

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:

Makor, S., 2016. Trendi spreminjanja pretokov rek v Sloveniji. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Mikoš, M.): 95 str.

Datum arhiviranja: 15-07-2016

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:

Makor, S., 2016. Trendi spreminjanja pretokov rek v Sloveniji. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljana, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Mikoš, M.): 95 pp.

Archiving Date: 15-07-2016

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**

Kandidat:

**SIMON MAKOR**

**TRENDI SPREMINJANJA PRETOKOV REK V  
SLOVENIJI**

Diplomska naloga št.: 296/VKI

**TRENDS OF RIVER DISCHARGE CHANGES IN  
SLOVENIA**

Graduation thesis No.: 296/VKI

**Mentor:**

prof. dr. Matjaž Mikoš

Ljubljana, 07. 07. 2016



Spodaj podpisani/-a študent/-ka Simon Makor, vpisna številka 26105501, avtor/-ica pisnega zaključnega dela študija z naslovom: Trendi spreminjanja pretokov rek v Sloveniji

#### IZJAVLJAM

1. *Obkrožite eno od variant a) ali b)*

a) da je pisno zaključno delo študija rezultat mojega samostojnega dela;

b) da je pisno zaključno delo študija rezultat lastnega dela več kandidatov in izpolnjuje pogoje, ki jih Statut UL določa za skupna zaključna dela študija ter je v zahtevanem deležu rezultat mojega samostojnega dela;

2. da je tiskana oblika pisnega zaključnega dela študija istovetna elektronski obliki pisnega zaključnega dela študija;

3. da sem pridobil/-a vsa potrebna dovoljenja za uporabo podatkov in avtorskih del v pisnem zaključnem delu študija in jih v pisnem zaključnem delu študija jasno označil/-a;

4. da sem pri pripravi pisnega zaključnega dela študija ravnal/-a v skladu z etičnimi načeli in, kjer je to potrebno, za raziskavo pridobil/-a soglasje etične komisije;

5. soglašam, da se elektronska oblika pisnega zaključnega dela študija uporabi za preverjanje podobnosti vsebine z drugimi deli s programsko opremo za preverjanje podobnosti vsebine, ki je povezana s študijskim informacijskim sistemom članice;

6. da na UL neodplačno, neizključno, prostorsko in časovno neomejeno prenašam pravico shranitve avtorskega dela v elektronski obliki, pravico reproduciranja ter pravico dajanja pisnega zaključnega dela študija na voljo javnosti na svetovnem spletu preko Repozitorija UL;

7. da dovoljujem objavo svojih osebnih podatkov, ki so navedeni v pisnem zaključnem delu študija in tej izjavi, skupaj z objavo pisnega zaključnega dela študija.

V/Na: Ljubljani

Datum: 23.06.2016

Podpis študenta/-ke:

## **BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK**

<b>UDK:</b>	<b>504:556.5(043.2)</b>
<b>Avtor:</b>	<b>Simon Makor</b>
<b>Mentor:</b>	<b>prof. dr. Matjaž Mikoš</b>
<b>Naslov:</b>	<b>Trendi spreminjanja pretokov rek v Sloveniji</b>
<b>Obseg in oprema:</b>	<b>95 str., 9 pregl., 30 sl., 10 en., 1 pril.</b>
<b>Ključne besede:</b>	<b>trend, podnebne spremembe, pretoki, pretočni režim, Pearson, Mann-Kendall, letni višek in konice nad izbrano mejo</b>

### **Izvleček**

Trend pretoka v različnih časovnih obdobjih je poglobitni pokazatelj hidrološkega režima pri analiziranju nihanja vodostaja vodotoka. Na podlagi zbranih podatkov dnevni pretokov za določen vodotok lahko ugotovimo, kako se njegovo hidrološko stanje spreminja skozi čas ter kako se bo odražalo v bližnji prihodnosti. V diplomski nalogi sem opravil analize pretoka številnih slovenskih rek ter pri tem rezultate primerjal s preteklimi vrednostmi pretokov istega vodotoka. Poskušal sem razbrati razlike na istem vodotoku v različnih časovnih obdobjih ter tako opredeliti vplive za morebitne spremembe hidroloških lastnosti in vplive na dejavnike za izoblikovanje pretočnega režima. Uporabil sem časovni trend, Pearsonov koeficient korelacije ter Mann-Kendallov trendni test. Analiziral sem pretoke z modeloma letni višek (AM: annual maximum) ter vrednosti konic nad izbrano mejno vrednostjo oziroma pragom (POT: peak-over-threshold). Rezultati kažejo na upadanje pretočne količine vode v strugi slovenskih rek in na naraščanje že tako visokih pretokov. Analiziral sem tudi globalne podnebne vplive ter njihovo vplivanje na lastnosti pretokov.

## **BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT**

<b>UDC:</b>	<b>504:556.5(043.2)</b>
<b>Author:</b>	<b>Simon Makor</b>
<b>Supervisor:</b>	<b>Prof. Matjaž Mikoš, Ph.D.</b>
<b>Title:</b>	<b>Trends of river discharge changes in Slovenia</b>
<b>Scope and tools:</b>	<b>95 p., 9 tab., 30 fig., 10 eq., 1 ann.</b>
<b>Keywords:</b>	<b>trend, climate change, stream flow, flow regime, Pearson, Mann-Kendall, annual maximum, peak-over-threshold</b>

### **Abstract**

The trend of the flow in different time periods is the main indicator of a hydrological regime of water level fluctuations in analysing of the watercourse. On the basis of the daily flow data for a given watercourse we can figure out, how the hydrological condition changes through time, and how it will be reflected in the near future. In this thesis I made an overall analysis of the flow for several Slovenian rivers, and compared the result with previous values of the same flow of the watercourses. I tried to figure out the differences between different time periods in the same stream as well as to identify the impact of potential changes in the hydrological characteristics and factors for the formation of the flow regime. I used the time trend, Pearson correlation coefficient and Mann-Kendall test for trend. I also analyzed river flows with models AM annual maximum and POT peak-over-threshold. The results show a decrease in flow of the Slovenian rivers, on the other hand, increasing the already high flows. I analyzed the global climate impacts and their influence on the properties of flow.

### **ZAHVALA**

Za pomoč pri izdelavi diplomske naloge se zahvaljujem mentorju prof. dr. Matjažu Mikošu.

Zahvaljujem se staršem in domačim, ki so mi v vseh letih študija stali ob strani, me podpirali in verjeli vame.

<b>STRAN ZA POPRAVKE, ERRATA</b> .....	<b>I</b>
<b>IZJAVA O AVTORSTVU</b> .....	Napaka! Zaznamek ni definiran.
<b>BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK</b> .....	<b>III</b>
<b>BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT</b> .....	<b>V</b>
<b>ZAHVALA</b> .....	<b>V</b>
<b>KAZALO VSEBINE</b> .....	<b>VI</b>
<b>KAZALO PREGLEDNIC</b> .....	<b>IX</b>
<b>KAZALO SLIK</b> .....	<b>X</b>
<b>1 UVOD</b> .....	<b>12</b>
1.1 Zastavitev problema in cilji diplomske naloge .....	1
<b>2 POVEZAVA MED METEOROLOGIJO IN HIDROLOGIJO</b> .....	<b>3</b>
2.1 Beleženje hidrometeoroloških pojavov v zgodovini na evropskih tleh .....	4
2.2 Nova meteorološka smer: zgodovina klime .....	7
2.3 Meteorološki pojavi .....	7
2.3.1 Učinek tople grede .....	8
2.3.2 Ozonska luknja .....	10
2.3.3 El Niño .....	10
2.3.4 La Niña .....	12
2.3.5 Arktično nihanje .....	17
2.3.6 Severnoatlantsko nihanje .....	20
2.3.7 Atlantsko večdesetletno nihanje .....	23
2.3.8 Atlantski orkani .....	25
2.3.9 Mediteransko nihanje .....	27
2.4 Analiziranje spreminjanja podnebja skozi zgodovino v Evropi .....	28
2.5 Vremenske lastnosti v Sloveniji .....	30
<b>3 TREND V HIDROLOGIJI</b> .....	<b>38</b>
3.1 Hidrologija .....	38
3.2 Trend .....	38
3.3 Trend v hidrologiji .....	39
3.4 Statistične metode .....	40
3.4.1 Mann-Kendallov trendni test .....	40
3.4.2 Pearsonov korelacijski koeficient .....	42
3.5 Pretočni modeli .....	43



<b>4</b>	<b>HIDROLOŠKE ZNAČILNOSTI SLOVENSКИH REK.....</b>	<b>44</b>
4.1	Spreminjanje hidroloških značilnosti na območju Slovenije .....	44
4.2	Hidrološke lastnosti slovenskega ozemlja .....	46
4.3	Podrobna analiza pretoka slovenskih rek.....	48
4.4	Analiza hidrološkega stanja za reko Savo .....	53
4.5	Analiza hidrološkega stanja za reko Muro.....	55
4.6	Trendi spreminjanja pretokov .....	58
4.7	Ostale analize .....	60
<b>5</b>	<b>ZASTAVITEV PROBLEMA .....</b>	<b>61</b>
5.1	Analiza hidrološkega stanja večjih slovenskih vodotokov.....	61
5.1.1	Mura – Gornja Radgona 1.....	62
5.1.2	Sava – Radovljica 1 .....	63
5.1.3	Sava – Šentjakob.....	64
5.1.4	Sava – Litija .....	65
5.1.5	Sava – Čatež .....	65
5.1.6	Sava Dolinka – Jesenice .....	66
5.1.7	Sava Bohinjka – Sveti Janez .....	67
5.1.8	Ljubljanica – Vrhnika.....	67
5.1.9	Radovna – Podhom.....	68
5.1.10	Kolpa – Metlika .....	68
5.1.11	Savinja – Nazarje.....	69
5.1.12	Savinja – Laško.....	69
5.1.13	Krka – Podbočje .....	70
5.1.14	Soča – Log Čezsoški .....	70
5.1.15	Soča – Solkan .....	71
5.1.16	Idrijca – Hotešk.....	71
5.1.17	Reka – Cerkvenikov mlin.....	72
5.1.18	Rižana – Kubed .....	73
5.1.19	Drava – HE Dravograd.....	73
5.1.20	Vipava – Dornberk .....	74
5.1.21	Ščavnica – Pristava.....	74
5.2	Ugotovitve .....	75
5.3	Spremembe hidroloških lastnosti rek.....	75
5.4	Primerjava pretokov z globalnimi podnebnimi vplivi .....	80

5.5 Podnebne interakcije na območju Evrope .....	82
5.5.1 Povezava med visokimi vodami in podnebni vplivi v Nemčiji .....	82
5.5.2 Padavinske značilnosti Mediterana .....	84
5.5.3 Podnebne lastnosti mediteranskih območij severozahodne Afrike .....	85
5.5.4 Zimsko deževje na Balkanu .....	85
<b>6 ZAKLJUČEK.....</b>	<b>88</b>
<b>VIRI .....</b>	<b>90</b>

Preglednica 1: Beleženje razlike povprečne temperature tri mesečnega obdobja površinskih voda centralnega ekvatorialnega Pacifika za zadnjih deset let in do danes .....	13
Preglednica 2: Povprečne mesečna vrednost indeksa arktičnega nihanja za zadnjih deset let in do danes .....	19
Preglednica 3: Povprečne mesečna vrednost indeksa severno atlantskega nihanja za zadnjih deset let in do danes .....	22
Preglednica 4: Veliki, srednji in mali pretoki 2012 ter značilni pretoki v dolgoletnem primerjalnem obdobju .....	45
Preglednica 5: Tabelarični prikaz rešitev na vodomernih postajah z enačbo trendne črte .....	76
Preglednica 6: Tabelarični prikaz rešitev na vodomernih postajah z vrednostmi Mann-Kendallovega trendnega testa .....	76
Preglednica 7: Tabelarični prikaz Pearsonovega koeficienta korelacije med vodomernimi postajami .....	77
Preglednica 8: Vrednosti AM in POT modela za vodomerna mesta .....	78
Preglednica 9: Pearsonov koeficient korelacije pretokov z vrednostmi podnebnih vplivov.....	80

