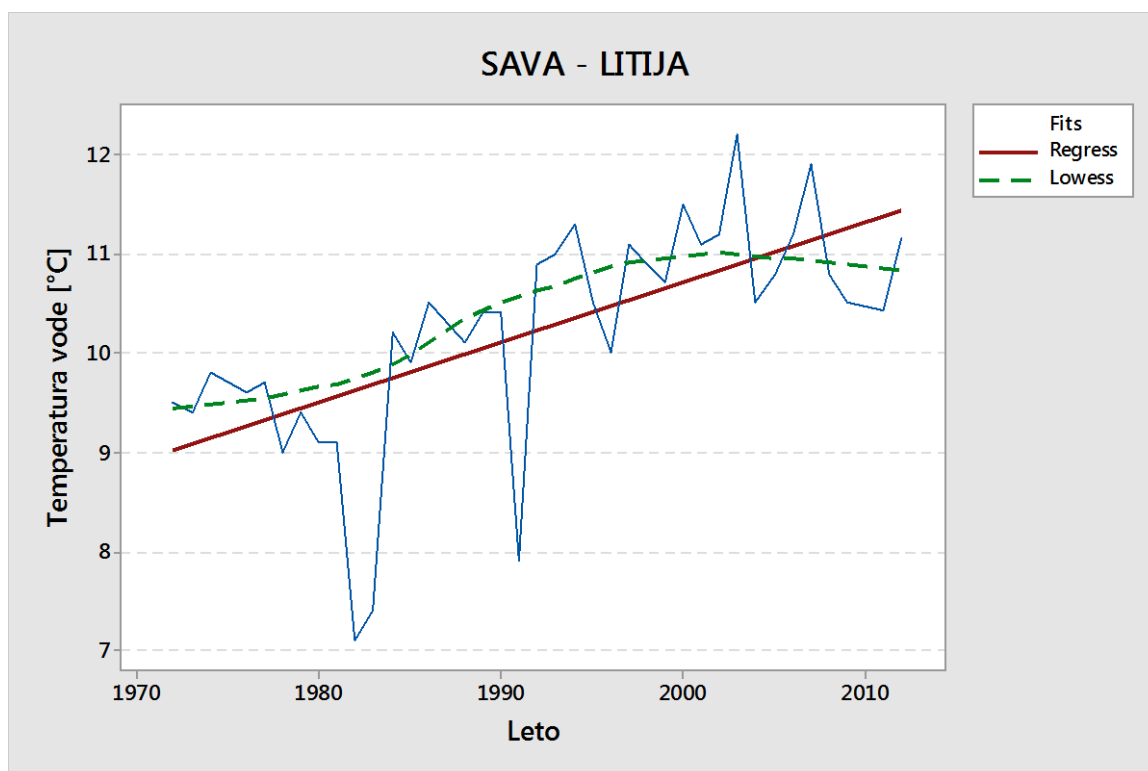
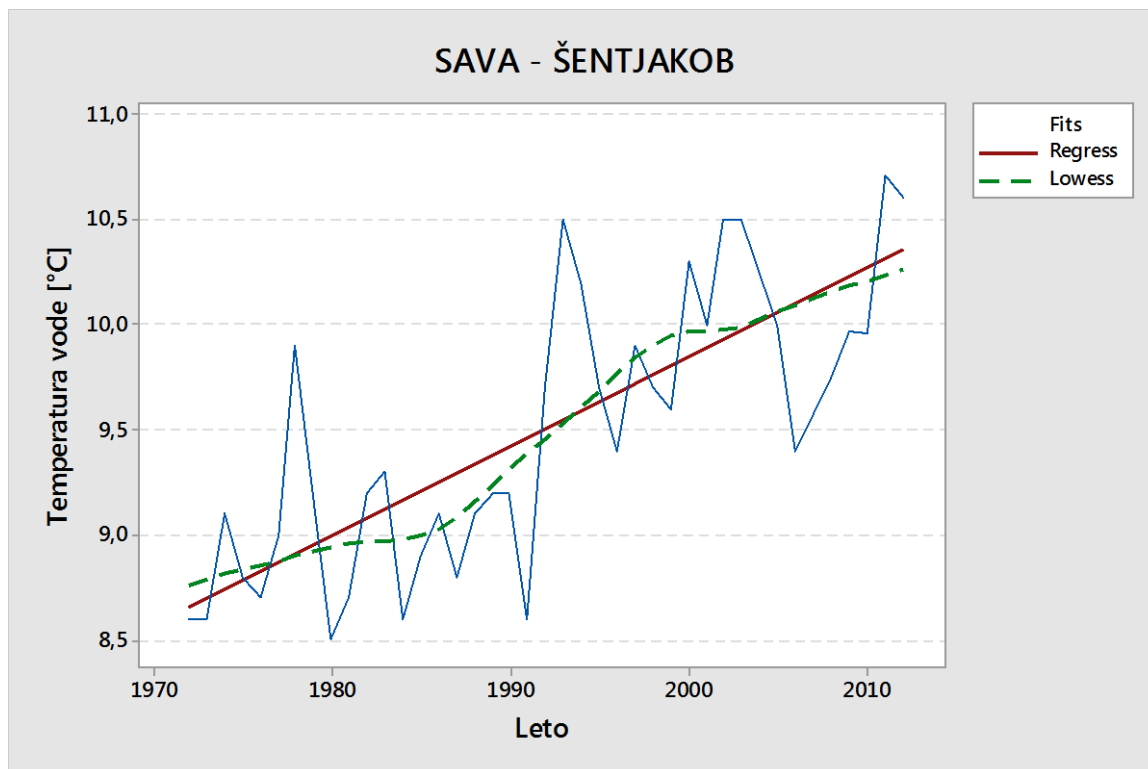
Wanner, H., S., Bronnimann, C., Casty, D., Gyalistras, J., Luterbacher, C., Schmutz, D. B., Stephenson, D. in: Zoplaki, E. 2002. North Atlantic Oscillation concepts and studies. *Surveys on Geophysics*, 22, 321–381.

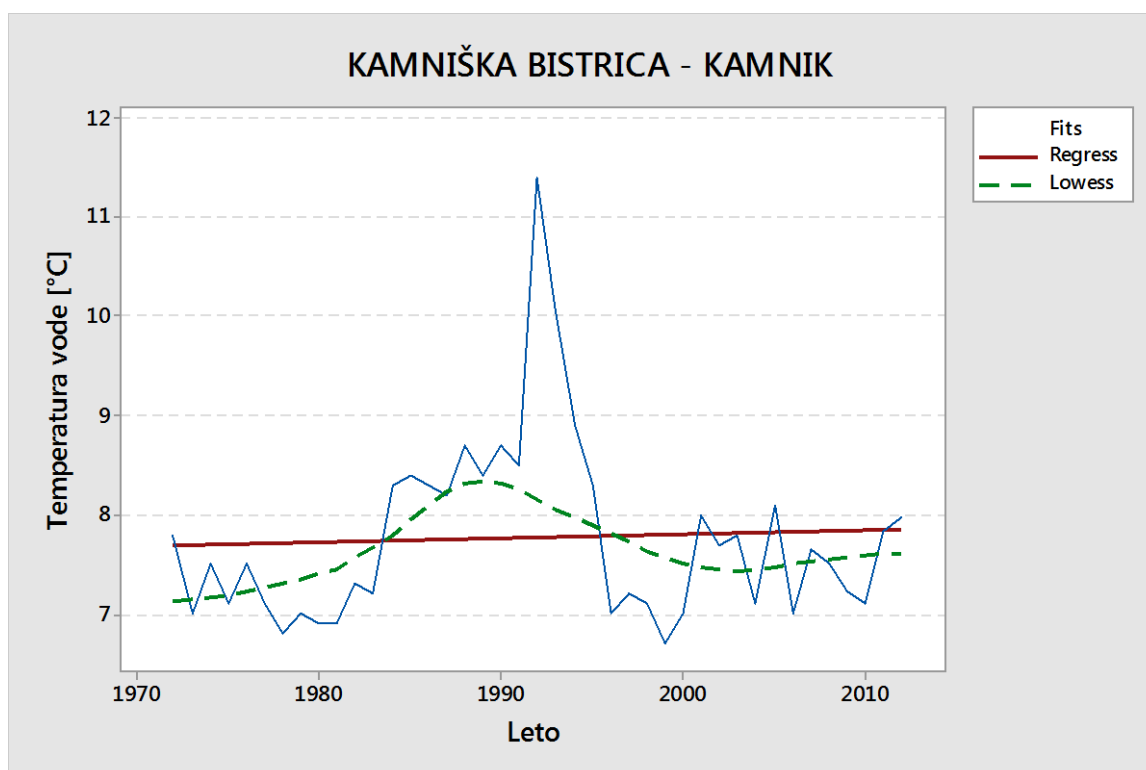
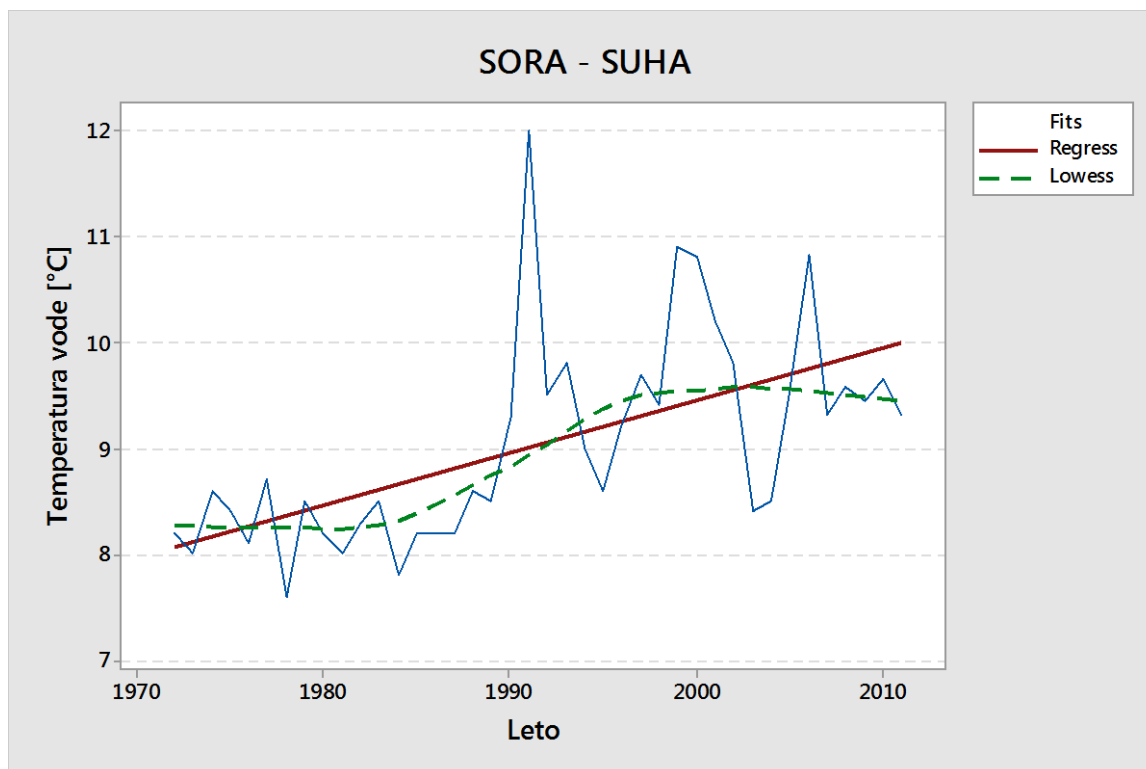
Ward, P. J. et al. 2014. Annual flood sensitivities to El Niño-Southern Oscillation. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 18, 47–66.

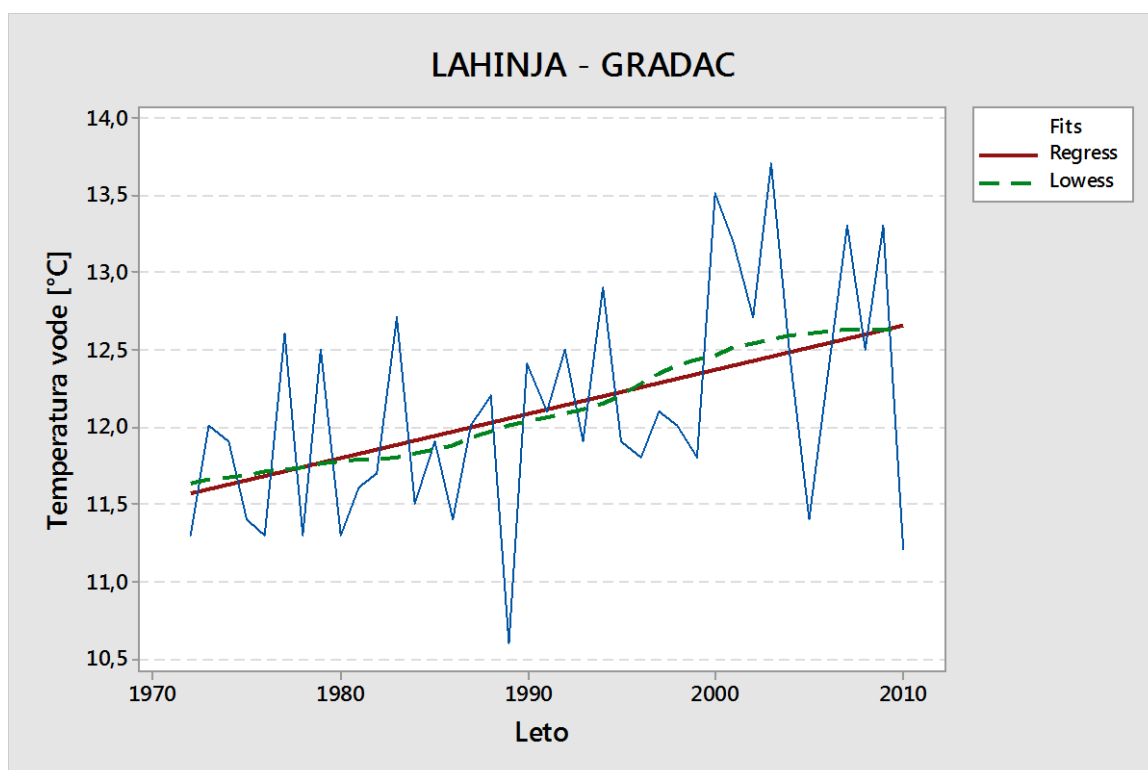
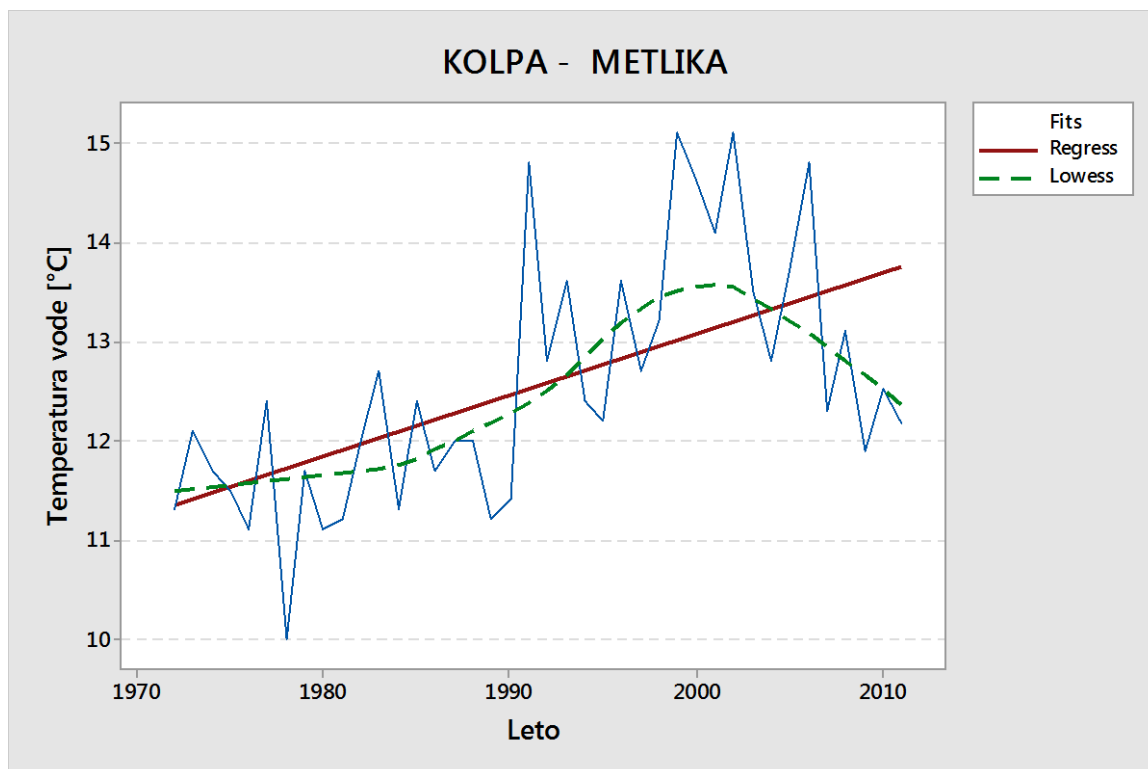
Watson, R. T., Zinyowera, M. C., Moss, R. H., ...[et al.]. 1999. *The Regional Impacts of Climate Change: An Assessment of Vulnerability*. A Special Report of IPCC Working group II. Cambridge University Press, UK.

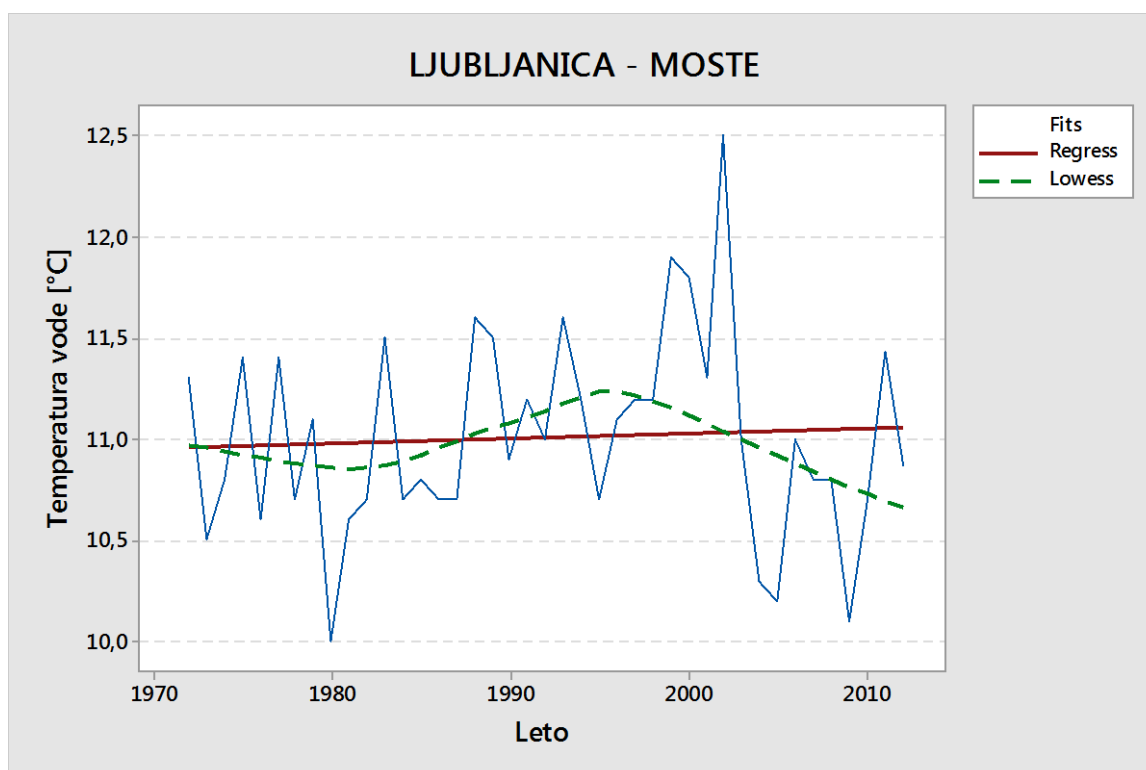
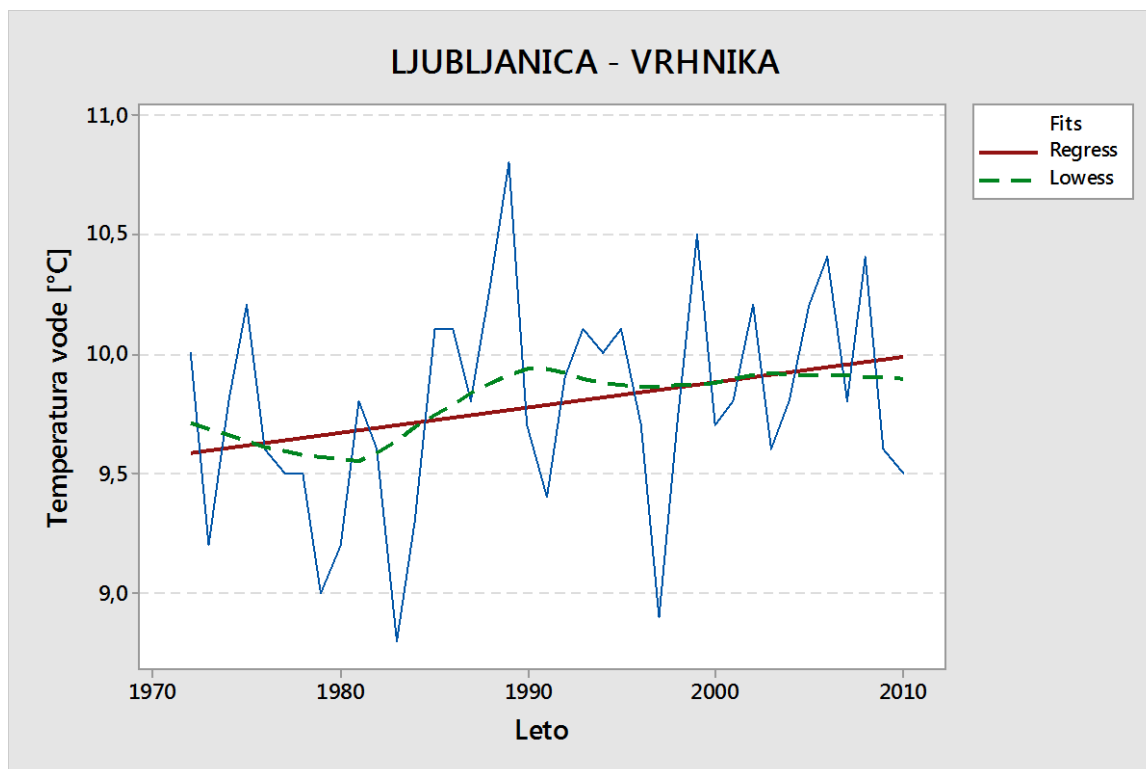
Webb, B. W., Nobilis, F. 1997. A long-term perspective on the nature of the air–water temperature relationship: a case study. *Hydrological Processes*, 11, 137–147.P

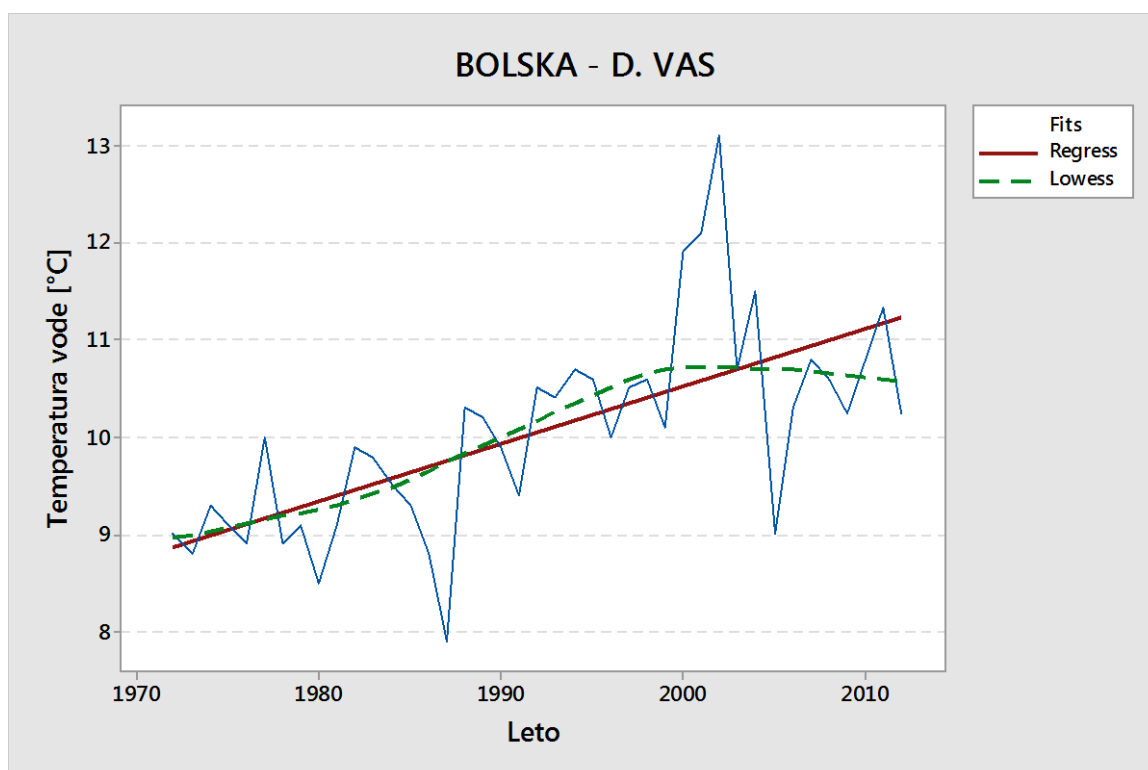
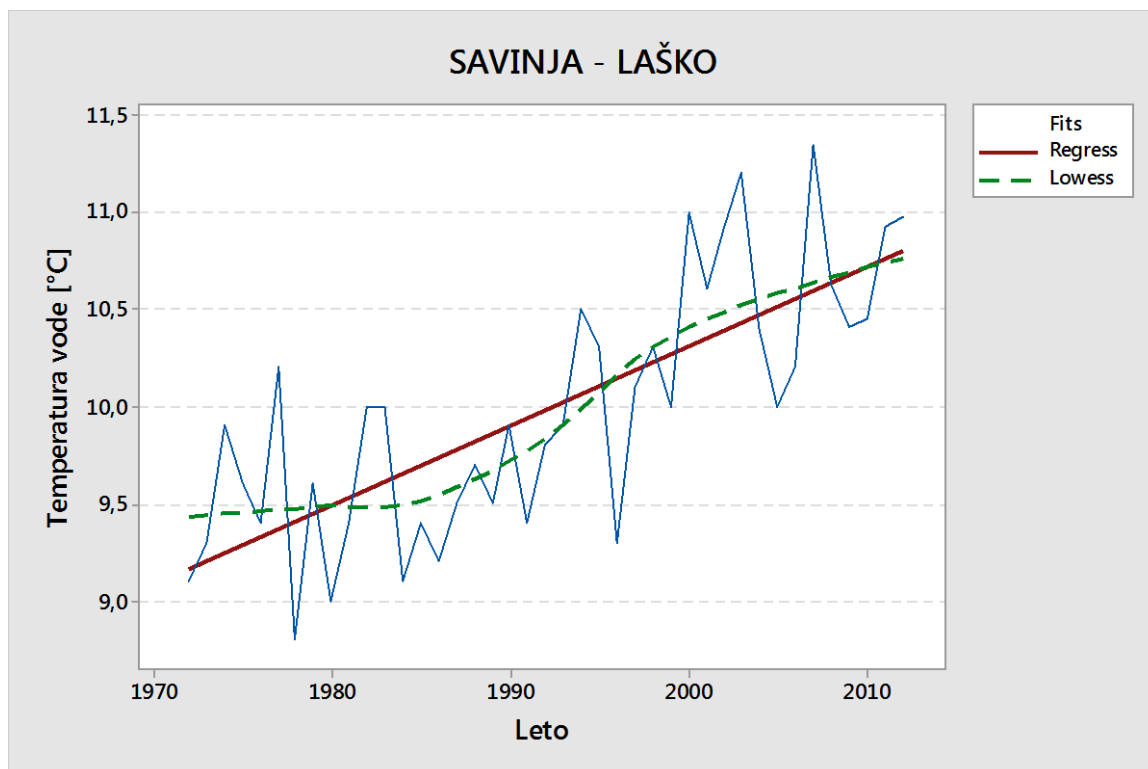
PRILOGA A: Grafi povprečne letne temperature vode s prikazom linearne trendne črte in glajene krivulje.