Slika 1: Globalni energijski tokovi sevanja v [W/m <sup>2</sup> ] .....	9
Slika 2: Indeks gibanja faze El Niño v modrem ter La Niña v rdečem od 1950 do 2014 .....	12
Slika 3: 30-letna povprečna temperatura površinskih voda čez celo leto .....	14
Slika 4: El Niño stanje vremenskega pojava .....	14
Slika 5: Normalno oziroma La Niña stanje vremenskega pojava .....	15
Slika 6: Sekvenca slik prikaz izsuševanja čadskega jezera .....	16
Slika 7: Levo pozitivna faza in desno negativna faza arktičnega nihanja .....	17
Slika 8: Mesečno povprečje arktičnega nihanja merjeno od januarja 1950 do aprila 2011 .....	18
Slika 9: Zimsko povprečje arktičnega nihanja od 1899 do 2014 .....	19
Slika 10: Levo negativna faza in desno pozitivna faza severno atlantskega nihanja .....	21
Slika 11: Zimski prikaz severno atlantskega nihanja glede na stanje zračnega tlaka na morski gladini med Lizbono in Reykjavikom, merjeno od leta 1864 .....	23
Slika 12: Atlantsko več desetletno nihanje od leta 1856 do 2013 .....	24
Slika 13: Prikaz poti severno atlantskih orkanov od leta 1851 do 2012.....	26
Slika 14: Intenzivnost atlantskih ciklonov glede na zbrano energijo od leta 1895 do 2007 .....	26
Slika 15: Pozitivna in negativna faza zahodno mediteranskega nihanja .....	28
Slika 16: Podnebna razporeditev Evrope po Köpen-Geirer klimatskem sistemu.....	33
Slika 17: Podnebni tipi na slovenskih tleh .....	36
Slika 18: Trendi značilnih pretokov za obdobje 1955-2000 .....	47
Slika 19: Pretočni režimi na vodomerni postaji Log Čezsoški na Soči .....	50
Slika 20: Pretočni režimi na vodomerni postaji Gornja Radgona na Muri .....	50
Slika 21: Pretočni režimi na vodomerni postaji Čatež na Savi.....	51
Slika 22: Pretočni režimi na vodomerni postaji Hotešk na Idrijci.....	51
Slika 23: Pretočni režimi na vodomerni postaji Pristava na Ščavnici .....	52
Slika 24: Pretočni režimi na vodomerni postaji Cerkevnikov Mlin na Reki .....	52
Slika 25: Povprečne letne padavine za Gornjo Radgono, Mursko Soboto in Lendavo z linearnimi trendi za obdobje 1966-1995.....	56
Slika 26: Primerjava povprečnih pretokov v Petanjcih s pogostostjo nastopa 95 %, 90 %, 80 %, 50 % in povprečne letne padavine v Murski Soboti in Gornji Radgoni za šest zaporednih obdobji.....	56
Slika 27: Srednji (Qs), minimalni (Qmin) in maksimalni (Qmaks) pretoki na vodomernih postajah Petanjci (obdobje 1926-2000) in Mursko Središče (obdobje 1926-1990) z linearnimi trendi.....	57
Slika 28: Krivulja trajanja srednjih dnevni pretokov obdobja 1926 - 1990 za Petanjce (vtok), Mursko Središče (iztok) in krivulja trajanja odtoka iz območja (krivulja razlik pretokov za različna trajanja)...	57
Slika 29: Spreminjanje odtočnega hidrograma zaradi urbanizacije .....	79
Slika 30: Tri mesečno povprečje Arktičnega in severno atlantskega nihanja .....	81

## 1 UVOD

Dejstvo je, da se v zadnjih desetletjih soočamo s spreminjanjem podnebja, prav tako pa je tudi globalno segrevanje postalo ena od glavnih tem strokovnih razprav. Po celem svetu se organizirajo številne konference na temo posledic, ki nam jih prinašajo podnebne spremembe. Tudi laična javnost se zanima za vplive tople grede ter sledi strokovnim razlagam o spreminjanju podnebja in okolja. Z ozaveščanjem prebivalstva se je iz popolnega zanemarjanja in ignoriranja človeškega vpliva na klimo prešlo v vsesplošno zaskrbljenost. Vreme neposredno vpliva tudi na vode, zato lahko vzrok za dolgotrajne poletne suše oziroma za hude poplave vidimo tudi v podnebnih spremembah. Glavni toplogredni plin je ogljikov dioksid, ki s tem, da se kopiči v ozračju, vpliva na globalno segrevanje. Določene statistične analize prikazujejo, da je za večino ogljikovega dioksida v ozračju krivo izgorevanje fosilnih goriv, tako v industriji kot v prometu. Tudi vodilne svetovne velesile in gospodarsko razvitejše države se zavezujejo ter trudijo izpolnjevati obljube o zmanjševanju izpustov toplogrednih plinov ter o manjšem obremenjevanju okolja. S tem, ko človeštvo drastično vpliva na podnebne spremembe, neposredno vpliva tudi na stanje hidrološkega režima rek.

V preteklih letih nismo bili priča samo izjemno skrajnim vremenskim pogojem, ampak tudi številnim poplavam. Človeštvo je vajeno približno ustaljenega stanja vodostaja rek. Vsako skrajno stanje privede do neželenih posledic. Visoke vode tako povzročijo materialno škodo in v najslabših primerih žal tudi smrtne žrtve. Nizke vode pa so zelo neugodne za poljedelstvo, saj je zaradi pomanjkanja namakalne vode ogrožen pridelek.

### **1.1 Zastavitev problema in cilji diplomske naloge**

Vse pogosteje smo priča podnebnim spremembam in ekstremnim vremenskim pojavom, ki so večinoma definirani kot katastrofe. Zavedamo se tudi, da so podnebje in hidrološke lastnosti vodotokov tesno povezane. Vsako minimalno spremembo v podnebjju je mogoče opaziti tudi v režimu rek.

V diplomski nalogi bom raziskoval meteorološke pojave in njihovo povezavo s hidrološkimi režimi rek ter se bom posvetil analiziranju pretočnih lastnosti vodotokov. Za določitev stanja predvsem slovenskih rek je potrebno tudi dobro razumevanje podnebnih lastnosti tega področja. Glede na to, da so globalno gledano vedno bolj aktualne novice o učinkih tople grede ter o drastičnem spreminjanju podnebja, se bom dotaknil tudi te teme. Podnebje slovenskega prostora se ne razlikuje veliko od srednjeevropskega, edina posebnost je ravno neposredna bližina Sredozemskega morja in Alp. Alpe tvorijo nekakšno naravno oviro vremenskim frontam z zahoda, tu pa je še močan vpliv Mediterana ter široko razprostrte ravnice proti vzhodu daleč od morja in daleč od Alp. Kombinacija vsega skupaj ustvari dokaj zanimivo mešanico podnebnih razmer. Vprašanje je, če so temu podobni tudi hidrološki režimi slovenskih rek. Če upoštevamo še, da se podnebje v zadnjih desetletjih spreminja, potem se

postavlja vprašanje, kako se to odraža na slovenskih vodotokih ter kako jih bo to zaznamovalo v prihodnje.

## 2 POVEZAVA MED METEOROLOGIJO IN HIDROLOGIJO

Dobro znano dejstvo je, da sta hidrologija in meteorologija dva dela istega vodnega kroga. Medtem ko je meteorologija veda, ki preučuje podnebje in kroženje vode v atmosferi, se hidrologija posveča predvsem kroženju vode na kopnem. Rečni režimi so v večini primerov pod velikim vplivom podnebja. Na območjih, kjer je več padavin, so vodotoki večji in imajo enakomernejši tok kot na sušnih območjih, a tudi tu so izjeme. Hidrološki režim rek je odvisen predvsem od količine padavin ter od temperature zraka. Padavine vplivajo tako na odtok kot na izhlapevanje, temperatura zraka pa zlasti na izhlapevanje (Frantar, 2009). Na količino vode v reki ima velik vpliv temperatura ozračja, saj se z otoplitvijo topita sneg in led ter tako vplivata na povečanje vodostaja rek, temperatura zraka pa učinkuje na izhlapevanje ter na manjši rečni pretok.

Z enostavno enačbo se lahko približno izračuna odtok z določenega območja oziroma vodna bilanca.

odtok = padavine – evapotranspiracija – razlika vodnih zalog

Realno stanje ni tako enostavno, prisotnih je namreč nekaj več dejavnikov. V naslednji enačbi je pogosto uporabljena tudi spremenljivka, ki definira spremembo vodnih zalog oziroma stanje podtalnice. Zaloge vode v tleh predstavljajo velik del vira površinskih voda, saj podtalnica napaja vodotoke.

$$P + D_{pov} + D_{podz} = ET + O_{pov} + O_{podz} + Z \quad (1)$$

Kjer so:

$P$  – padavine,

$D_{pov}$  – površinski dotok,

$D_{podz}$  – podzemni dotok (dotok podtalnice),

$ET$  – evapotranspiracija,

$O_{pov}$  – površinski odtok,

$O_{podz}$  – podzemni odtok (odtok podtalnice),

$Z$  – zadržana voda.

Padavine in dotok površinskih voda ter dotok podtalnice je enak evapotranspiraciji ter odtoku površinskih voda in odtoku podtalnice ter zadržani vodi.

Za zadržano vodo se šteje vodo v snežni odeji, na biosferi, na površini, in sicer v zadrževalnikih, jezerih ter v strugi vodotokov v obliki talne vlage ter kot podtalnica (Brilly in Šraj, 2000).

Evapotranspiracija je prehajanje vode v obliki vodne pare direktno z zemeljske površine in skozi listne pore vegetacije v ozračje. Realen primer iz poletnega obdobja, ko je vročinski val nad Evropo in je



količina padavin izjemno nizka, je pokazal, da evapotranspiracija takrat doseže svoj višek. Že tako pa so večinoma vsi vodotoki in vodna zajetja v poletnih mesecih na svojih letnih minimumih, predvsem zaradi manj padavin. Ker je padavin manj, tudi kmetovalci zajemajo površinsko vodo oziroma izčrpavajo podtalnico iz vodnjakov ter namakajo agrarne površine. Ta načrpana količina vode prehaja iz prsti v rastline in že v prihodnjih nekaj urah izpari v ozračje zaradi visokih temperatur. Ker pridelek potrebuje redno namakanje, se cel proces ponavlja ter tako privede do tega, da v najtoplejših mesecih ne izsušimo samo manjših vodotokov in akumulacijskih jezer, ampak drastično upade tudi nivo podtalnice. Tako prihaja do hitrega izsuševanja določenega območja zaradi potreb poljedelstva. Primer za to je izsuševanje Aralskega jezera v centralni Aziji, ki ga poimenujejo tudi Aralsko morje, kar že samo po sebi priča o njegovi nekdanji veličini. Leta 1960 so začeli z obilnim črpanjem vode za namakanje kmetijskih površin. Posledice so bile kmalu vidne, saj se jezero od leta 1980 neustavljivo izsušuje. Tu je bila kombinacija namakalnih kanalov in načrtnega črpanja vode ter razmeroma vedno bolj sušnega podnebja povod za izjemno hitro upadanje gladine jezera. V samo dvajsetih letih je z zemljevida sveta izginilo eno največjih svetovnih sladkovodnih jezer in nekoč rodovitne pridelovalne površine so se spremenile v polpuščavo.

Poljedelstvo zahteva svoj davek pri stanju vodotokov v poletnih mesecih, v manj ugodnih vremenskih pogojih to celo privede do drastičnih posledic izsuševanja območja. Na krajih, kjer so padavine zmernejše, pa ni potrebe po črpanju vode iz vodotokov in podtalnice za namakanje kmetijskih površin. Dež namreč napaja podtalnico, ta se izliva v rečno strugo in tako je vodna bilanca uravnotežena, in sicer kolikor vode priteče na območje, toliko je tudi odteče.