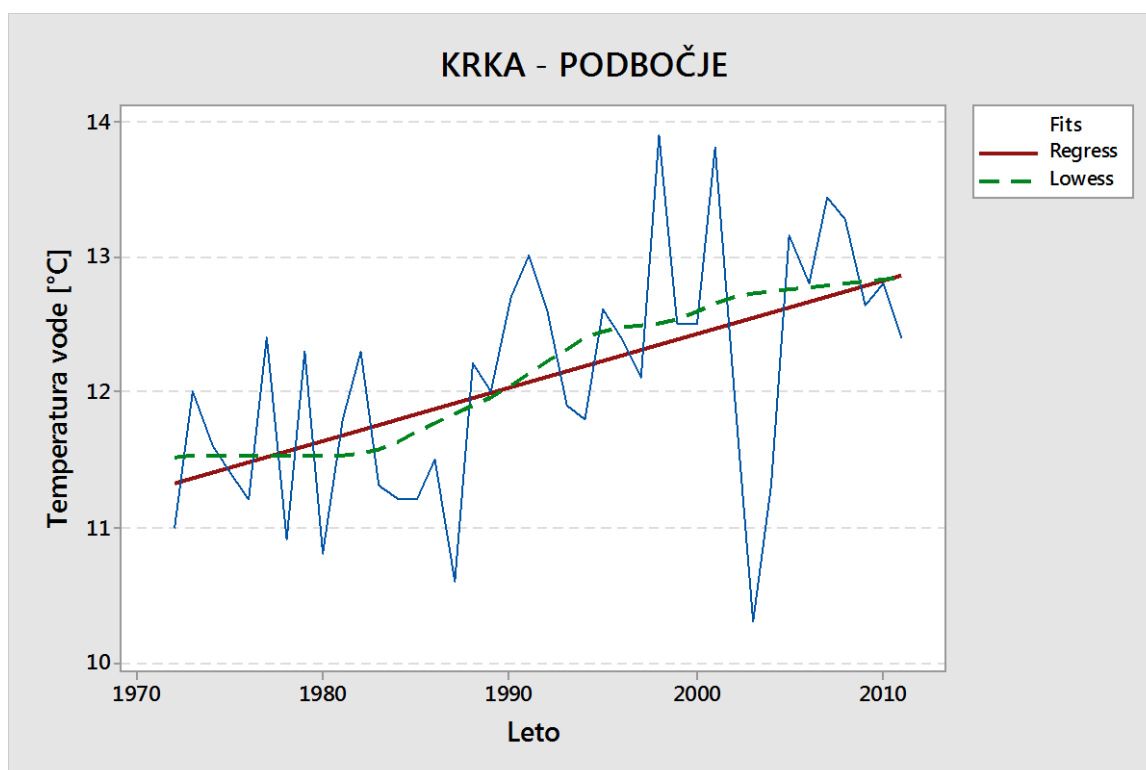
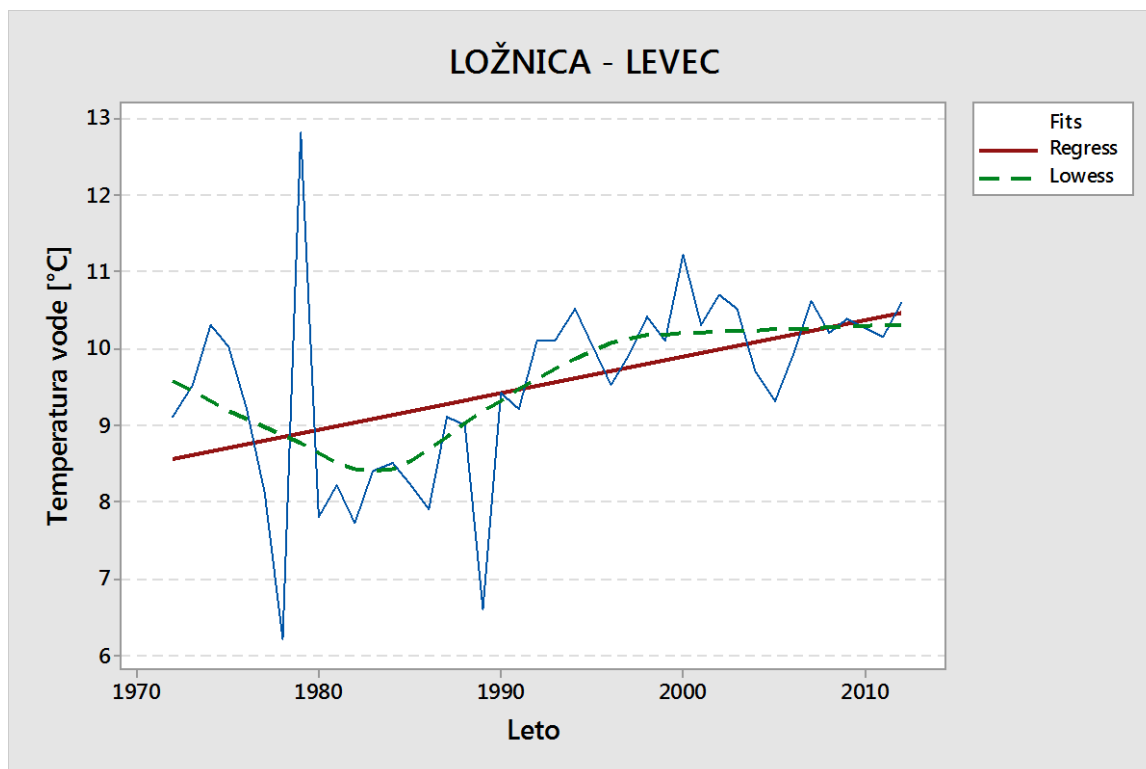


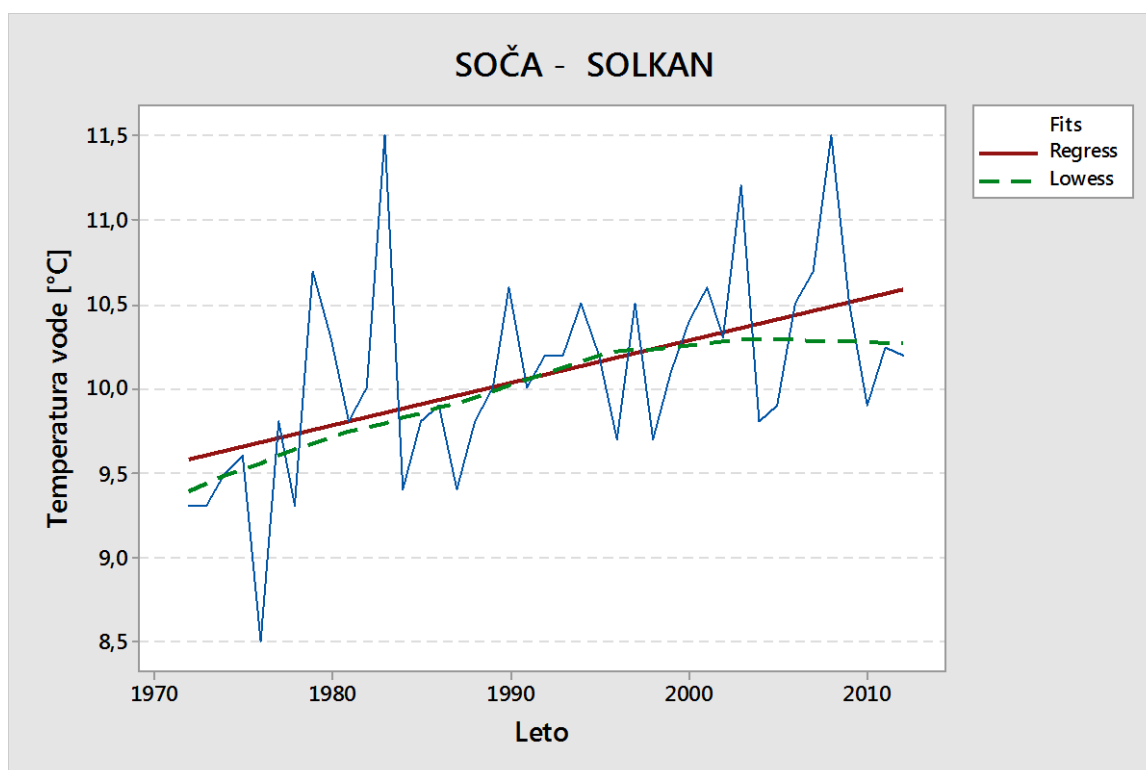
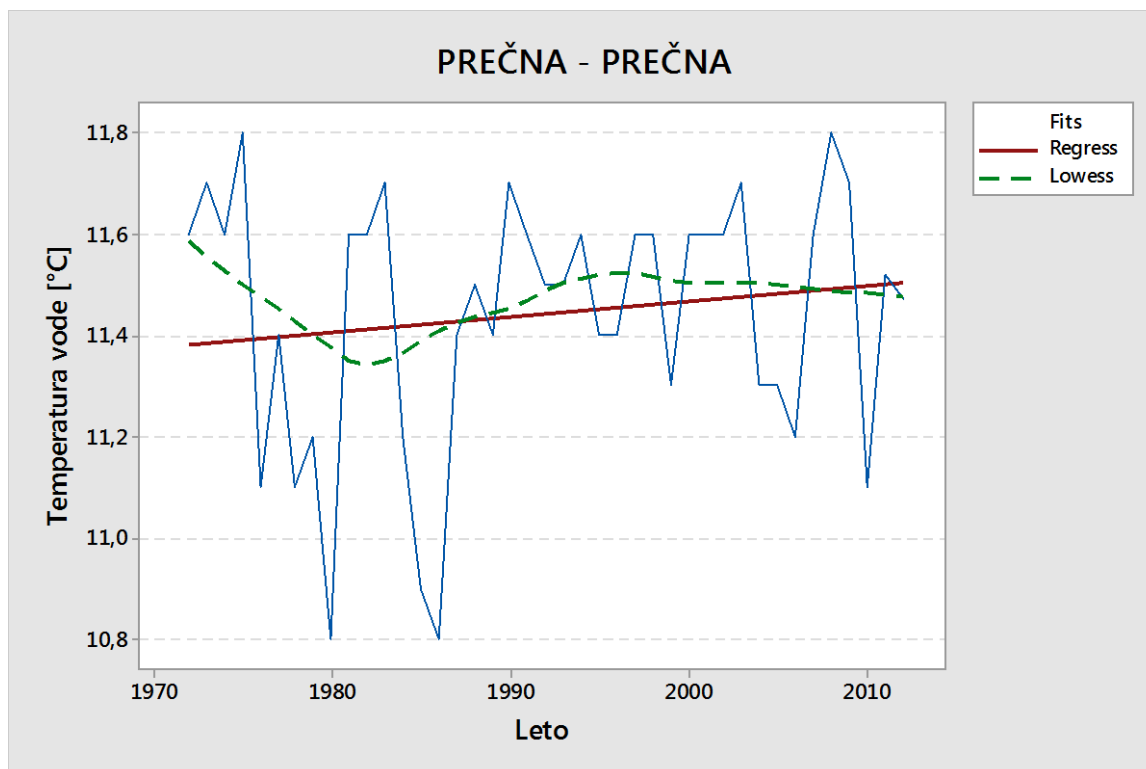


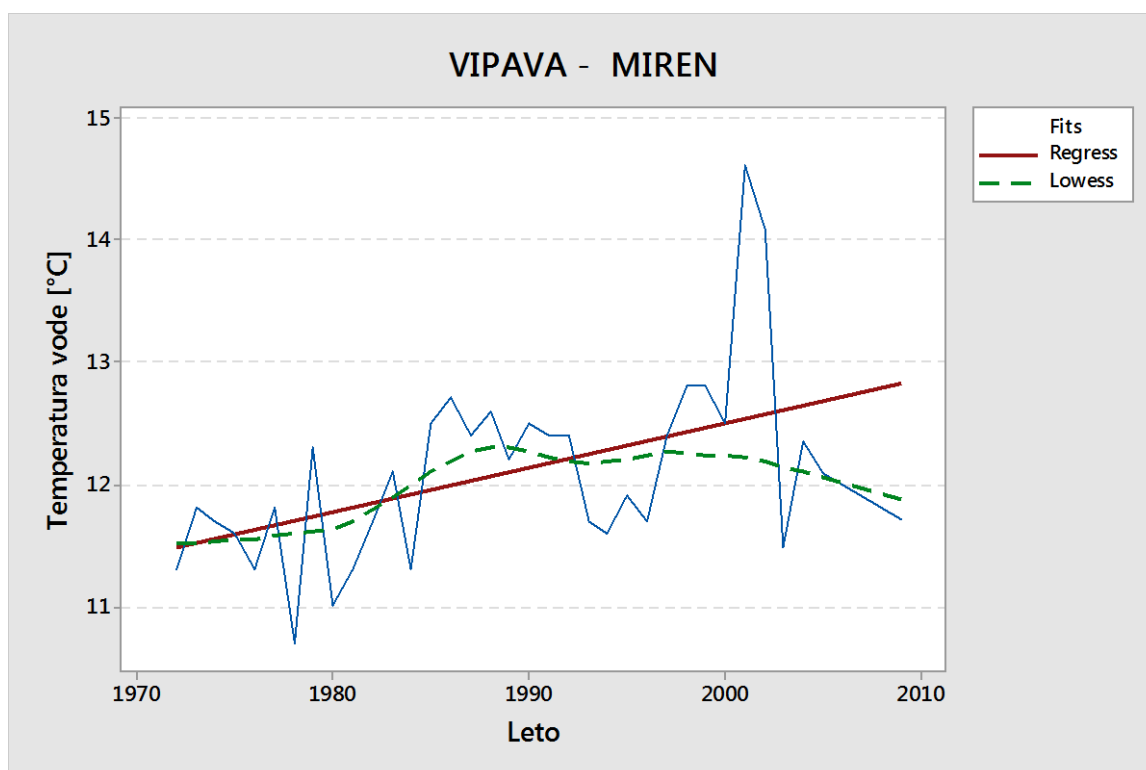
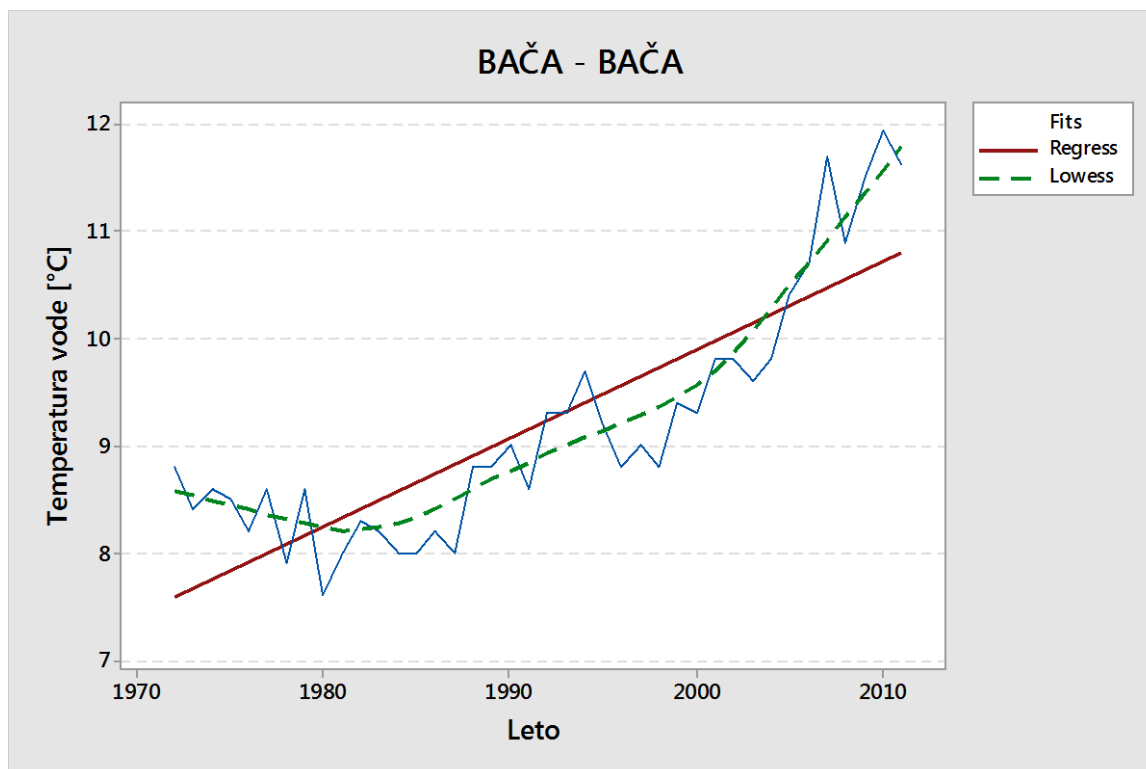


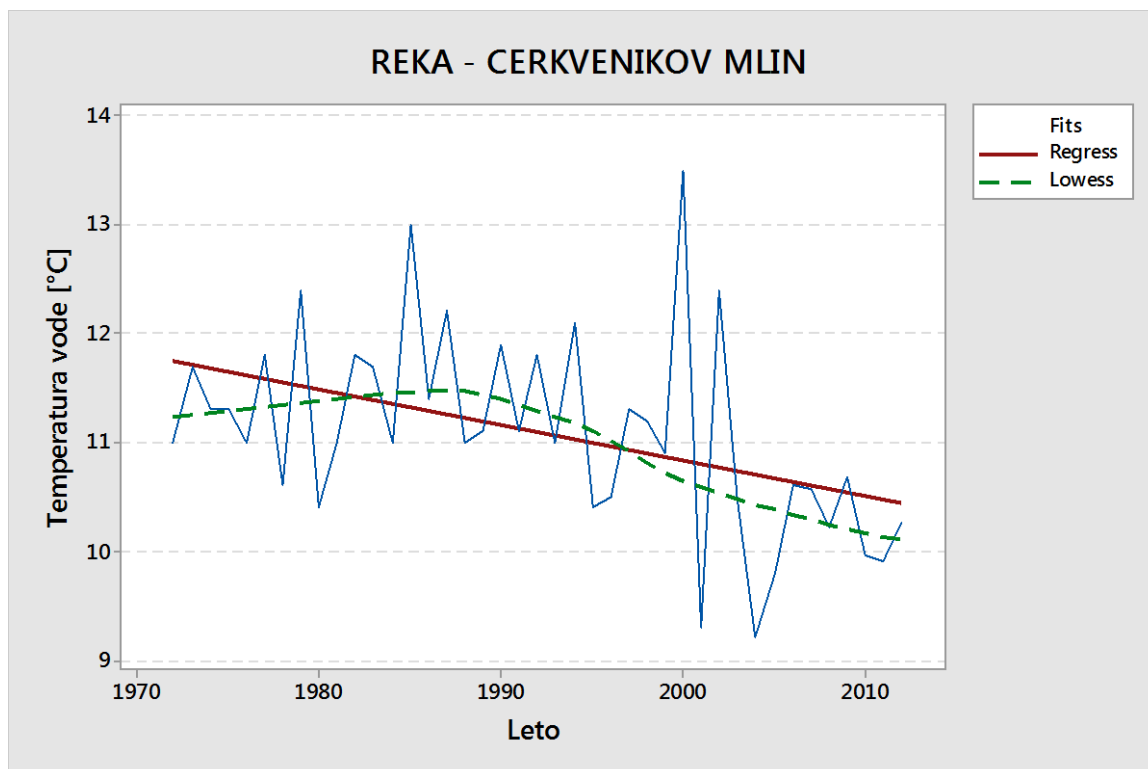






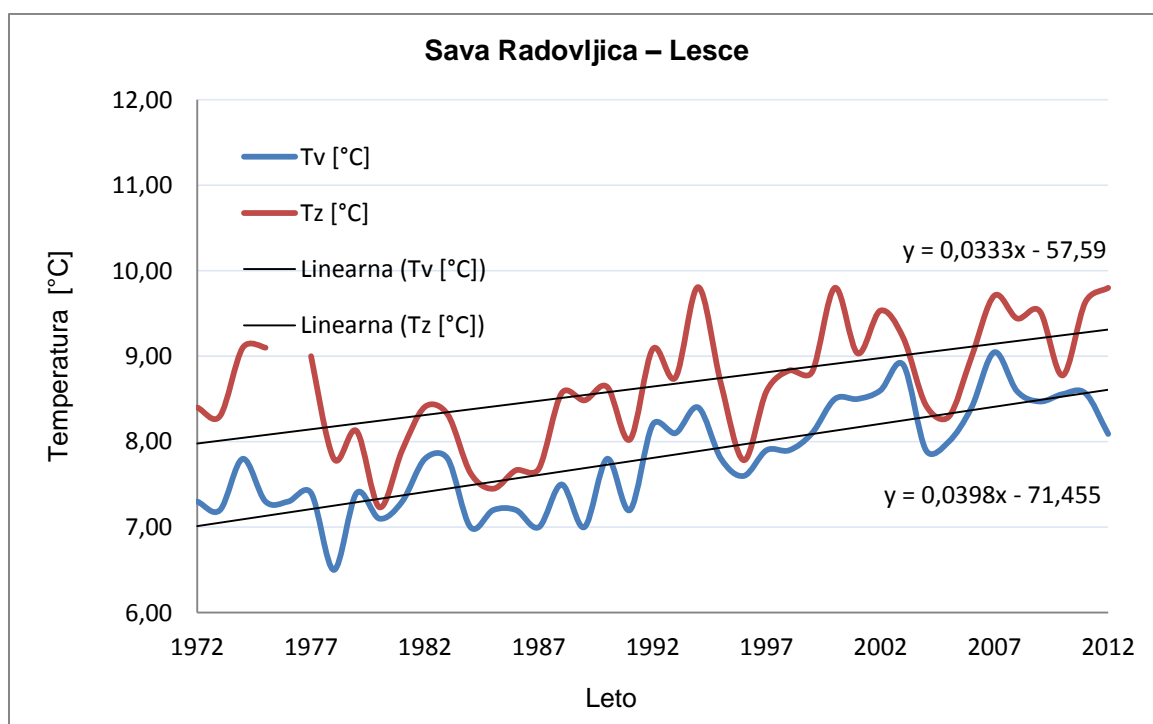
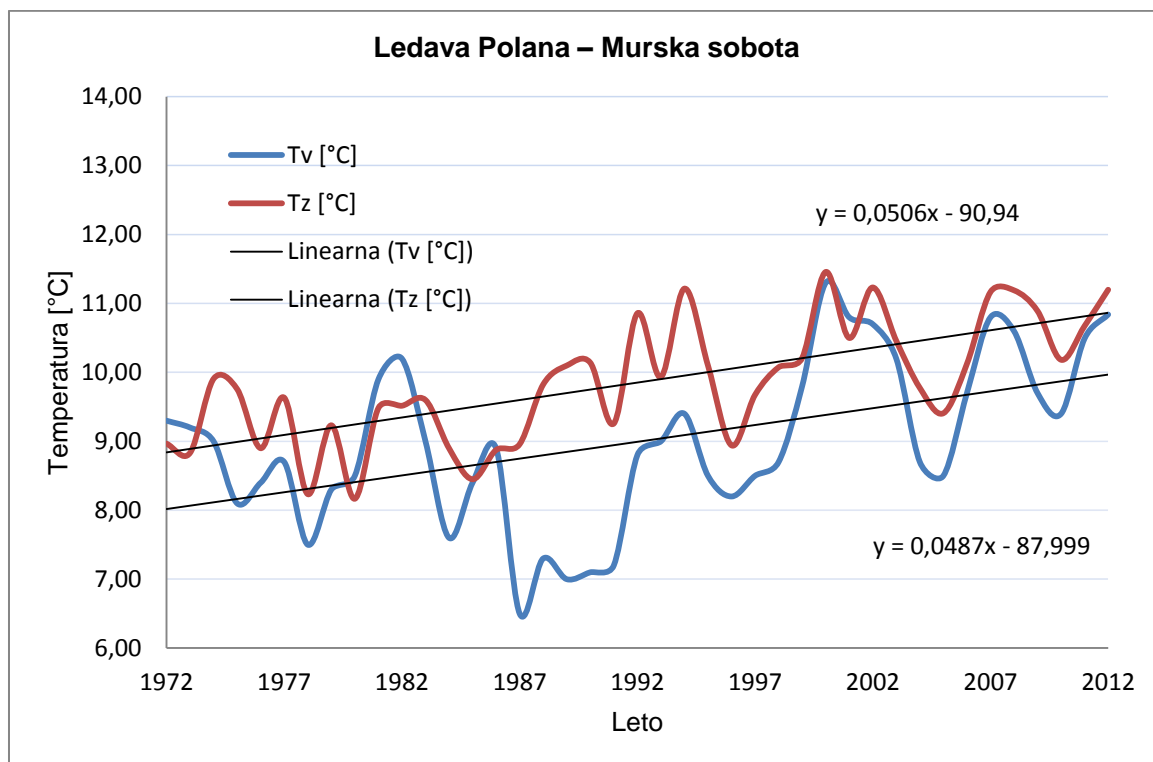