## **2.1 Beleženje hidrometeoroloških pojavov v zgodovini na evropskih tleh**

Že od nekdanj so si izobraženi in razgledani Evropejci zapisovali pomembnejše vremenske dogodke na lokalnem območju. Prva konkretnejša spremljanja vremenskih pojavov segajo v obdobje srednjega veka. Ene izmed najstarejših podatkov imamo iz srednje Evrope na območju Švice v okolici Bodenskega jezera, na delu porečja reke Ren ter iz južne Nemčije. Meteorološki pionirji srednjeveških časov so imeli svojevrsten specifičen pristop in način opisovanja vremenskih dogodkov. Kot je razvidno, so bili njihovi pristopi v določenih primerih skoraj smešni, večinoma pa so dokaj točno opisali vremenske razmere takratnega časa, tudi s podrobnimi opisi ekstremnih dogodkov. Vremenske pojave in daljša obdobja so opisovali s kvaliteto vinskega mošta, količino in kakovostjo kmetijskih pridelkov oziroma z nastalo škodo, s slabim pridelkom in posledično z lakoto, boleznimi ter smrtnostjo. Določene vremenske pojave so tudi konkretno opisali, kot na primer izjemno dolga in obilna deževna obdobja ali pa neobičajna vroča sušna poletja. Med dolgoletno zbirko vremenskih pojavov se najde tudi opise orkanskih vetrov, ki so odkrivali hiše in rušili drevje, pa o zelo hladnih zimah, ko so zmrznili slapovi na reki Ren v Švici. Med drugim so v zbirki vremenskih pojavov zbrani še opisi hujših poplav lokalnih rek.

Sodobni znanstveniki na številne podatke iz zgodovine gledajo skeptično in sumničavo. Poročila o ekstremnih dogodkih so pretirano slikovno opisana, medtem ko ostali večinski povprečni dogodki niso niti omenjeni. Takratni meteorološki pionirji niso poznali naprav za merjenje padavin, predvsem pa niso imeli skupnega standarda oziroma norme za opisovanje vremenskih pojavov ter niso preverjali rezultatov in jih primerjali s preteklimi dogodki. Opisali so samo tiste meteorološke in hidrološke pojave, ki so v tistem trenutku povzročali največ vznemirjenja. Zanimivo pa je, da je pri vsakem ekstremnem dogodku točno zapisan datum in že s pomočjo tega podatka lahko ustvarimo približno določen potek klimatskih sprememb v obdobju zadnjih 500 let (Makor, 2014).

Nastala je tudi nova veja znanstvene vede, to je zgodovina klime, ki na podlagi starih zapisov podatkov rekonstruira in modelira klimatski potek. Največ podatkov je s konca 19. stoletja v srednji Evropi, in sicer gre za začetke pravilno vodenih meritev, vendar se zgodovina klime ukvarja tudi s starejšimi in manj podrobnimi podatki. Od 1500 do 1700 so podatki razmeroma zelo skromni, a jih je mogoče rekonstruirati leto za letom. Prvi pravi podatki, na katere se je moč nanašati, so iz leta 1900. Glavni poudarek je na ekstremnih dogodkih, kot so hude zime z obilo snega, vroča poletja s sušami, izjemne poplave, nevihtna neurja in orkanski vetrovi. Bolj kot je bil določen vremenski dogodek ekstremen, več in bolj dokumentiranih zapisov se dobi o njem (Pfister, 1999). Postopoma mlajši kot so zapisi meteoroloških in hidroloških pojavov, bolj natančni so rezultati meritev. Bolj kot se približujemo današnjemu dnevu, večja in natančnejša je baza podatkov. Tako lahko z minimalno napako ter določenimi pomanjkljivostmi analiziramo klimatske in hidrološke razmere skoraj za obdobje sto let.

V srednji Evropi so klimatske katastrofe stalno prisotne, najpogostejše so poplave, s katerimi se srečujemo vsakoletno, v zadnjem stoletju pa velja, da so redkejšje kot običajno. Tudi gladina Bodenskega jezera se v zadnjih letih dviguje enakomerno, verjetno je eden od dejavnikov, ki vpliva na to, tudi gradnja jezov in regulacija alpskih rek, potokov in hudournikov. Poplav pa ni možno pripisovati samo človeškim posegom v okolje in urbanizaciji, ampak tudi dejanskemu spreminjanju klime. Razne znanstvene raziskave kažejo spremembe v klimi v smeri zmanjševanja poplav, vendar ni mogoče zaznati efektov tople grede. Lahko bi rekli, da je osrednja Evropa območje, kjer se klima rahlo umirja, ni pa še pod vplivom tople grede.

Z analiziranjem zgodovinskih podatkov se lahko zazna določeno nihanje v obdobju nekaj let s posameznimi letnimi odstopanji od povprečja, medtem ko v zadnjih 200 letih ni zabeleženih hujših poplav. Strokovne analize kažejo, da se je v zadnjih 1000 letih spremenila srednja letna temperatura za 1,5 °C, padavine pa za 1500 mm. Hude katastrofe so si sledile v obdobju od 1550 do 1850. Zabeleženi so tudi najhujši vremenski pojavi do sedaj: leta 1342 poplava, leta 1540 suša in leta 1740 mraz. Te tri navedene katastrofe presegajo vse predhodne in do sedaj znane ekstremne pojave. Zanimivo je, da sovpadajo z obdobjem "male ledene dobe", za katero so bila značilna skrajna vremenska razmerja in

vsesplošno nizke temperature tudi poleti. Tako imenovana "mala ledena doba" ni bila prava ledena doba, ampak so jo kasneje samo tako poimenovali zaradi temperaturne anomalije ozračja. Trajala je približno od 14. do 18. stoletja, zanjo pa je bilo značilno pogosto pojavljanje ekstremnih vremenskih dogodkov. Za takratne čase velja omeniti tudi Maunderjev minimum od 1645 do 1715, ki je skupaj z "malo ledeno dobo" povzročal številne težave. Maunderjev minimum je obdobje, kateremu pripisujejo izjemno majhno število sončnih peg na površini sonca, katere posledično tudi vplivajo na vremenske razmere na Zemlji (Glaser, 2001).

Zgodovinski podatki navajajo dolgo zadrževanje snega in ledu na reki Ren leta 1816, z dolgo in hladno zimo ter razmeroma hladnim poletjem. Leto 1816 imenujejo leto brez poletja zaradi vulkanskega izbruha Tambore v Indoneziji leto prej. Silovita eksplozija ognjenika je v ozračje razpršila ogromne količine prahu, žveplov dioksid ter ogljikov dioksid. Kopičenje plinov in prašnih delcev v zraku za obdobje enega leta je pripeljalo do drastične spremembe podnebnih razmer. Znanstveniki trdijo, da je v letu 1816 povprečna letna temperatura ozračja padla tudi od 0,4 do 0,7 °C.

Iz arhivskih zapisov je razvidno, da je bilo med letoma 1515 in 1556 izjemno sušno obdobje ter niso omenjene poplave reke Ren. Prav tako v obdobju od 1641 do 1706 ni zabeleženih poplav Bodenskega jezera, ni zapisano ponovno daljše sušno obdobje, ki pa je nato zabeleženo od leta 1830 do 1890, ko so si sledile zelo hude poplave v poletnih in jesenskih mesecih. Zanimivo je tudi, da je bilo od 1864 do 1900 več dežja poleti in jeseni, kot pa v obdobju od 1901 do 1960 (Pfister, 1999).

To niso edini ekstremni vremenski pojavi, ki sem jih zasledil. V srednjeveških kronikah, ki so jih zapisovali irski menihi, izstopata leti 535 in 536 kot leti z zelo slabimi pridelki ter s pomanjkanjem hrane. Leta 536 bizantinski zgodovinar Procopius tudi opisuje vdor plemena Vandalov ter navaja, da je sonce celo leto sijalo v medli svetlobi, brez sijaja. Na Kitajskem je menda celo snežilo sredi avgusta tega istega leta. Nekateri pripisujejo propad civilizacije Moche v Peruju posledicam izsuševanja pokrajine, ki je imelo povod ravno v ekstremnih vremenskih pojavih, ki so sledili letu 536. Za potrditev zgodovinskih opisov so na drevesnih letnicah opazili slabšo rast vegetacije ravno v prej omenjenem letu, prav tako tudi sloji ledu iz obravnavanega leta vsebujejo sledi žvepla in prahu. Znanstveniki sicer zatrjujejo, da za tako skrajne klimatske pojave ni krivo naravno nihanje podnebnih razmer, ampak je izvor nekje drugje. Številni strokovnjaki trdijo, da je tistega leta po vsej verjetnosti silovito izbruhnil ognjenik in razpršil v ozračje ogromne količine žvepla in prahu.

Če upoštevamo oba vulkanska dogodka ter kakšne posledice sta pustila na globalni ravni še leto kasneje, dokler se ni ves vulkanski prah polegel, potem nam je lahko jasno, kako ranljiva je narava. Presenetljivo občutljivo je globalno podnebje; že en večji vulkanski izbruh drastično spremeni podnebne spremembe po celem svetu. Tako majhen točkovni vpliv nekje na površini Zemlje torej lahko poruši normalno delovanje, katerega posledice se čutijo še dolgo.

## 2.2 Nova meteorološka smer: zgodovina klime

Zbrane vsakodnevne meritve na območju Švice iz zadnjih 150 let so tako točne, da jih lahko razumemo kot reprezentančno oceno stanja klime za osrednjo Evropo za obdobje 500 let. Ta podatek je tako presenetljiv, da je šokiral strokovnjake s področja meteorologije. V stari literaturi so poiskali različne vire, v katerih so bili omenjeni isti vremenski dogodki pod istim datumom, ter tako preverili podatke in odprli popolnoma novo smer področja zgodovine klime (Pfister, 1999). Na podlagi zbranih arhivov lahko bolje razumemo in lažje napovedujemo vremenske spremembe, ki se nam dogajajo danes in se bodo v prihodnje. Včasih so vsak vremenski pojav obravnavali kot dogodek zase, danes jih pa povezujemo in jih lahko razširimo tudi na večje območje.

Za preučevanje zgodovinskih nihanj klime se ne poslužujemo samo starih zapisov. Kvalitetne podatke lahko najdemo tudi s pomočjo informacij od drugod, na primer: v slojih sedimenta na morskem ali jezerskem dnu, letnice rasti dreves, sloji ledu na ledenikih ter seveda v plasteh arktičnega in antarktičnega ledu idr. Sodobni znanstveniki večinoma analizirajo stare, globoko v polarnem ledu zamrznjene sloje. Ledene plasti so enake principu letnic debela dreves; vsaka plast zavzema snežne padavine v tistem letu. Ker se na polih led večinoma ne tali, novozapadli sneg prekrije starega in tako se nabira skozi stoletja, v plast ledu pa so ujete specifične lastnosti ozračja tistega obdobja. S posebnimi metodami se analizirajo plasti ledu ter ugotavljajo koncentracije plinov in prašnih delcev v ozračju tistega določenega leta ter se tako predpostavi stanje klime za analizirano leto. Iz ledu se razbere klimatsko dogajanje tudi za nekaj tisoč let v preteklost, vse je odvisno od starosti ledu (Makor, 2014).

## 2.3 Meteorološki pojavi

Ko danes omenimo nihanje podnebnih razmer, najprej pomislimo na učinek tople grede, ki povzroča globalno segrevanje, na El Niño in mogoče tudi na ozonsko luknjo. Čeprav si laiki predvsem pri spreminjanju podnebnih razmer verjetno ne znajo točno predstavljati, za kaj gre, so izrazi kljub vsemu na ustih vseh in se zaradi njih dviguje veliko prahu. Lahko bi rekli, da gre tudi za neke vrste modno muho in da nismo v toku s časom, če jih ne uporabljamo. Ljudje tudi vedno pogosteje govorijo, da je vreme "ponorelo" in da ni več takšno, kot je bilo v času naših starih staršev, ter da ni več vmesnih letnih časov, ampak sta samo še poletje in zima. Velikokrat lahko zasledimo v medijih, da napovedujejo "indijansko poletje" oziroma sunkovite prehode vremenskih front, ki za dalj časa tvorijo določene vremenske lastnosti.