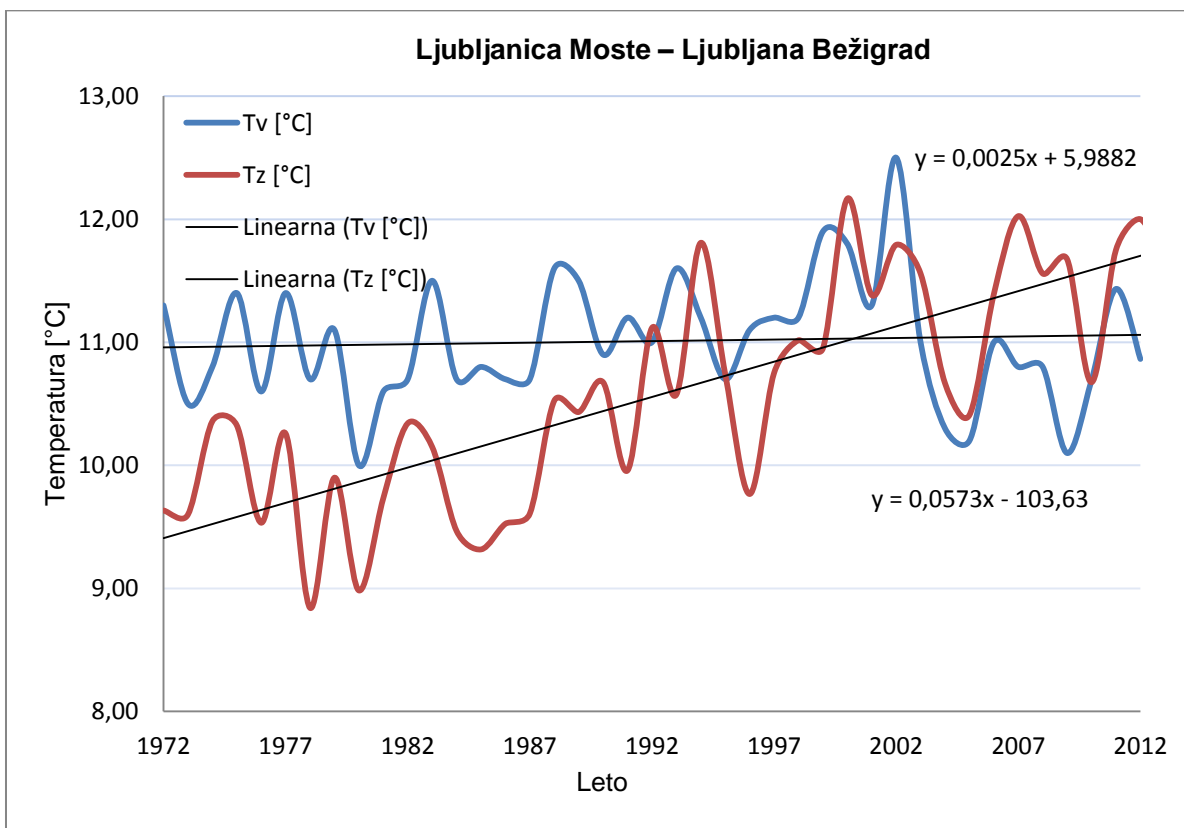
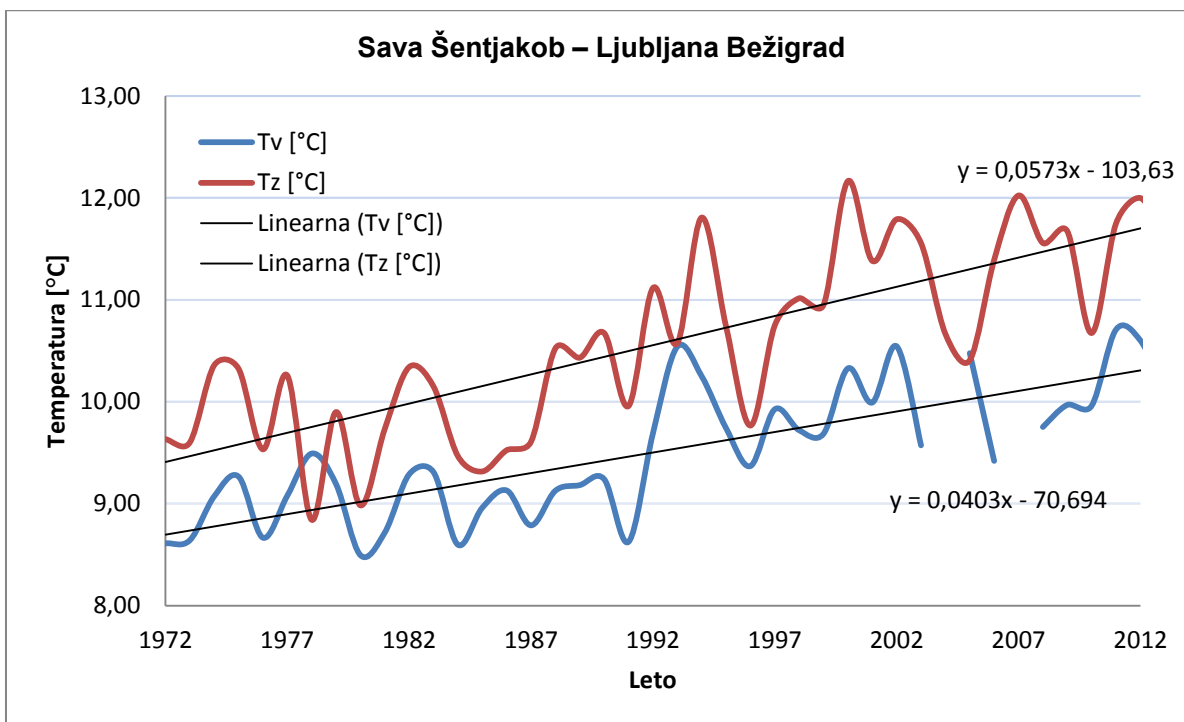


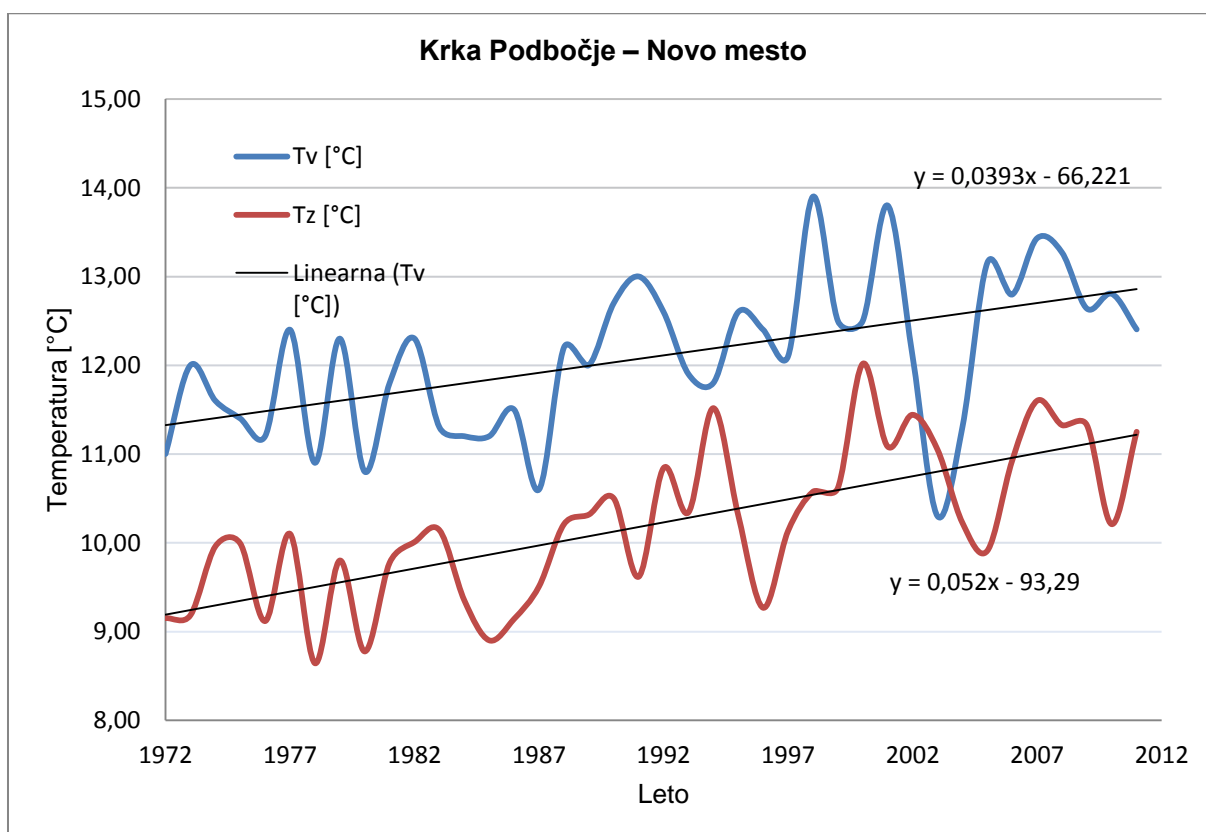
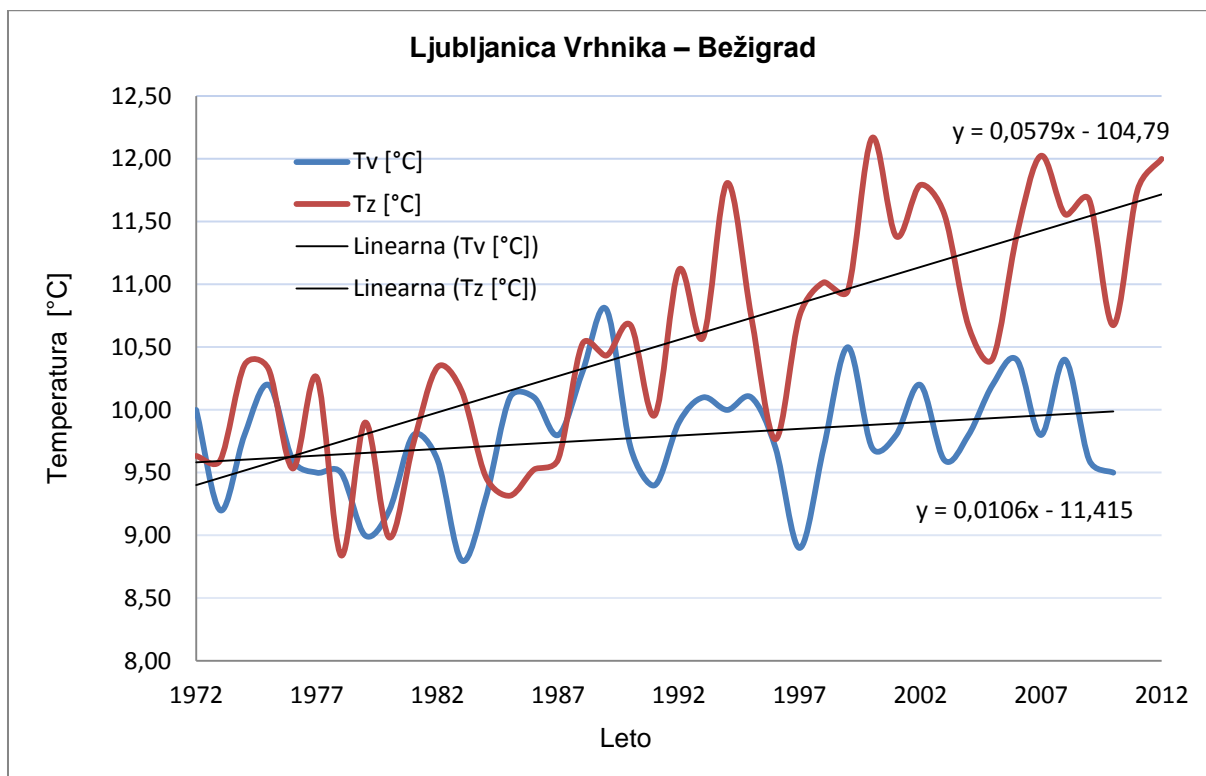


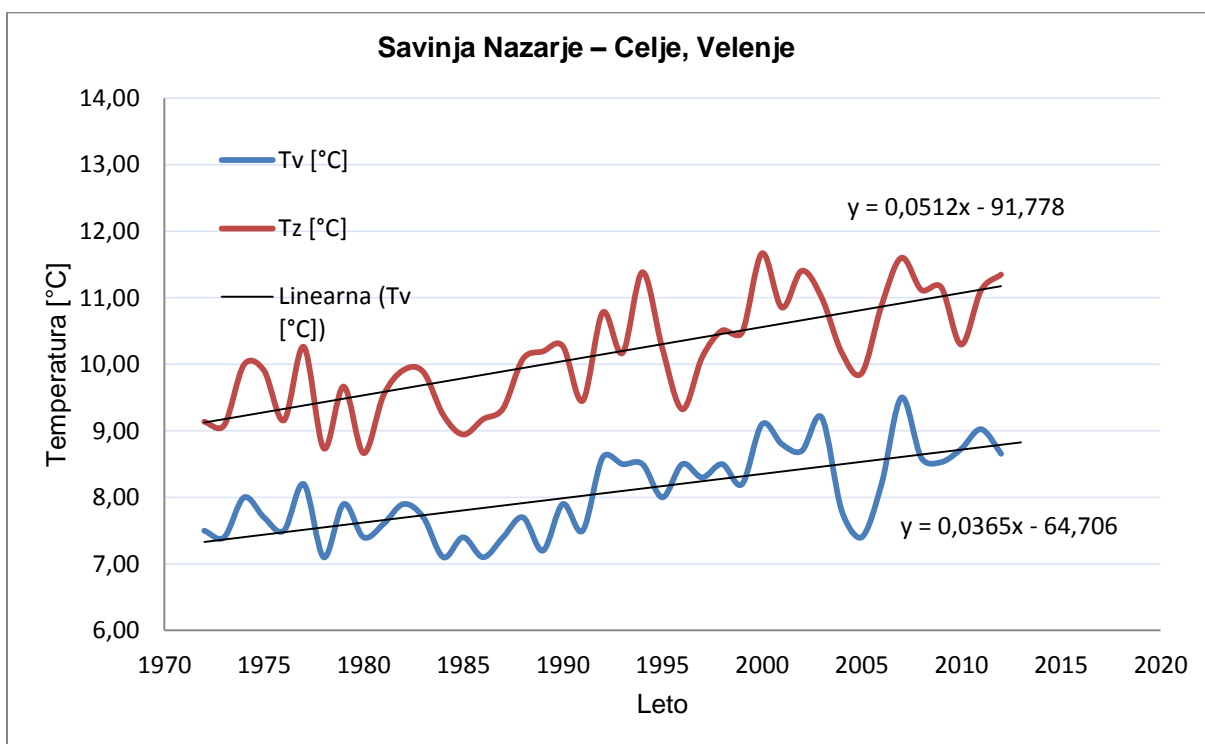
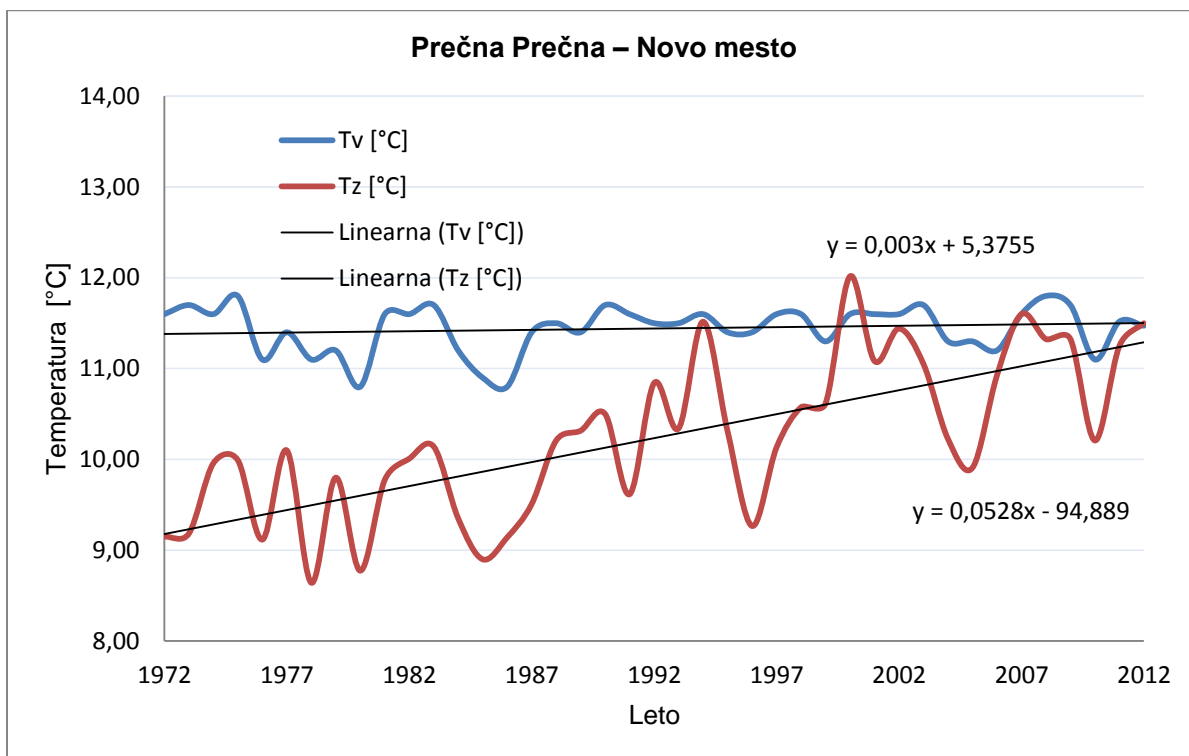
Ta stran je namenoma prazna.