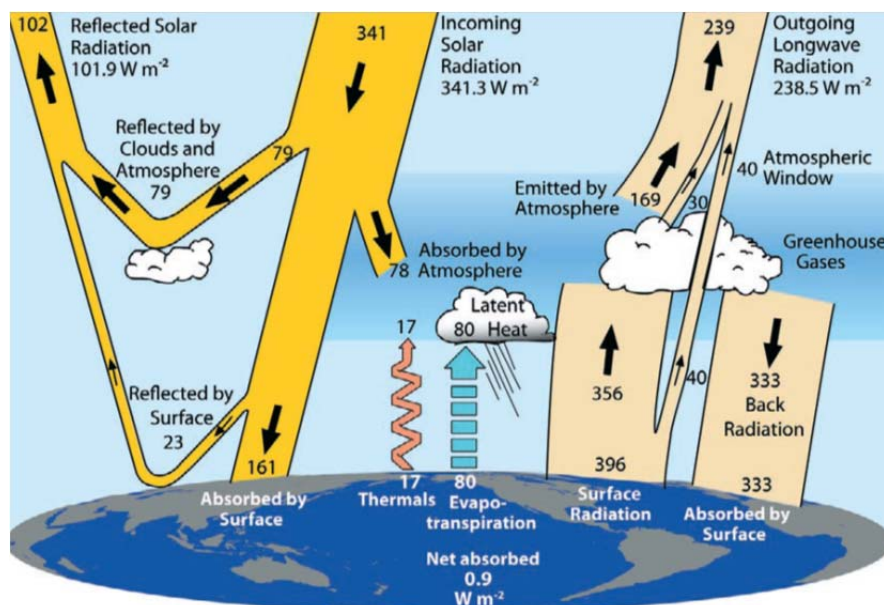
Globalnemu segrevanju in El Niñju se posveča vedno več pozornosti. Številne strokovne literature ju omenjajo, preučujejo ter analizirajo njuno zgodovino delovanja, medtem pa se laična populacija verjetno ne spušča v podrobnosti in zagotovo tudi ne pozna mehanizmov, po katerih delujeta. Lahko bi rekli, da si je učinek tople grede lažje predstavljati, saj že samo ime pove veliko. El Niño pa ni tako

znan, saj se o njem, vsaj v Evropi, ne govori veliko, bolj je namreč značilen za zahodno obalo Latinske Amerike, kjer ima tudi največji vpliv.

### 2.3.1 Učinek tople grede

Znanstveniki učinek tople grede preučujejo že zadnjih sto let, v medijih pa se je pojavil pred komaj nekaj desetletji. Z globalnimi podnebnimi spremembami je postal tudi učinek tople grede zelo aktualen in vedno pogosteje se mu pripisujejo vzroki za razne vremenske nevšečnosti. Od vseh klimatskih izrazov je verjetno ravno izraz učinek tople grede izraz, ki se ga najpogosteje omenja in ki mu sloves neprestano narašča.

Natančneje si pogledjmo, za kaj pri učinku tople grede sploh gre. Vremenski pojavi in globalno podnebje je odvisno od količine in porazdelitve obsevanega sončnega sevanja. Za urejeno in uravnoteženo podnebje je potrebno prav tako ustaljeno razmerje med prihajajočim sončnim sevanjem in med odhajajočim dolgovalovnim sevanjem. To je proces kroženja toplote med ozračjem in površjem Zemlje, kot je vidno na sliki 1. Na Zemljo prihaja vsakodnevno velika količina sončne energije. Ta sončna energija je elektromagnetno valovanje, katero glede na njeno valovno dolžino delimo na vidno svetlobo, toploto oziroma infrardeče valovanje in na ostali spekter sevanja. V primeru učinka tople grede je najpomembnejše ravno infrardeče valovanje, ki prehaja iz vesolja skozi ozračje do zemeljske površine. Na tleh se infrardeče valovanje absorbira v materijo in jo segreva. Problem nastane zaradi razlike v absorpciji sončnega sevanja med atmosfero, tlemi in vodnimi površinami. Prihajajoče sončno sevanje se lahko že v atmosferi odbije od oblakov v vesolje, lahko se absorbira ali pa prehaja vse do zemeljske površine. Sončno sevanje oziroma kratkovalovno sevanje se spremeni v toploto oziroma v potencialno ali latentno energijo, ki pa se postopoma oddaja kot dolgovalovno sevanje. Glavni toplogredni plin, ki vpliva na zviševanje podnebnih temperatur, je ogljikov dioksid, ki omogoča kratkovalovnemu sevanju s sonca prehod iz vesolja proti površju, medtem ko zaustavlja in odbija dolgovalovna sevanja s površine Zemlje v atmosfero, kar privede do globalnega segrevanja. Višanje temperatur vpliva na količino padavin ter na izhlapevanje, vse to pa spreminja razmerje hidrološkega stanja vodotokov ter podtalnice (Arnell, 1996). Energija se lahko tudi za določen čas shrani in tako potuje v različnih oblikah ter se pretvori v številne vrste, ki so podlaga za bogato in raznoliko dejavnost vremenskih pojavov (Trenberth et al., 2009), določen delež te toplote pa se odbije od površja v ozračje. Težava nastopi ravno v ozračju, saj določeni plini infrardečemu sevanju preprečijo nadaljevanje poti v vesolje. Vidna svetloba ravno tako prehaja skozi ozračje do površine Zemlje ter se odbije v vesolje. Vidni svetlobi pot iz vesolja do površja lahko zaustavijo samo oblaki. Pri infrardečem valovanju pa je drugače, ta prehaja skozi oblake do površine Zemlje, kjer se odbije v ozračje in jo tu zaustavijo tako imenovani toplogredni plini. Velik del te toplote se absorbira v ozračju ter se širi v vse smeri, največ proti površju Zemlje. Tako infrardeče sevanje kroži med površjem Zemlje in ozračjem ter je celoten planet ujet v začaran krog kroženja toplote.



Slika 1: Globalni energijski tokovi sevanja v [ $W/m^2$ ] (Povzeto po Trenberth et al., 2009: str. 314)

Kljub temu da je Zemlja vsakodnevno obsevana z novim infrardečim valovanjem, se ne more znebiti starega, kar privede do primera, ko se celotno ozračje in površje planeta postopoma segrevata. Zaradi toplogrednih plinov planet sprejema več toplote, kot je oddaja. Ti toplogredni plini in njihov prispevek k učinkovitosti efekta tople grede so:

- vodna para prispeva od 36 % do 70 %,
- ogljikov dioksid prispeva od 9 % do 26 %,
- metan prispeva od 4 % do 9 %,
- ozon prispeva od 3 % pa do 7 %.

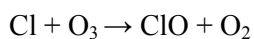
Poleg prej navedenih plinov so za učinek tople grede pomembni tudi nekateri drugi plini, ampak so res v majhnih količinah in zaradi škodovanja okolju celo prepovedani. To so bili večinoma freoni, uporabljeni kot potisni plini v jeklenkah ter kot hladilni plini v zamrzovalnikih. Zaradi njihovega reagiranja z ozonom in posledičnega tanjšanja ozonskega plašča ter širjenja ozonske luknje so ti plini danes prepovedani.

Glede na analize je poleg vodne pare največji vpliv na delovanje tople grede možno pripisati ravno ogljikovemu dioksidu,  $CO_2$ . Za povečanje vpliva tople grede je večinoma kriv človek, saj je človeški dejavnosti moč pripisati kopičenje ogljikovega dioksida v ozračju. Tudi industrija s svojimi izpušnimi plini izpušča v ozračje ogromne količine  $CO_2$ , večinoma z izgorevanjem fosilnih goriv (Kiehl, 1997).

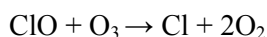
### 2.3.2 Ozonska luknja

Veliko se tudi omenja tanjšanje ozonskega plašča ter širjenje ozonske luknje, ki vplivata na spreminjanje globalne klime in podnebja. Izraz ozonska luknja se je pojavil v osemdesetih letih dvajsetega stoletja. Pred tem se javnost in stroka nista zavedali konkretnega dogajanja v zvezi z ozonom v atmosferi.

Ozon (O<sub>3</sub>) je plin, ki se večinoma nahaja na višini približno od 10 km do 50 km nad tlemi. Obdaja celoten planet ter tako tvori plašč, ki ščiti površje Zemlje pred ultravijoličnimi žarki. Ozonska luknja je območje v atmosferi, kjer se je ozonski plašč zelo stanjšal. Ozonska luknja nastaja kot posledica izpuščanja freonov v ozračje, saj ti vsebujejo klor, ki s kemijsko reakcijo razkrajajo ozonski plašč. Kemične reakcije s klorom iz neaktivnih oblik spojin se preoblikujejo v molekule, občutljive na sončno svetlobo. Klor s pomočjo svetlobnega sevanja povzroči razpad molekul ozona.



Klor reagira z molekulo ozona in jo razstavi v navadno molekulo kisika ter molekulo klora in kisika.



Novonastala molekula klora in kisik iz prejšnje reakcije reagirata z drugo molekulo ozona in jo razstavita na dve novi osnovni molekuli kisika in atom klora.

Molekula ozona je že sama po sebi zelo nestabilna in teži k temu, da reagira z drugimi atomi, večinoma s klorom ali dušikom, ter razpada. Tudi UV-sevanje razbije molekule ozona na atome kisika.

S tem, ko se plast ozona tanjša, prodira skozi atmosfero večja količina UV-sevanja. Ultravijolično sevanje ni škodljivo samo za žive organizme, temveč posredno vpliva tudi na dvigovanje globalne temperature in učinek tople grede. Znanstveniki že dlje časa opažajo in analizirajo ozonske luknje. Najbolj razširjeni sta ravno nad severnim in južnim polom, kjer je to še posebno kritično, saj je ob polarnih poletjih proces tanjšanja neprekinjen za 6 mesecev in je plast ozona neprestano obsevana (Sherwood Rowland, 2007).

### 2.3.3 El Niño

El Niño ali južno nihanje (v angleščini El Niño – southern oscillation ali krajše ENSO) je meteorološki pojav na vzhodu Tihega oceana, ki vpliva predvsem na pacifiške obale Južne Amerike. Prvič se je izraz pojavil 1892 med perujskimi mornarji, El Niño v španščini pomeni deček, tako pa so ga poimenovali, ker je najopaznejši ravno okoli božiča. Kasneje je postal pojav zelo zanimiv za znanstvenike in od leta 1982 samo pridobiva na zanimanju ter se vedno več piše o njem. Odkar se

spremlja El Niño, je zapisano, da so bili njegovi vplivi med močnejšimi v letih: 1790–1793, 1828, 1876–1878, 1891, 1925–1926, 1972–1973, 1982–1983 in 1997–1998, najmočnejši vpliv do sedaj pa je imel v obdobju med letoma 1997 in 1998. Razne svetovne meteorološke agencije, predvsem pa NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration), ga monitorirajo in mu posvečajo vedno več zanimanja, ker predvidevajo, da je mogoče njegove posledice zaznati po celem svetu. El Niño je meteorološki pojav, pri katerem se zazna spremembo zračnega tlaka ter temperature vode na oceanski gladini med 30° severno in 30° južno od ekvatorja na Tihem oceanu. Poleg spremembe morskih tokov, temperature površinske vode in zračnega tlaka so še nekateri pokazatelji njegovega delovanja:

- dvig zračnega tlaka nad Indijskim oceanom, Indonezijo in Avstralijo,
- padec zračnega tlaka nad osrednjim in vzhodnim Pacifikom,
- šibki vetrovi v južnem Pacifiku,
- območje toplejšega zraka v bližini Peruja,
- deževja na območju perujskih puščav,
- širjenje toplih morskih tokov z zahoda na vzhod.

Z drugimi besedami, v fazi El Niño naraste temperatura površinske vode ekvatorialnega dela vzhodnega Tihega oceana. Najvišje vrednosti temperatur površinskih voda se dosežejo med aprilom in junijem ob obalah Južne Amerike ter proti koncu leta na zahodnem delu Pacifika (Rasmusson in Carpenter, 1981). Sočasno na istem območju izrazito pade zračni tlak. Običajno je zračni tlak višji nad vzhodnim in centralnim Pacifikom ter nižji nad Avstralijo in zahodnim Pacifikom, kar privede do kroženja zračnih mas z vzhoda na zahod in povzroči sušno podnebje na vzhodu ter obilne padavine na zahodu. Pri pojavu El Niño pa se zgodi ravno nasprotno, drastično pade zračni tlak nad vzhodnim Pacifikom in naraste nad Avstralijo. Zračni tokovi ne krožijo več z vzhoda na zahod in tudi morski tok zaradi prekomerno segretyh površinskih voda ob ameriški obali ni več tako markanten. Vse skupaj privede do hudih nalivov na pacifiških obalah Južne Amerike od avgusta do decembra, istočasno pa povzroči sušna obdobja nad Avstralijo.

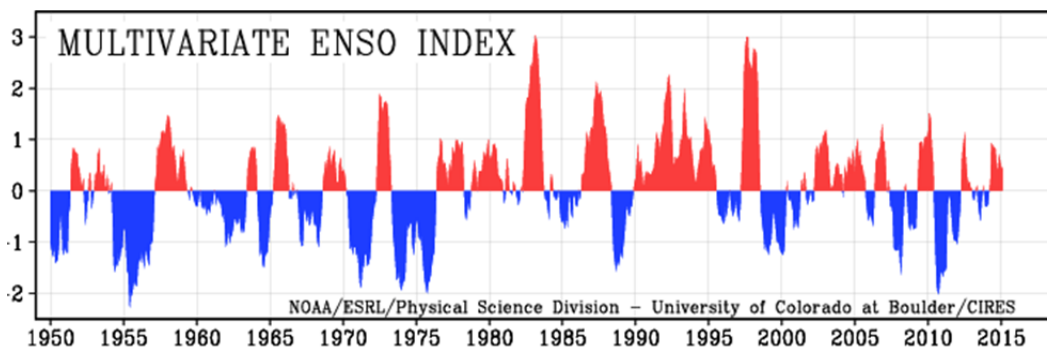
Za pojav El Niño sta obe komponenti (temperatura morja in zračni tlak) močno povezani in vplivata na padavine. Tudi vetrovi, ki pihajo čez Pacifik z vzhoda na zahod, med El Niño oslabijo, kar pa upočasni oceanski tok, ki ravno tako teče z vzhoda na zahod vzdolž ekvatorja in črpa toplo površinsko vodo stran od zahodne obale Južne Amerike. Ta topla površinska voda se zadržuje ob obalah Južne Amerike in preprečuje hladni vodi iz globin oceana, da bi priplavala na površje. Krepitev in slabitev vetrov vzdolž ekvatorja sta zelo pomembni pri spreminjanju zračnih tlakov nad Pacifikom.

Ravno segrevanje površinske vode oceana deluje na upadanje zračnega tlaka nad njo. S prenašanjem temperature iz gladine v ozračje se tvorijo "živahnejši" vremenski pojavi. Ker oblačno nebo preprečuje dolgovalovnemu sevanju oz. temperaturi pobeg v atmosfero, se ta zadržuje v ozračju in se odbija nazaj na že tako segreto površinsko vodo Tihega oceana (NOAA I). Zračni tlak in temperatura površinske



vode sta torej tesno povezana in vplivata eden na drugega. Temperatura zraka nad ekvatorjem se ne prenaša z vetrovi v atmosferi, ampak se odziva na spremembe temperature površinske vode ekvatorialnega pasu (Kiladis in Diaz, 1989).

El Niño je daleč najbolj pomemben vpliv letnega globalnega klimatskega nihanja. Čeprav je značilen za Tihi ocean, se njegovi vplivi čutijo tudi na drugih koncih sveta. Najbolj občuten vpliv El Niña je na območju Tihega oceana ter zahodnih obal Amerike. Njegovi vplivi pa se širijo tudi preko Severne Amerike na Atlantik, z atmosferskimi tokovi oziroma Rossbyevimi valovi pa prehaja čez ameriško celino z zahoda na vzhod. Rossbyevi valovi so atmosferski vetrovi, ki krožijo z zahoda na vzhod zaradi vrtenja Zemlje. Imajo velik vpliv na vremenske lastnosti, saj prenašajo nizek oziroma visok zračni tlak v smeri svojega kroženja. Včasih se zadržujejo višje na severnem polu, ali pa zaidejo tudi nižje proti ekvatorju. Zaradi njihovega delovanja je podnebje severovzhodne Amerike hladnejše od zahodne Evrope, kljub temu da sta na približno isti zemljepisni širini. Številne študije so potrdile, da El Niño vpliva tudi na tropska območja po svetu. Tako je mogoče zaznati njegov vpliv v Aziji pri poletnih monsunih ter na atlantskih tropskih vremenskih variabilnostih (Saravanan in Chang, 2000).



Slika 2: Indeks gibanja faze El Niño, prikazan z modro barvo, ter La Niña, prikazan z rdečo barvo, od 1950 do 2014 (vir: <http://www.esrl.noaa.gov/psd/enso/mei/>, pridobljeno 10. 3. 2016)

### 2.3.4 La Niña

El Niño ima vremenski pojav, ki deluje nasprotno od njega, imenujejo ga La Niña ali tudi hladna faza ENSO. Gibanje faze El Niño in La Niña od leta 1950 v grafični obliki prikazuje slika 2. Medtem ko je za El Niño značilno obilno deževje, se v obdobju La Niña v celem letu kaže vpliv zelo sušnega pojava. Ravno tako kot pri El Niñu se tudi pri La Niñi glavne značilnosti kažejo pri temperaturi površinskih voda Tihega oceana, tlaku zračnih mas, spremembi morskih tokov in smeri vetrov. Pri El Niñu so temperature površinske vode Tihega oceana na ekvatorialnem območju toplejše od povprečja, pri La Niña pa so te iste vode hladnejše od povprečja. La Niña ni dosti drugačna od normalnega stanja, le da so pri njej razmere nekoliko bolj ekstremne. Poleg pojavov El Niño in La Niña obstaja še normalno stanje, to je vremensko stanje, v katerem ni zaznati skrajnih vremenskih posebnosti in je znotraj

dolgoletnega vremenskega povprečja. Med obdobjem El Niño ali La Niña pa se pojavljajo skrajne vremenske posebnosti, ki niso tipične za tamkajšnje podnebne razmere.

Preglednica 1: Beleženje razlike povprečne temperature trimesečnega obdobja površinskih voda centralnega ekvatorialnega Pacifika za zadnjih deset let in do danes (vir:

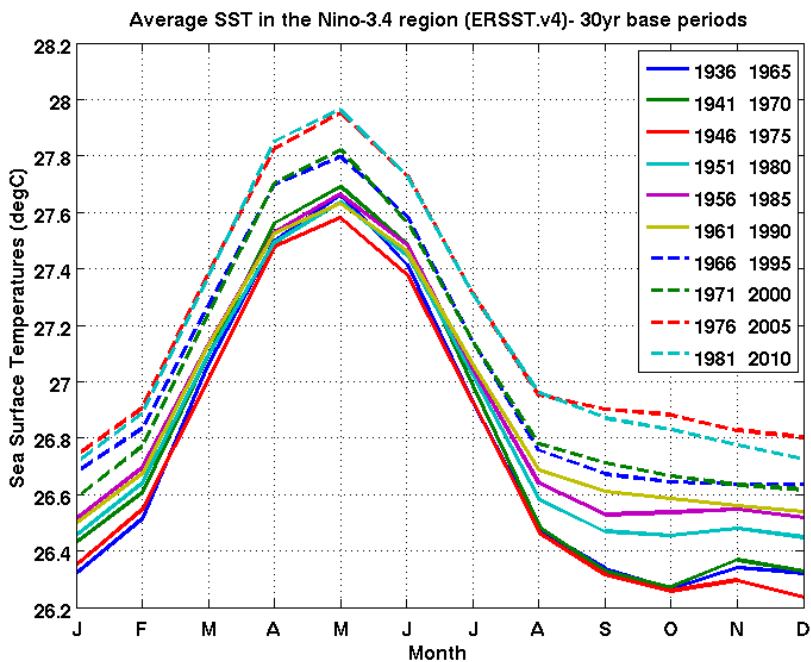
[http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis\\_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml](http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml), pridobljeno 10. 3. 2016)

Year	DJF	JFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDJ
2005	0.6	0.6	0.5	0.5	0.4	0.2	0.1	0	0	-0.1	-0.4	-0.7
2006	-0.7	-0.6	-0.4	-0.2	0.0	0.1	0.2	0.3	0.5	0.8	0.9	1.0
2007	0.7	0.3	0	-0.1	-0.2	-0.2	-0.3	-0.6	-0.8	-1.1	-1.2	-1.3
2008	-1.4	-1.3	-1.1	-0.9	-0.7	-0.5	-0.3	-0.2	-0.2	-0.3	-0.5	-0.7
2009	-0.8	-0.7	-0.4	-0.1	0.2	0.4	0.5	0.6	0.7	1.0	1.2	1.3
2010	1.3	1.1	0.8	0.5	0	-0.4	-0.8	-1.1	-1.3	-1.4	-1.3	-1.4
2011	-1.3	-1.1	-0.8	-0.6	-0.3	-0.2	-0.3	-0.5	-0.7	-0.9	-0.9	-0.8
2012	-0.7	-0.6	-0.5	-0.4	-0.3	-0.1	0.1	0.3	0.4	0.4	0.2	-0.2
2013	-0.4	-0.5	-0.3	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.3
2014	-0.5	-0.6	-0.4	-0.2	0	0	0	0	0.2	0.4	0.6	0.6
2015	0.5	0.4	0.5	0.7	0.9	1.0	1.2	1.5	1.8	2.1	2.2	2.3
2016	2.2	2.0										

Preglednica 1 predstavlja beleženje razlike povprečnih temperatur površinske vode za obdobje treh mesecev, ki se razlikuje od 30-letnega povprečja, ki se ga izračuna na vsakih pet let. Rdeče vrednosti predstavljajo toplejšo, modre pa hladnejšo vodo od povprečja (povprečje je označeno s črno barvo) pri pragu 0,5 °C. Vrednosti so obarvane z rdečo ali modro samo v primeru, če je vsaj pet zaporednih obdobji presežlo ali padlo pod zastavljen prag povprečnih vrednosti temperatur površinskih voda, črne vrednosti pa so tiste, ki ne presegajo zgornjega ali spodnjega praga 30-letnega povprečja. Vrednosti so merjene med 5° severno in 5° južno zemljepisno širino ter od 120° do 170° zahodno od Greenwicha.

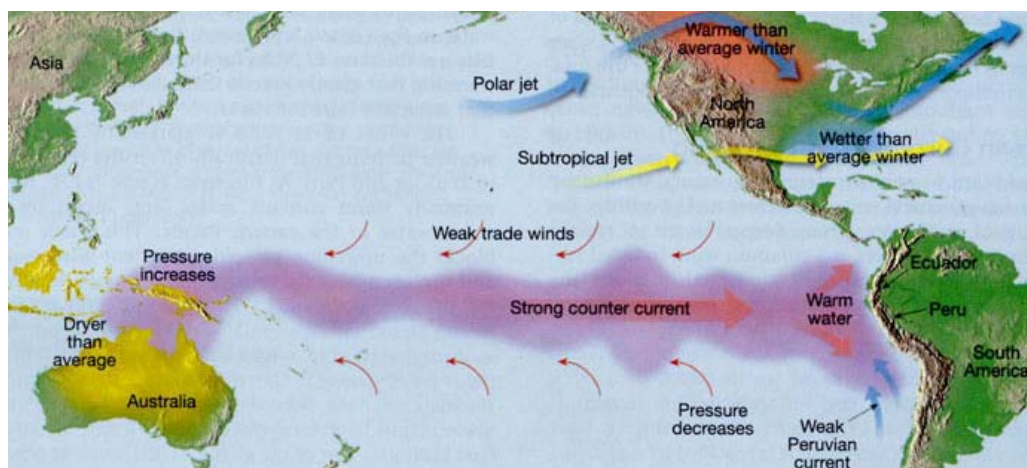
Slika 3 prikazuje graf vseh vrednosti 30-letnih povprečij, narejenih vsakih pet let. Grafi zajemajo razvoj temperature površinskih voda centralnega ekvatorialnega Pacifika v celem letu. Te 30-letne povprečne vrednosti se uporabljajo kot referenčna vrednost, od katere se meri odstopanje trenutne temperature površinskih voda. Za obdobje merjenja temperatur od 1950 do 1955 se tako na primer upošteva referenčno povprečje iz obdobja od leta 1936 do 1965, medtem ko se za obdobje 1956–1960 upošteva referenčno obdobje iz obdobja 1941–1970 (NOAA II).