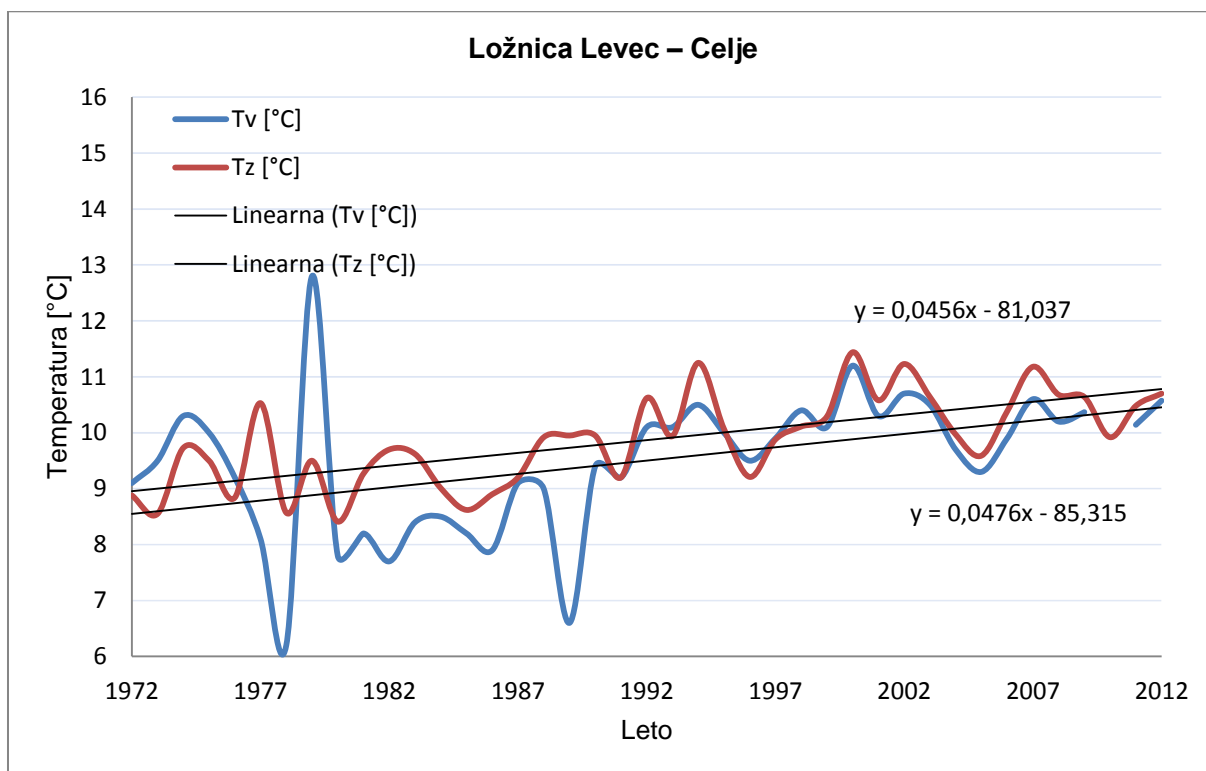
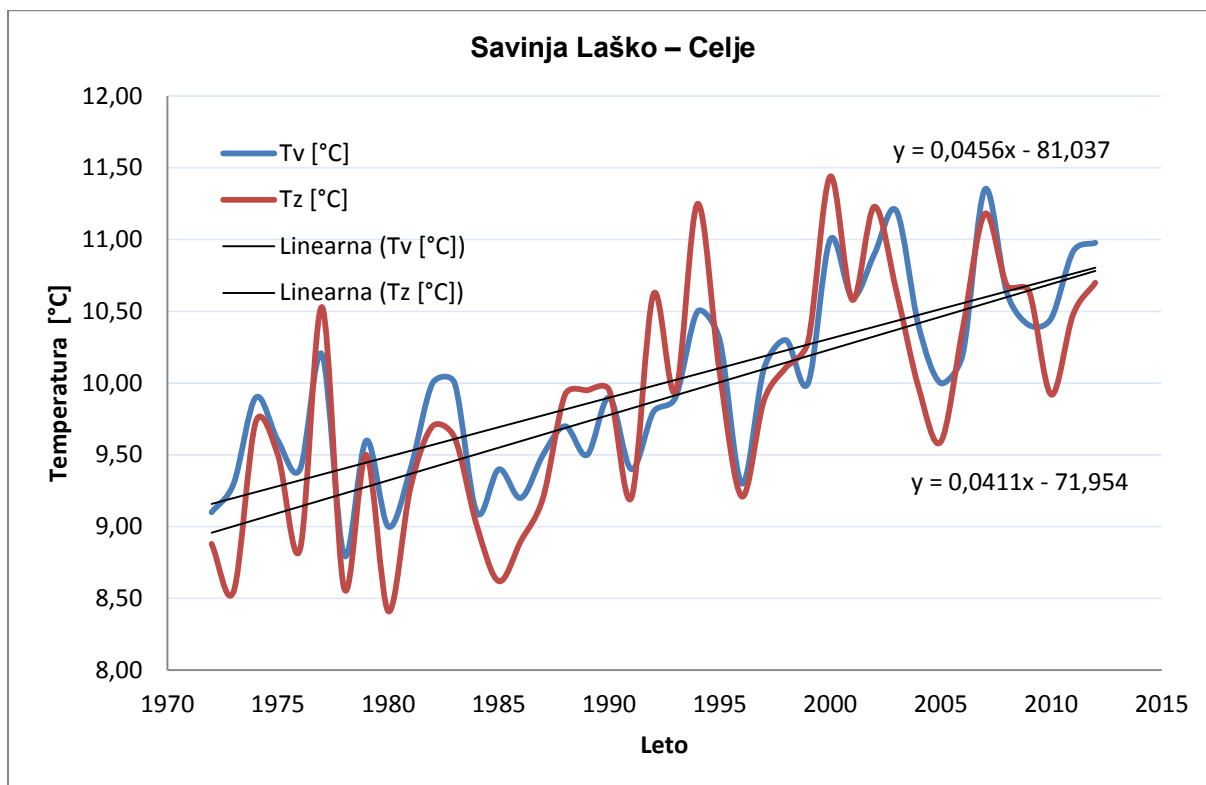
PRILOGA B: Grafi povprečne letne temperature vode in zraka z enačbami regresijskih premic

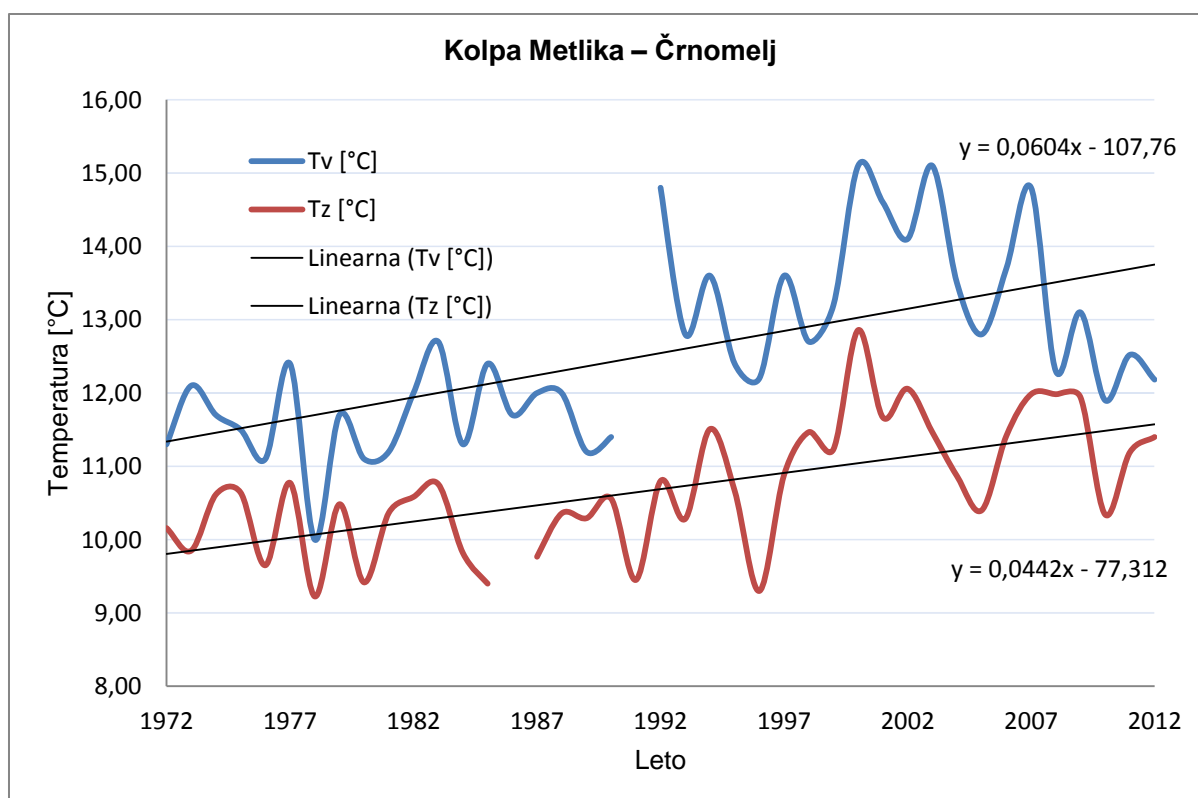
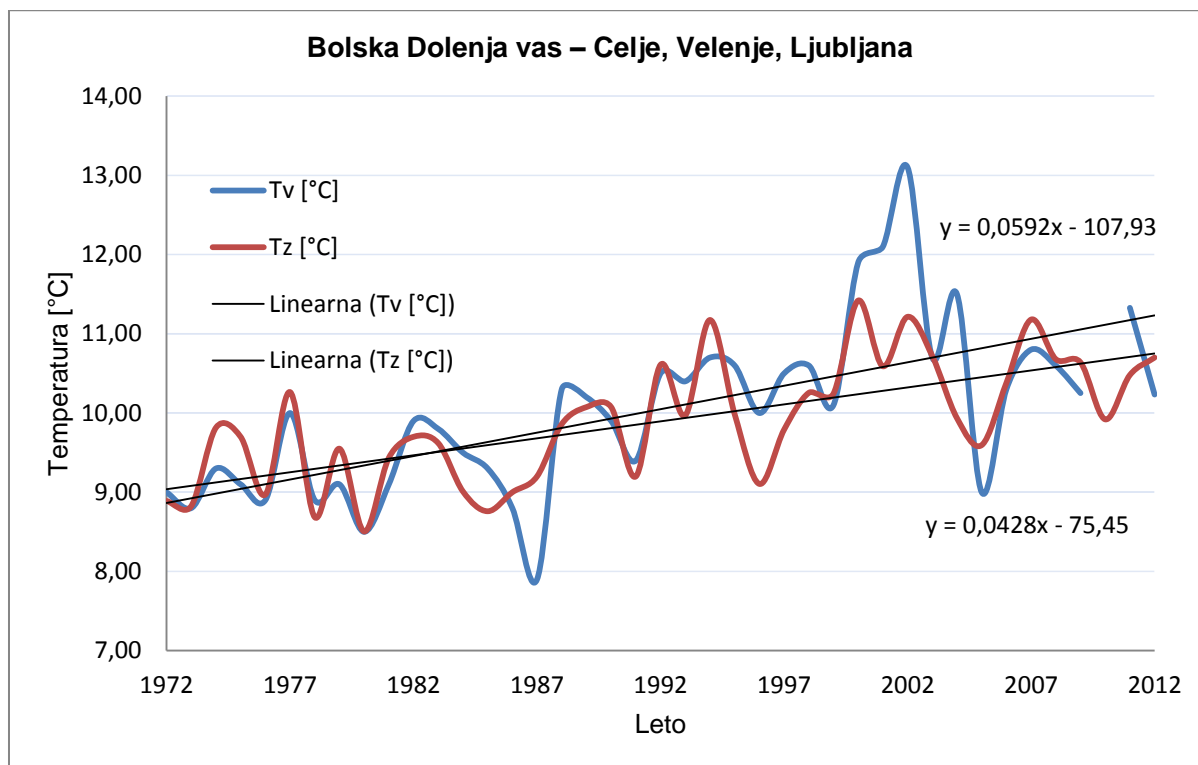