Opaziti je mogoče, da je še posebno od leta 1976 povprečna temperatura površinskih voda narasla za približno 0,1 °C in to v vseh obdobjih v letu. Najhladnejša voda je bila v obdobju od 1946 do 1975, najtoplejša pa v obdobju od 1976 do 2005 in v obdobju od 1981 do 2010. Opaziti je mogoče tudi, da je temperatura površinske vode Pacifika v zadnjih štiridesetih letih izjemno narasla. Samo predvidevamo lahko, kakšna bo vrednost povprečne temperature površinskih voda v obdobju 1986–2015 glede na to, da se tudi vrednosti stanja El Niño v letu 2015 nagibajo njemu v prid s postopnim dvigovanjem temperature površinske vode.



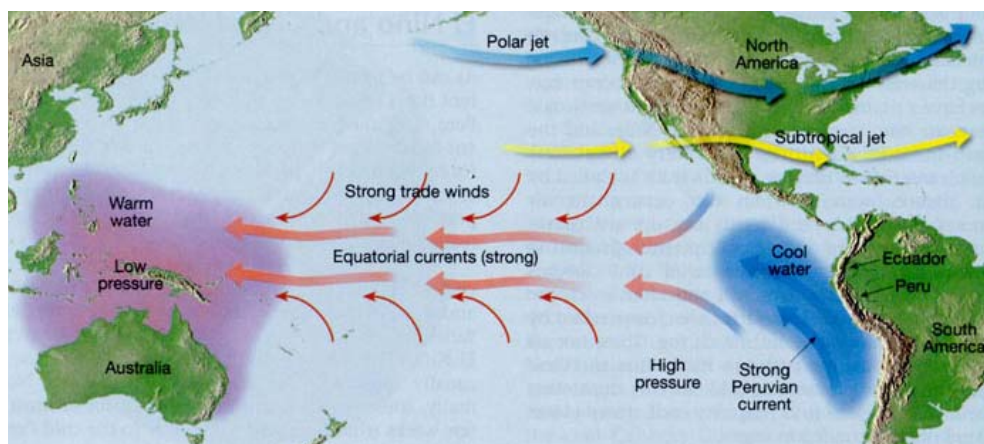
Slika 3: 30-letna povprečna temperatura površinskih voda v celem letu (vir: [http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis\\_monitoring/ensostuff/ONI\\_change.shtml](http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_change.shtml), pridobljeno 11. 3. 2016)

Leto El Niña oziroma La Niña se začne beležiti s 1. oktobrom ter se zaključi 30. septembra naslednjega leta. Sezona obdobja pojava se začneja in končuje v jesenskih mesecih. Na ameriški celini, poleg Peruja in Čila, se vplive El Niña spremlja predvsem še v ZDA in Kanadi. Sušna obdobja se običajno pojavljajo pozimi in spomladi v letu, ko je La Niña, medtem ko se deževna obdobja pojavljajo pozimi in spomladi v letu El Niña (Brolley et al., 2007).



Slika 4: Stanje vremenskega pojava El Niño (vir: <http://biophysics.sbg.ac.at/atmo/elnino.htm> pridobljeno 15. 3. 2016)

Kot kaže slika 4, je za EL Niño značilen padec zračnega tlaka nad obalami Južne Amerike in povišanje zračnega tlaka nad Avstralijo in Indonezijo, kar oslabi vzhodne vetrove, ki nato ne uspejo preprečiti gibanja tople površinske vode proti obalam Amerike. Hladen morski tok ob obalah Čila je oslavljen zaradi velike količine toplejše vode, zato hranilne snovi ter ribe ne prihajajo do obal Južne Amerike. Posledica so obilne padavine na vzhodu Pacifika, medtem ko so na zahodu sušna obdobja. Zaznati je mogoče tudi, da so zime milejše v Severni Ameriki ter bolj deževne na jugu ZDA.

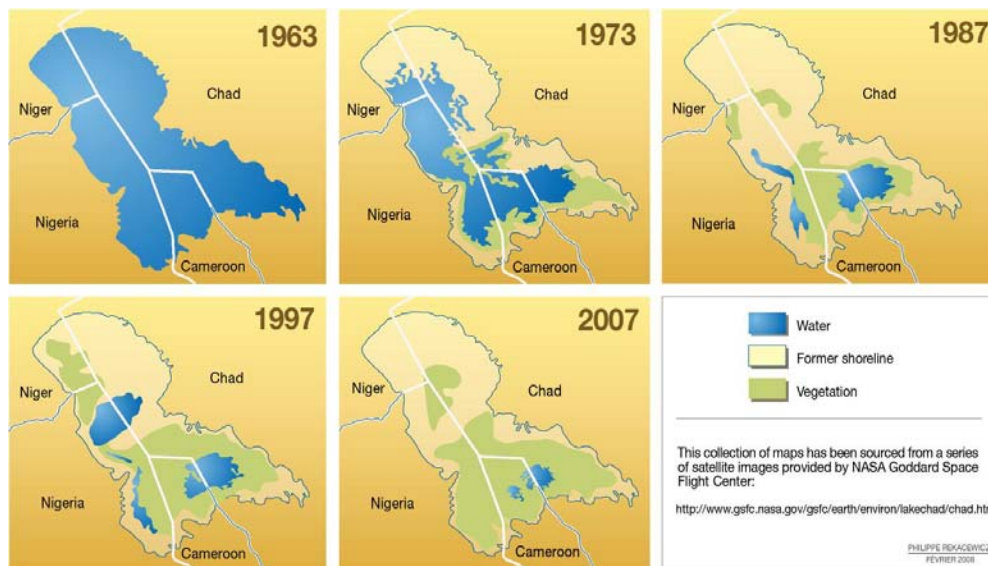


Slika 5: Normalno vremensko stanje oziroma stanje vremenskega pojava La Niña (vir: <http://biophysics.sbg.ac.at/atmo/elniño.htm>, pridobljeno 15. 3. 2016)

Slika 5 prikazuje stanje La Niña. Nad Avstralijo in Indonezijo je območje nizkega zračnega tlaka, ob obalah Južne Amerike pa je območje visokega zračnega tlaka. Vetrovi normalno pihajo z vzhoda na zahod in preprečujejo površinski topli vodi širjenje po ekvatorju na vzhod. Morski tok ob obalah Južne Amerike prinaša hladnejšo vodo z veliko hranili in bogato z ribami. Na zahodnih obalah Južne Amerike je sušno obdobje, medtem ko so na zahodnem delu Pacifika deževja.

Na podlagi raziskav so ugotovili, da spremembe temperature površinskih voda ekvatorialnega Tihega oceana lahko kratkoročno vplivajo na klimatske spremembe po celem svetu. S pomočjo teh variacij temperature se lahko v določeni meri predvidi sezonske temperature in padavine do enega leta vnaprej. ENSO je značilen in dejaven predvsem na ameriškem kontinentu, njegovi vplivi pa se opazijo tudi v Evropi, Afriki in Aziji. Odkrili so, da ENSO neposredno vpliva na severnoameriško pacifiško nihanje (Pacific North America oscilation – PNA), medtem ko le-to delno vpliva na severnoatlantsko nihanje (North Atlantic Oscilation – NAO), ki je pglavitnega pomena za vremenske razmere v Evropi in severni Afriki. Spreminjanje temperature površinske vode Indijskega in Atlantskega oceana vpliva na vedno večje suše na območju severne Afrike in posledično tudi Sredozemlja (Ould Cherif Ahmed et al., 2008). Tako smo priča vedno bolj ekstremnim vročinskimi valom v poletnih mesecih ter neustavljivemu širjenju saharske puščave.

Z veliko težavo vse bolj suhega podnebja se spoprijemajo tudi v podsaharski Afriki. Primer za to je izsuševanje Čadskega jezera, kar je prikazano na sliki 6. Tamkajšnjih prebivalcev ne moremo obtožiti neprimernega ravnanja z vodo ter pretiranega namakanja obdelovalnih površin, kar je značilno za okolico Aralskega jezera. Čadsko jezero se namreč izsušuje, zato ker se je podnebje spremenilo in so padavine vse redkejše.



Slika 6: Sekvenca slik prikaza izsuševanja Čadskega jezera (vir: <http://edugeography.com/content/chad-lake.html>, pridobljeno 16. 3. 2016)

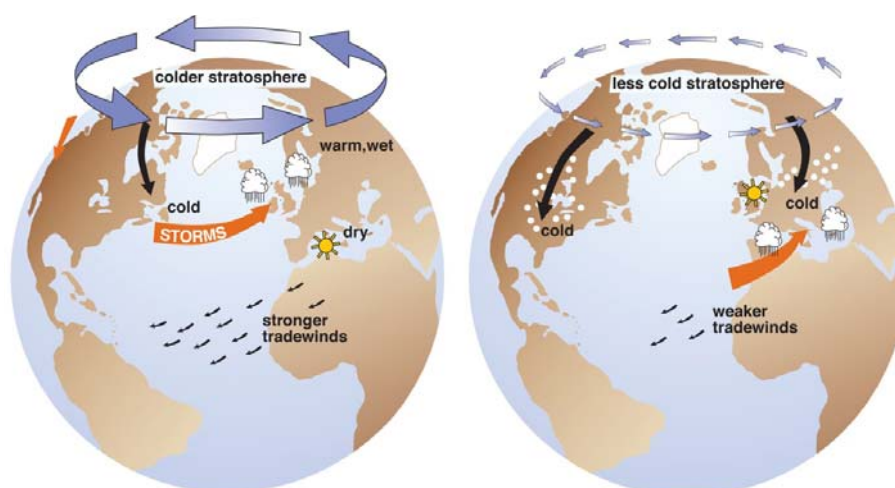
V zadnjih štiridesetih letih se je tako rekoč skoraj celo jezero izsušilo. Jezero je še v šestdesetih letih imelo 26.000 km<sup>2</sup>, po letu 2000 pa ga je ostalo samo nekaj več kot 1.000 km<sup>2</sup>. To je za naravne pogoje zelo kratko obdobje, saj sta se v štirih desetletjih popolnoma spremenila klima in okolje. Po celotnem območju severne Afrike se spoprijemajo s širjenjem puščave, ne samo na severu ob Sredozemskem morju, ampak tudi proti centralni Afriki. Čadsko jezero je torej primer, kako se klima spreminja in kako nekoč deževna ter cvetoča podsaharska Afrika postaja širna planjava puščavskih sipin.

Če na ameriško celino večinoma vpliva El Niño, je na območju Evrope čutiti druge podnebne vplive: Arctic Oscillation (AO), arktično nihanje, ali Northern Annular Mode/Northern Hemisphere Annular Mode (NAM), severnopolobni krožni način. Tesno povezano z vplivanjem AO je tudi North Atlantic Oscillation (NAO), severnoatlantsko nihanje, ki deluje vse od obal Atlantika pa do zahodne Rusije.

### 2.3.5 Arktično nihanje

Arctic oscillation (AO) ali North Annular Mode/North Hemisphere Annular Mode (NAM) oziroma arktično nihanje je eno najpomembnejših vremenskih nihanj na severni polobli. To je nihanje zračnega tlaka na vodni gladini oziroma nad kopnim na skrajnem severu, ravno nad severnim polom, ima pa močan vpliv na vremenske razmere tudi nižje proti jugu. Deluje večinoma severno od 60° severne zemljepisne širine, čeprav se njegov vpliv čuti vse do 45° severne zemljepisne širine. Arktično nihanje ima velik vpliv na območja Evrope, Azije in Severne Amerike, ravno zato evropske in ameriške vremenske agencije ter znanstveniki redno spremljajo razvijanje njegovega stanja. Strokovnjaki pripisujejo arktičnemu nihanju največji vpliv na podnebne spremembe severne poloble (Mitchell, 2004). Deli pa se na pozitivno in negativno fazo, ki se izmenjujeta in tvorita vremenske razmere za Evropo, severno Azijo in Severno Ameriko.

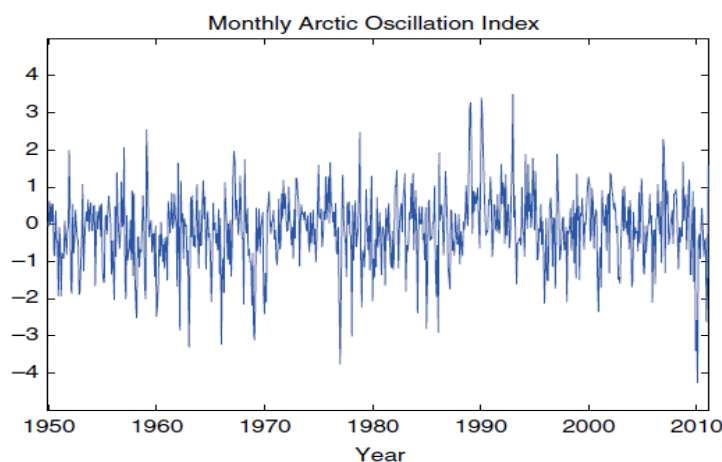
Pri pozitivni fazi (slika 7), ko je stanje bolj umirjeno, se višji zračni tlak zadržuje nižje na geografski širini, medtem ko na severu zračni tlak pada, kar pripelje do prodiranja oceanskih neviht višje proti severnemu polu. Tako je več deževja na območju severne Kanade, Grenlandije, Islandije, mogoče tudi Škotske, Skandinavije severne Rusije ter Aljaske. Bolj suho vreme pa je na območju ZDA, Evrope, Mediterana ter osrednje Azije. Za to fazo je tudi značilno, da ekstremno hladen zrak ostaja ujet nad severnim polom, saj mu visok zračni tlak na robu območja nizkega tlaka ne dopušča prodirati proti jugu. Polarni krožni vetrovi, ki krožijo od zahoda proti vzhodu, so zelo močni in se vedno držijo na približno isti geografski širini. Ti vetrovi krožijo v smeri nasproti urinega kazalca in so večinoma na 55° severne zemljepisne širine. Tako je izjemno hladen zrak na severnem polu, ko se oddaljujemo od njega, pa je vse toplejši zrak.



Slika 7: Levo pozitivna faza in desno negativna faza arktičnega nihanja (vir: [https://nsidc.org/cryosphere/arctic-meteorology/weather\\_climate\\_patterns.html](https://nsidc.org/cryosphere/arctic-meteorology/weather_climate_patterns.html), pridobljeno 13. 3. 2016)

Pri negativni fazi arktičnega nihanja je ravno nasprotno dogajanje. Zrak z nižjim zračnim tlakom se zadržuje daleč stran od pola, ravno zato ker je nad arktičnim polom območje z visokim zračnim tlakom. Meja med obema zračnima tlakoma je dokaj razširjena čez večja območja od severa proti jugu. Nad severnim polom se je ustvarilo močno in stabilno območje z visokim zračnim tlakom in toplejšimi temperaturami, medtem ko so južneje območja z nižjim zračnim tlakom, obilnejšimi padavinami in nižjimi temperaturami. Polarni vetrovi, ki krožijo v nasprotni smeri urinega kazalca okrog pola od zahoda proti vzhodu, so oslabljeni. Deževje in hladen zrak se zadržujeta v središču Severne Amerike, medtem ko imata severna Kanada in Aljaska višje temperature ter sončno vreme. Ravno tako je v Evropi; medtem ko je Mediteran oblegan z deževnimi oblaki, so sever Skandinavije, Škotska in Islandija obsijane s soncem (Hansen et al., 2010).

Ravno tako kot se preučuje številne druge vremenske pojave, se tudi arktično nihanje preučuje že vrsto let, prikaz arktičnega nihanja je na sliki 8. Vremenske agencije beležijo podatke in preučujejo njegovo delovanje (preglednica 2). Tako so ugotovili, da je v določenih obdobjih arktično nihanje vztrajalo na pozitivni fazi, včasih pa na negativni fazi. Pozitiven in negativen vpliv se izmenjujeta, v določenih obdobjih oziroma desetletjih je tako mogoče opaziti tendenco k eni ali drugi fazi. Najhujša negativna faza arktičnega nihanja je bila registrirana v zimi iz leta 2009 na 2010, kot kaže slika 9. Glede na močno delovanje Rossbyevih valov ravno v času od novembra do februarja se predvideva, da je na tako negativno stanje arktičnega nihanja vplival El Niño (Ripesi et al., 2012).



Slika 8: Mesečno povprečje arktičnega nihanja, merjeno od januarja 1950 do aprila 2011 (povzeto po Repesi et al., 2012: str. 2)

Arktično nihanje ima močan vpliv tudi na kroženje zraka v troposferi, to je na višini do 20 kilometrov. V pozitivni fazi arktičnega nihanja so zračni tokovi dokaj omejeni na določeno območje, pri negativni fazi pa se ti isti zračni tokovi okrepijo. To pripelje do temperaturnih anomalij v ozračju oziroma inverzije, ko je hladnejši zrak ujet pri tleh, nad njim pa se zadržuje toplejši zrak. Slednje še bolj oslabi polarno kroženje zračnih mas. Tako je bilo februarja 2010 izmerjeno do sedaj najnižje arktično nihanje





Indeks arktičnega nihanja se izračuna vsakodnevno na podlagi povprečja iz obdobja od 1979 do 2000, med 20° in 90° severne zemljepisne širine ter na višini 1000 milibarov. Vrednosti predstavljajo odstopanje od mesečnega povprečja referenčnega obdobja.

### 2.3.6 Severnoatlantsko nihanje

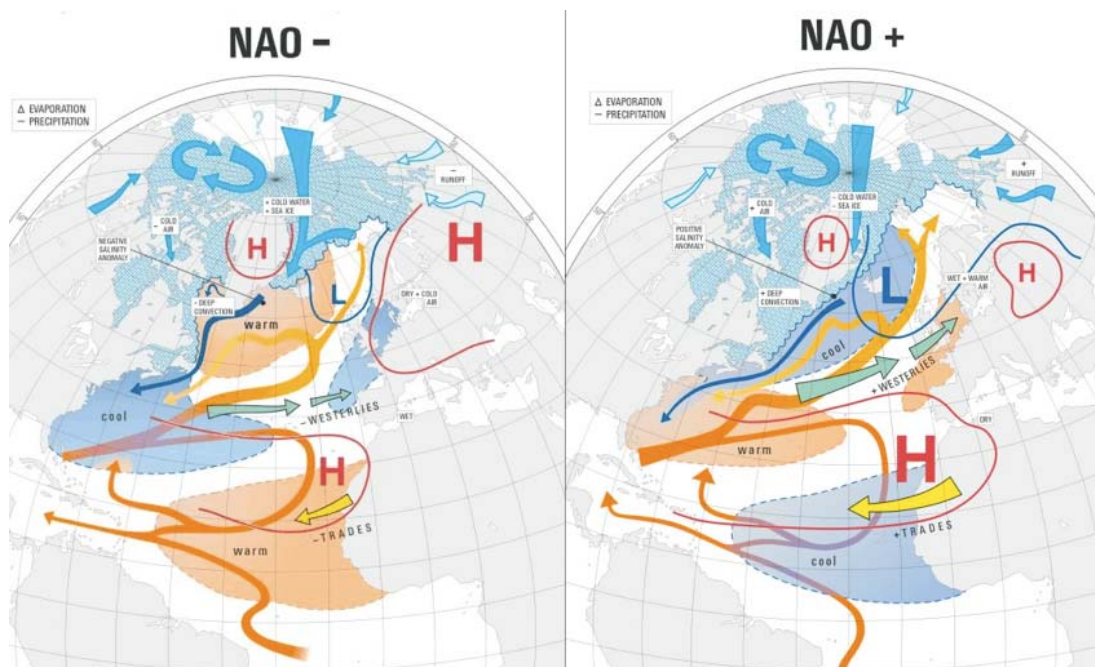
North Atlantic Oscillation (NAO) oziroma severnoatlantsko nihanje je klimatski pojav, ki je izoliran samo na območju severnega Atlantskega oceana. Ravno tako kot ostala nihanja tudi severnoatlantsko nihanje temelji na spreminjanju zračnega tlaka na morski gladini. Na njegovo delovanje imata močan vpliv islandsko področje nizkega zračnega tlaka ter azorsko območje visokega zračnega tlaka. Izmenjavanje zračnega tlaka med njima kroji vremenske razmere za celotno Evropo, severno Afriko in območje Bližnjega vzhoda.

Severnoatlantsko nihanje je odkril sir Gilbert Walker leta 1932 kot razliko v zračnem tlaku srednjega in severnega Atlantika. Niso ga zanimali samo atlantski pojavi, med drugim je tudi veliko preučeval El Niño. Za razliko od El Niña je pri severnoatlantskem nihanju čutiti veliko večji vpliv zaradi spremembe zračnega tlaka na gladini morja, kot pa samo zaradi temperature vode in ostalih dejavnikov. Za tvorjenje severnoatlantskega nihanja je tako ključnega pomena predvsem izmenjevanje in pretakanje zračnega tlaka med azorskim območjem visokega zračnega tlaka ter islandskim območjem nizkega zračnega tlaka. Ti dve območji sta konstantno v medsebojni interakciji. Severnoatlantsko nihanje temelji na razliki med meritvami povprečnega sezonskega zračnega tlaka, izmerjenega na Azorih, in meritvami povprečnega sezonskega zračnega tlaka, izmerjenega na Islandiji, kar je prikazano v preglednici 3 in v grafični obliki na sliki 11.

Vetrovi z zahoda prinašajo vlažen zrak čez Atlantik v Evropo. Študije so bile narejene na podlagi tega vetra z zahoda in njegovega vpliva na vremenske razmere v Evropi. Opaziti je mogoče, da so kot posledica močnejših vetrov poletja hladnejša, zime pa blage z obilo padavin. Ko so vetrovi z zahoda šibkejši, so tudi temperature bolj ekstremne; od vročinskih valov do hudih zmrzali ter manjših količin padavin. Območji konstantno nizkega zračnega tlaka nad Islandijo in konstantno visokega zračnega tlaka nad Azori nadzorujeta smer in moč vetra z zahoda. Smer in moč vetra se spreminjata iz obdobja v obdobje in to spreminjanje oziroma nihanje je definirano kot severnoatlantsko nihanje. Tako je mogoče definirati tudi pozitivno in negativno fazo med obema nihanjema, prikazano na sliki 10 (Hurrell et al., 2010).

Z zahoda proti Evropi čez Atlantik ne piha samo veter, ki prinaša vlažen zrak, ampak tudi zalivski tok potuje v isti smeri. Zalivski tok se pretaka iz Mehškega zaliva mimo Floride ob obalah vzhodne Amerike, kjer prečka Atlantik. Ob evropskih obalah se steka med Islandijo in Britanskim otočjem ter nadaljuje pot ob skandinavski obali proti severu. Za zalivski tok je značilno, da je topel, saj prihaja iz ekvatorialnih vod. Ker je topel, je višje na gladini in prinaša toplo vodo do severne Evrope, kjer se tudi

zaradi bližine in vedno večje količine hladne arktične vode počasi ohladi. Vetrovi z zahoda in zalivski tok torej potujejo približno po isti poti ter je veter s svojo vlažnostjo zelo odvisen od toplega zalivskega toka.