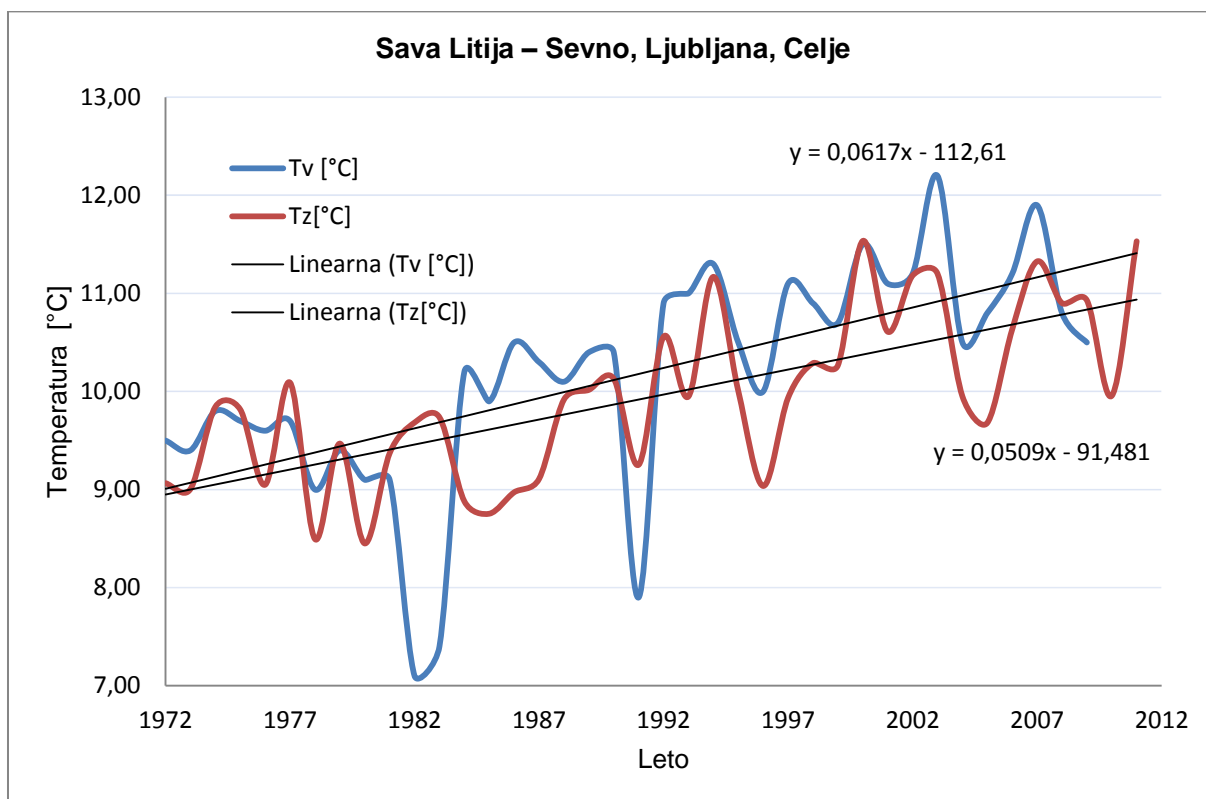
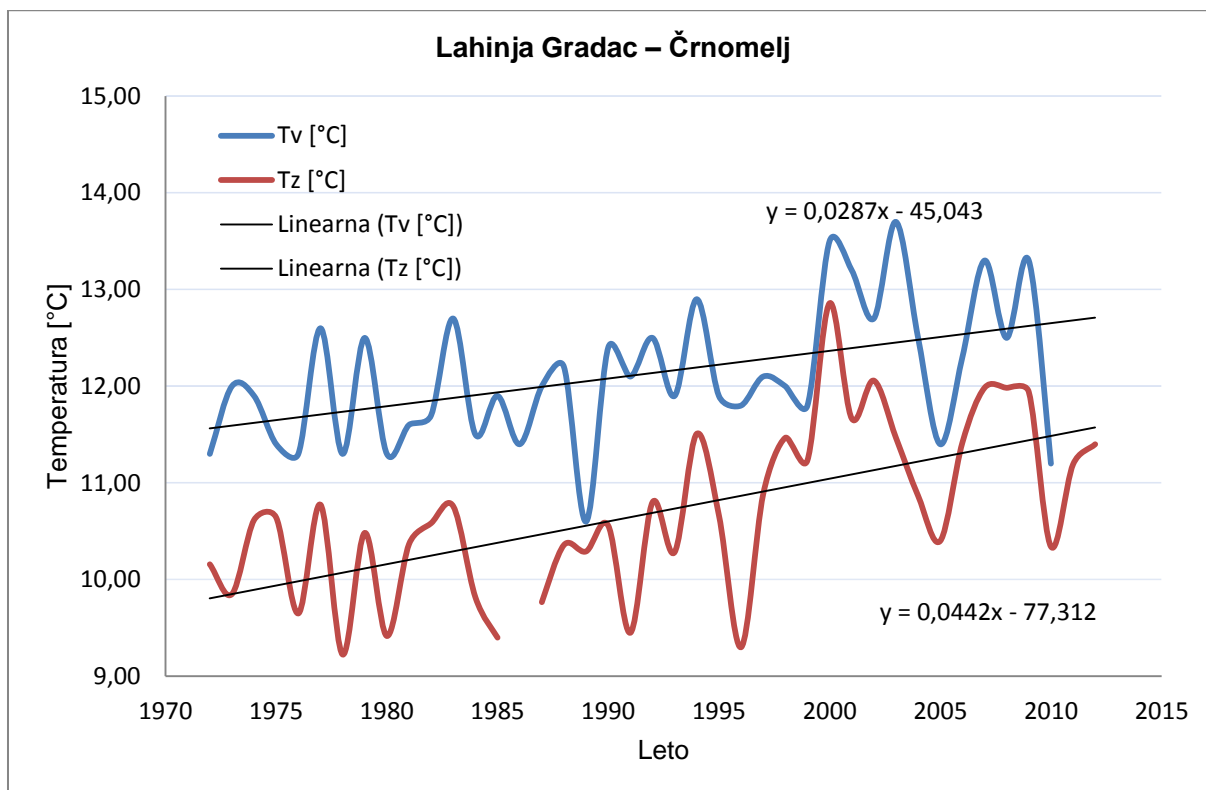


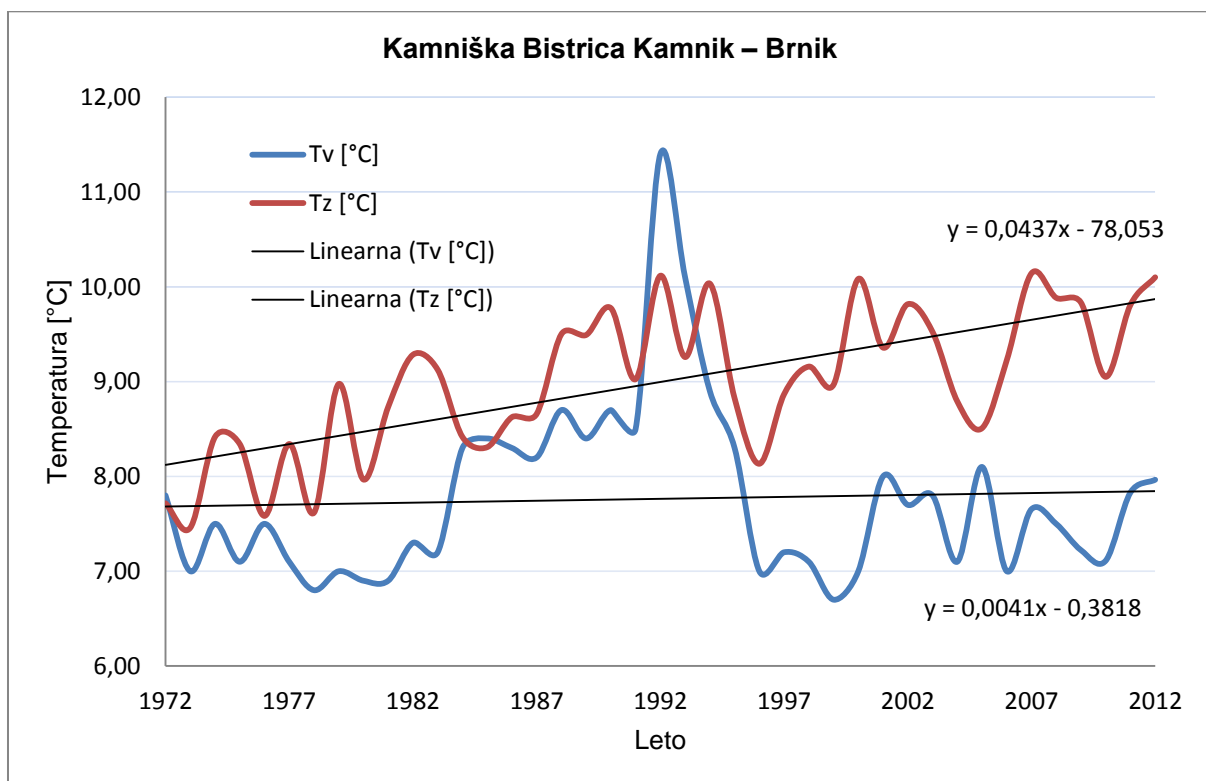
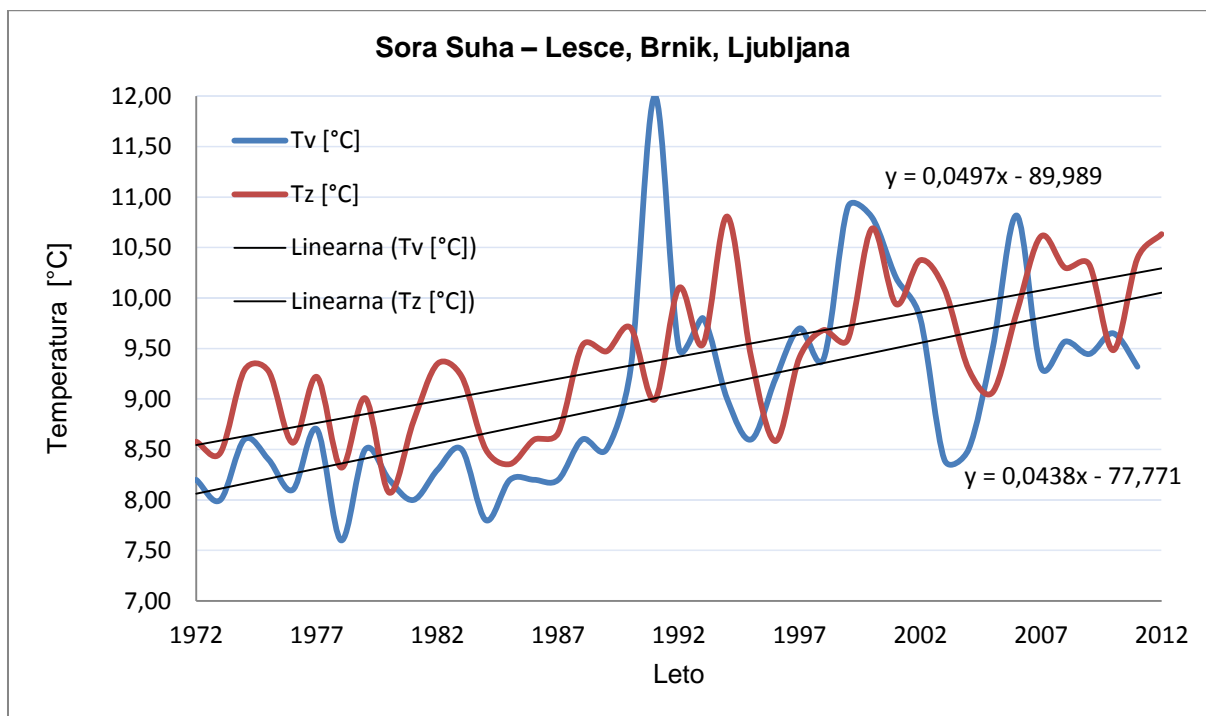


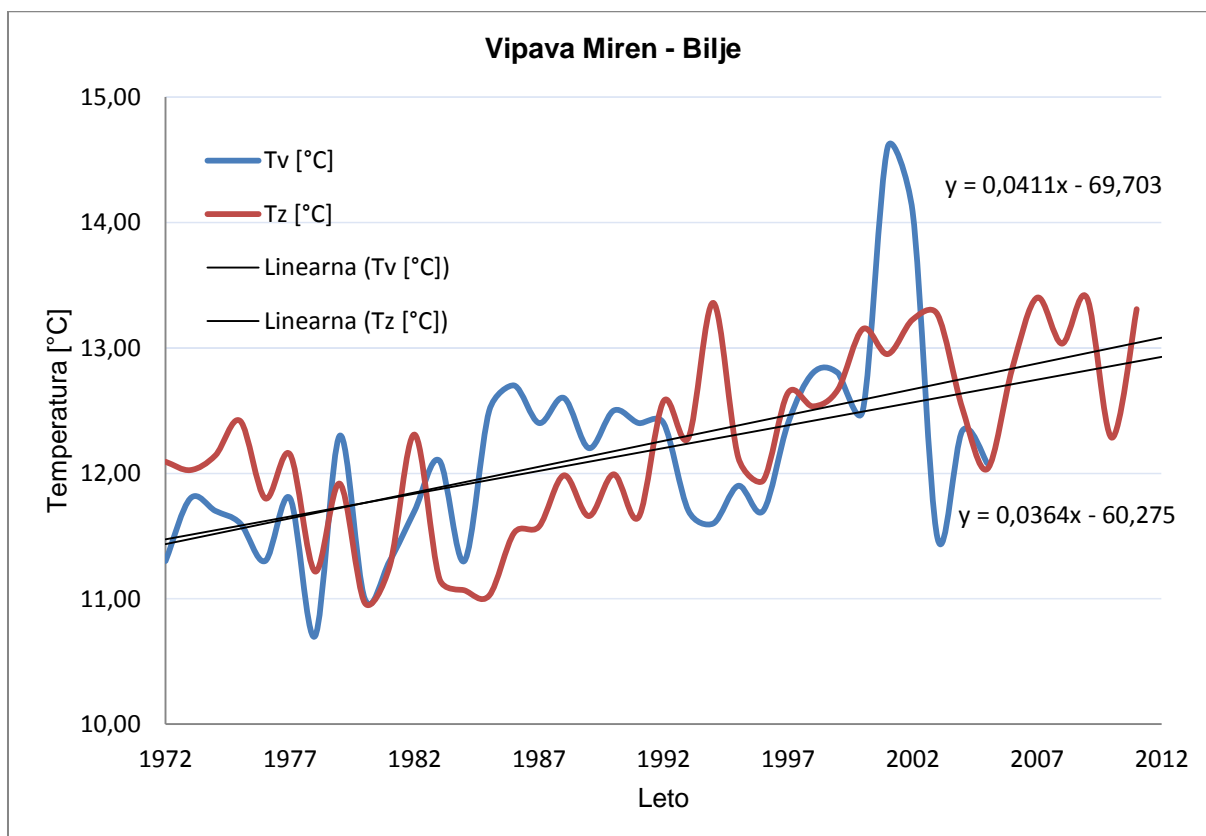
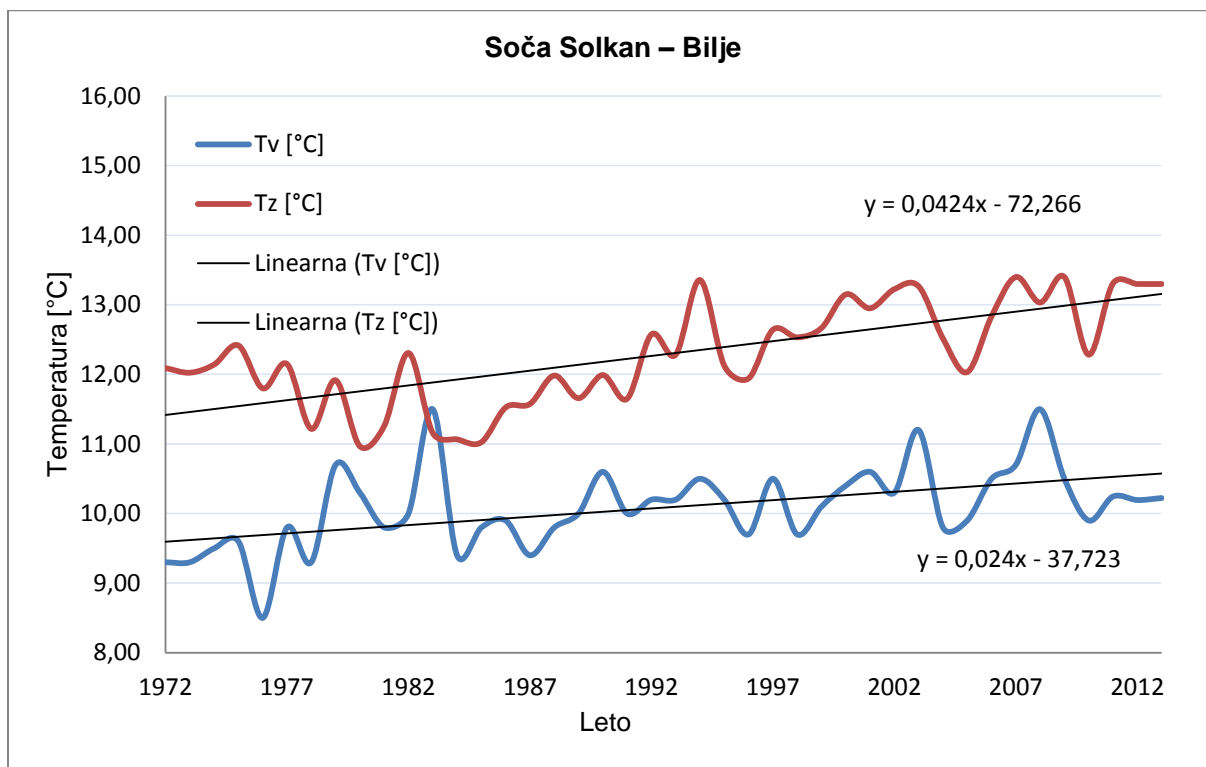


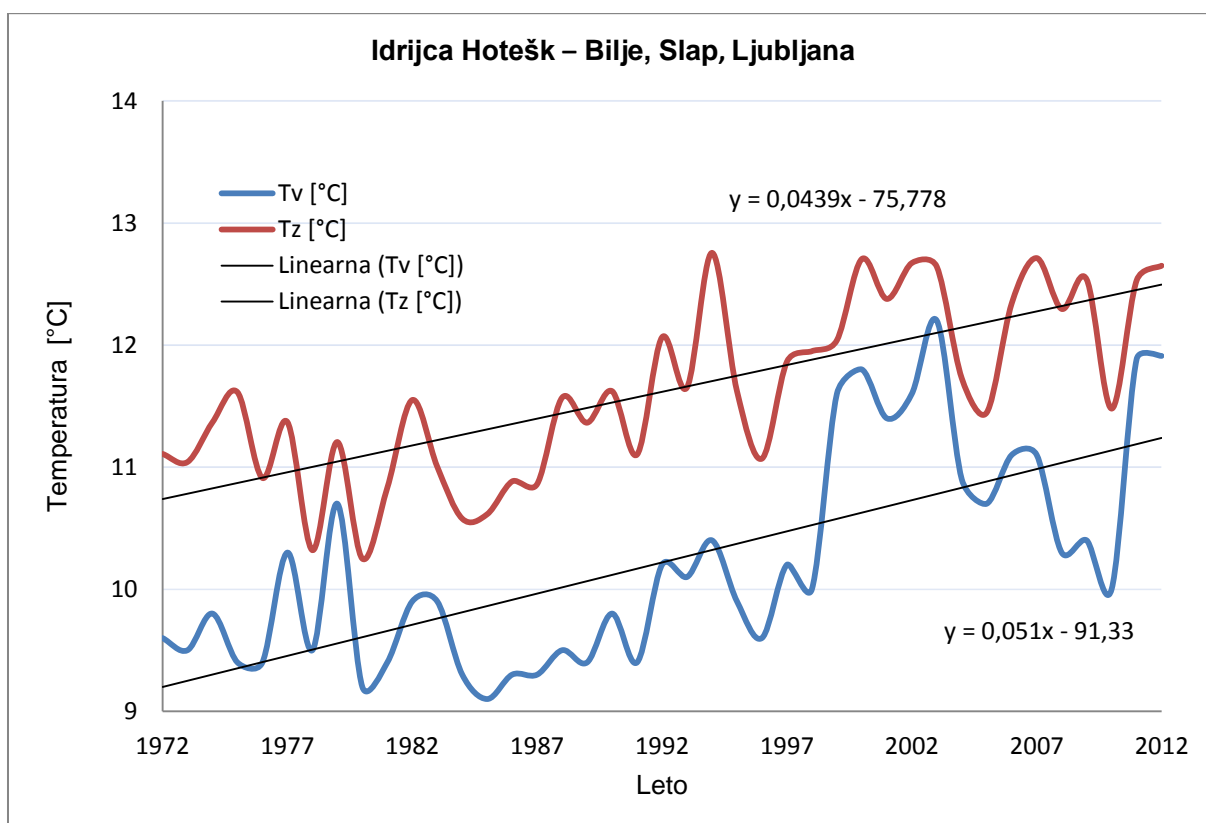
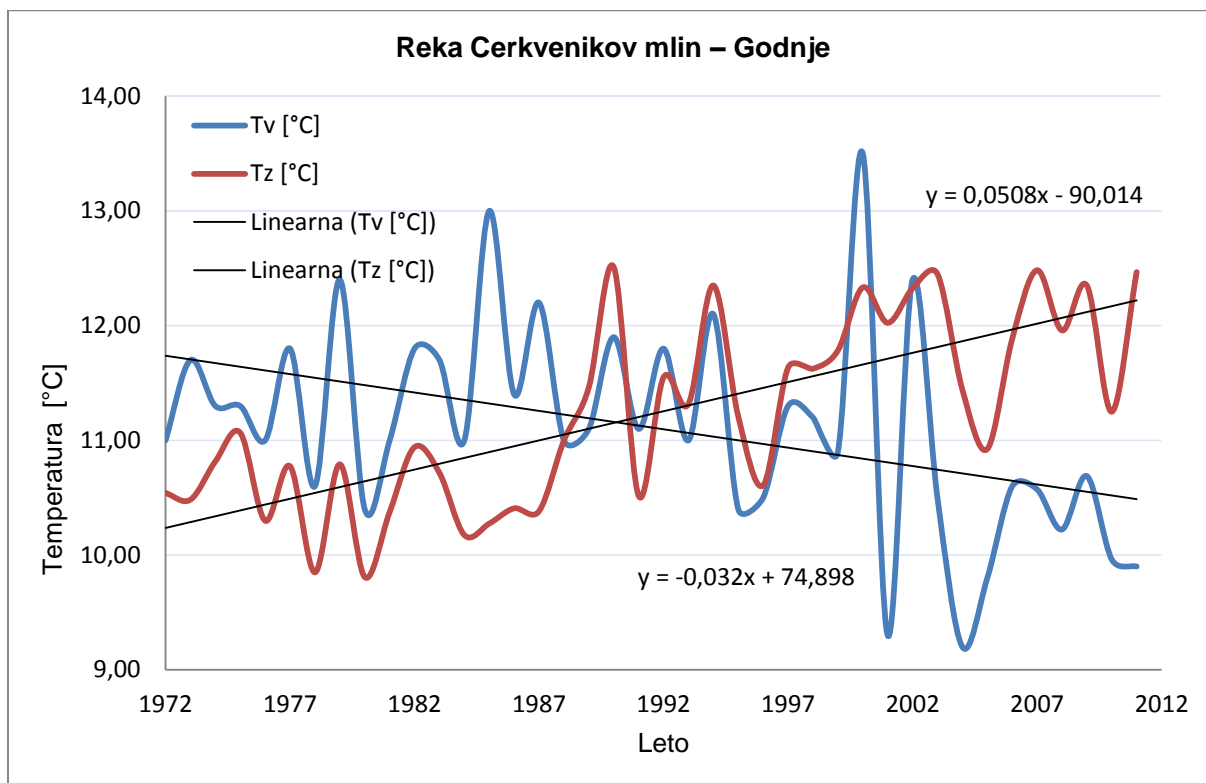


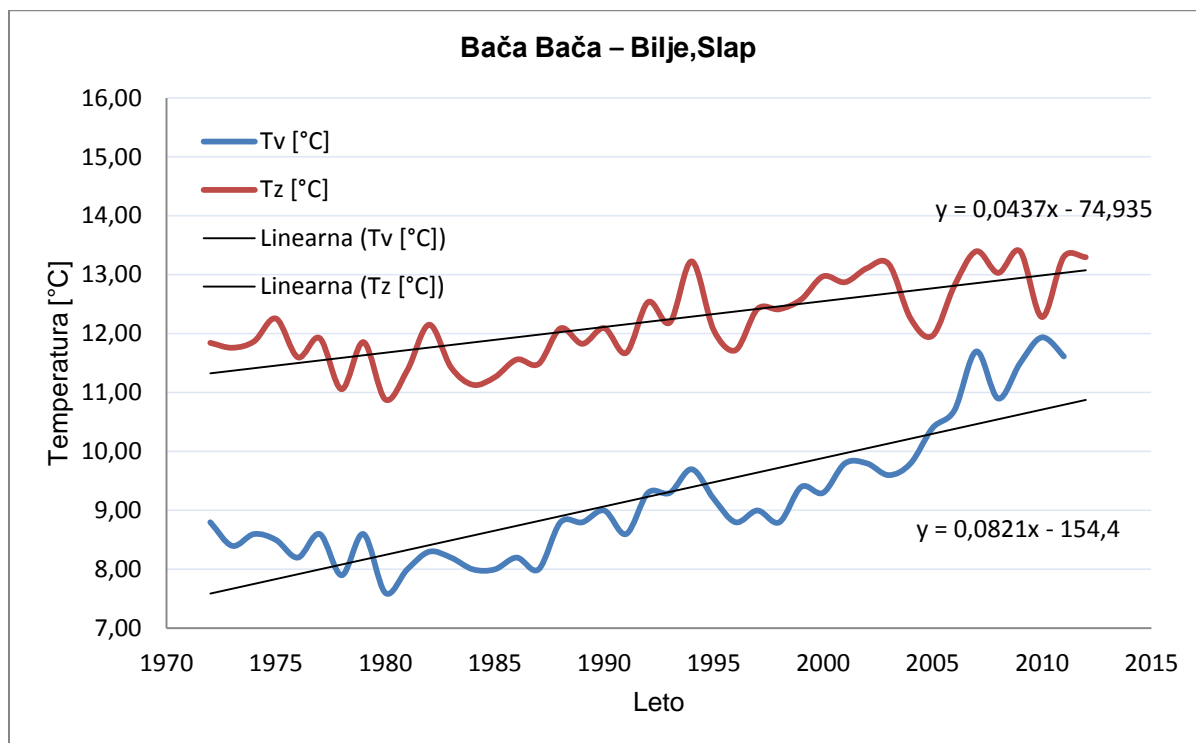












Ta stran je namenoma prazna.

PRILOGA C: Grafi povprečne letne temperature vode s prikazom linearne trendne črte in glajene krivulje za obdobje 1953–2013