Slika 10: Levo negativna faza in desno pozitivna faza severnoatlantskega nihanja (vir: <http://www.ossfoundation.us/projects/environment/global-warming/north-atlantic-oscillation-nao>, pridobljeno 22. 3. 2016)

Kot vsa nihanja se tudi severnoatlantsko nihanje deli na pozitivno in negativno fazo. Obe fazi se izmenjujeta glede na stanje zračnega tlaka sredi severnega Atlantika. Glavna lastnost obeh faz je ravno razlika v zračnem tlaku, pri obeh fazah vetrovi pihajo z zahoda na vzhod, ravno tako kot zalivski tok. Edina razlika je v moči vetra, temperaturi zraka ter v vlažnosti, ki se lahko razširi od vzhodnih obal Severne Amerike pa vse do severne in centralne Evrope. Najbolj živahno in nepredvidljivo vremensko dogajanje je od meseca novembra pa do aprila. Dejavno je predvsem v Evropi in vzhodni Severni Ameriki z močnejšimi vetrovi ter s spremembami smeri vetrov, s spreminjanjem temperature ter z razporeditvijo in intenzivnostjo vlažnosti. Sledijo tudi nevihte, ki potujejo v smeri z zahoda na vzhod.

Pri negativni fazi severnoatlantskega nihanja je mogoče občutiti šibek zalivski tok, ki se komaj prebije do Britanskega otočja, prav tako pa sta oslabljeni območja azorskega visokega zračnega tlaka in islandskega nizkega zračnega tlaka. Zaradi tega prihaja do zelo šibkih vetrov, ki pihajo z zahoda nad Evropo. Ti vetrovi so usmerjeni tudi nižje proti južni Evropi oziroma na Mediteran. Zime na severu Evrope so zelo suhe in hladne, poletja pa nevihtna nad Sredozemskim morjem. Tako je več padavin v južni Evropi in tudi na severu Afrike. Nad severno Evropo se ustvari območje razmeroma suhega in hladnega zraka, ki se dolgo zadržuje nad tem območjem. Prav tako je hladen zrak razširjen nad

Atlantikom ter nad vzhodno obalo Severne Amerike. Medtem pa se nad Mediteranom, južno Evropo in severno Afriko sočasno razprostira razmeroma toplejši in vlažen zrak. Hladen zrak se lahko s severnimi vetrovi hitro razširi proti jugu in povzroči ledene nevihte na območjih, kjer običajno zime niso tako hladne, v poletnih mesecih pa se običajno pojavijo vročinski valovi. Oslabljeni vetrovi, ki pihajo z vzhoda na zahod, počasi razpihujejo topel zrak iz severne Afrike nad Atlantik. Razmeroma toplejši zrak se zadržuje tudi na skrajnem severu Atlantika od obal Kanade, čez Grenlandijo in Islandijo. Opaziti je, da je tudi meja zmrznjenega morja in plavajočega ledu na morju precej višje, proti severu.

Pozitivna faza severnoatlantskega nihanja je ravno nasprotna. Zanj sta značilna zelo močno območje visokega zračnega tlaka nad Azori ter zelo nizko območje islandskega nizkega zračnega tlaka. Ti veliki razliki v zračnem tlaku še toliko bolj pospešita in okrepiata vetrove, ki pihajo z zahoda čez Atlantik nad Evropo. Ti vetrovi so pri pozitivni fazi usmerjeni severneje in pihajo proti Britanskemu otočju in Skandinaviji. Ne samo vetrovi, tudi zalivski tok je močnejši in prodira mimo Islandije in Skandinavskega polotoka vse do Severnega ledenega morja. V zimskem času visok zračni tlak preprečuje hladnemu arktičnemu zraku širjenje proti jugu, kar se pozna kot toplejše zime z veliko vlažnosti na vzhodni obali Kanade in ZDA ter v severni Evropi, v mediteranskem območju pa je bolj suho kot običajno. Meja zmrznjenega morja in plavajočega ledu je nižje proti jugu in v celoti obdaja Grenlandijo ter vse kanadske obale (Hurrell et al., 2001; NOAA III).

Preglednica 3: Povprečna mesečna vrednost indeksa severnoatlantskega nihanja za zadnjih deset let in do danes (vir:

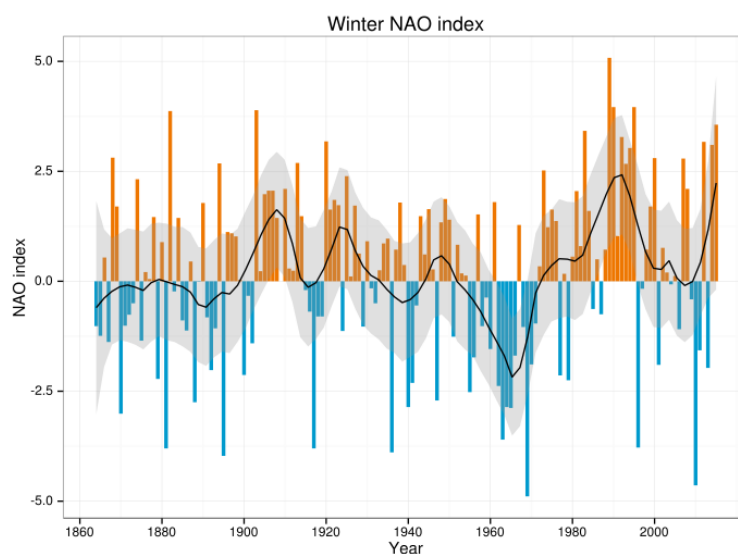
<http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/CWlink/pna/norm.nao.monthly.b5001.current.ascii.table>, pridobljeno 9. 4. 2016)

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
2005	1.52	-0.06	-1.83	-0.30	-1.25	-0.05	-0.51	0.37	0.63	-0.98	-0.31	-0.44
2006	1.27	-0.51	-1.28	1.24	-1.14	0.84	0.90	-1.73	-1.62	-2.24	0.44	1.34
2007	0.22	-0.47	1.44	0.17	0.66	-1.31	-0.58	-0.14	0.72	0.45	0.58	0.34
2008	0.89	0.73	0.08	-1.07	-1.73	-1.39	-1.27	-1.16	1.02	-0.04	-0.32	-0.28
2009	-0.01	0.06	0.57	-0.20	1.68	-1.21	-2.15	-0.19	1.51	-1.03	-0.02	-1.93
2010	-1.11	-1.98	-0.88	-0.72	-1.49	-0.82	-0.42	-1.22	-0.79	-0.93	-1.62	-1.85
2011	-0.88	0.70	0.61	2.48	-0.06	-1.28	-1.51	-1.35	0.54	0.39	1.36	2.52
2012	1.17	0.42	1.27	0.47	-0.91	-2.53	-1.32	-0.98	-0.59	-2.06	-0.58	0.17
2013	0.35	-0.45	-1.61	0.69	0.57	0.52	0.67	0.97	0.24	-1.28	0.90	0.95
2014	0.29	1.34	0.80	0.31	-0.92	-0.97	0.18	-1.68	1.62	-1.27	0.68	1.86
2015	1.79	1.32	1.45	0.73	0.15	-0.07	-3.18	-0.76	-0.65	0.44	1.74	2.24
2016	0.12	1.58	0.73									

Te vrednosti predstavljajo mesečna odstopanja od indeksa severnoatlantskega nihanja, dnevno izmerjenega na višini 500 milibarov, za referenčno obdobje od 1981 do 2010.

Izmenjavanje pozitivne in negativne faze severnoatlantskega nihanja ima tudi velik vpliv na rast pridelkov. Negativna faza severnoatlantskega nihanja lahko v zimskem času s hudim mrazom vse do

zgodnjih spomladanskih mesecev negativno vpliva na kvaliteten razvoj poljščin. Številni strokovnjaki sklepajo, da severnoatlantsko nihanje deluje skladno z vplivi El Niña ter da oba pojava skupaj še intenzivneje učinkujeta na vremenske razmere na območju severovzhodne Amerike in Evrope (NOAA III). Severnoatlantsko nihanje širi svoj vpliv vse od vzhodnega Mediterana do zahodne Azije. Zslediti je mogoče predvsem nizek zračni tlak, ki pozimi prodira s severa Evrope čez Mediteran vse od Bližnjega vzhoda ter severnih obal Afrike in s seboj prinaša obilnejše padavine. Večina analiz severnoatlantskega nihanja se osredotoča na njegovo zimsko delovanje, za to, da bi ugotovili, kakšen je njegov vpliv na afriški celini, pa so preučili njegovo delovanje v poletnih mesecih. Študije prikazujejo, da je pozitivna faza severnoatlantskega nihanja povezana z izrednimi vlažnimi pogoji nad zahodnim Mediteranom ter hkrati z zelo suhimi pogoji nad Saharo. Vpliv pozitivne faze severnoatlantskega nihanja teži k oslabitvi zahodnoafriških monsunov, medtem ko se krepi tok čez Sredozemlje in Egipt. Špekulira se glede povezave monsunskih obdobj Zahodne Afrike in deževij etiopskega višavja s severnoatlantskim nihanjem, saj je mogoče opaziti, da je med negativno fazo severnoatlantskega nihanja ob aktivnem delovanju zahodnoafriških monsunov najbolj povečan vodostaj reke Nil. Zaključne ugotovitve kažejo, da podnebne lastnosti predvsem od Bližnjega vzhoda pa do etiopskih višav niso pod vplivom El Niña, pač pa so pod vplivom monsunov z Indijskega oceana ter severnoatlantskega nihanja (Feliks et al., 2010).



Slika 11: Zimski prikaz severnoatlantskega nihanja glede na stanje zračnega tlaka na morski gladini med Lizbono in Reykjavikom, merjeno od leta 1864 (vir:

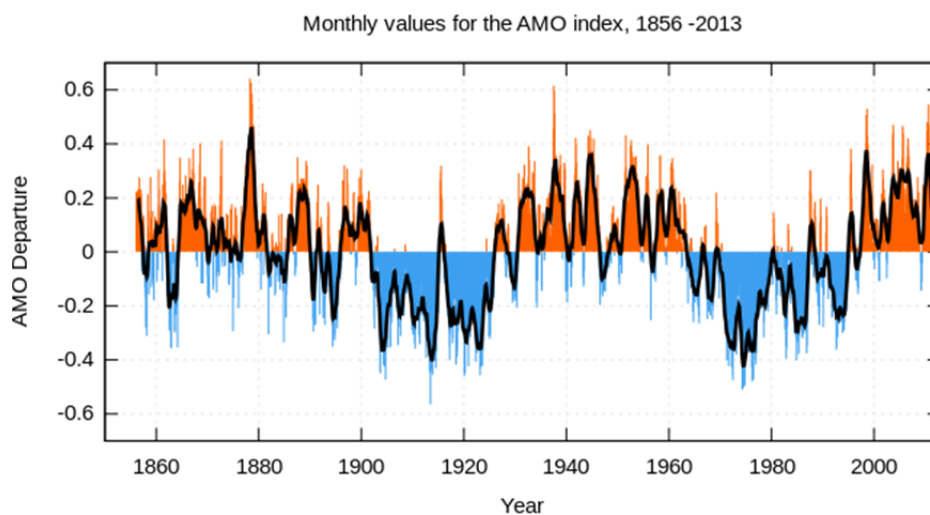
[https://en.wikipedia.org/wiki/North\\_Atlantic\\_oscillation](https://en.wikipedia.org/wiki/North_Atlantic_oscillation), pridobljeno 23. 3. 2016)

### 2.3.7 Atlantsko večdesetletno nihanje

Atlantic Multidecadal Oscillation (AMO) oziroma atlantsko večdesetletno nihanje je dolgotrajno nihanje, ki temelji na površinski temperaturi vode Atlantika. Pri nihanju se izmenjujeta hladna in topla faza, kar lahko traja tudi od 20 pa do 40 let. Pojav je naravno nihanje temperature površinskih slojev

oceanske vode in se dogaja že vsaj zadnjih 1000 let. Razlika med najvišjo in najnižjo izmerjeno temperaturo znaša približno 1,8 °C. Atlantsko večdesetletno nihanje sta odkrila Schlesinger in Ramankutty leta 1994 ter velja za Atlantski ocean od ekvatorja pa vse do severnega pola. Znanstveniki s tega področja domnevajo, da so pod enakim vplivom tudi določena območja severnega Pacifika in ne samo Atlantika (OSS).

Za pridobitev indeksa atlantskega večdesetletnega nihanja je treba odstraniti vse vplive toplogrednih plinov in globalnega segrevanja, saj ti predstavljajo velik dejavnik pri stanju temperature površinskih voda. Posledično lahko tudi korekcija indeksa atlantskega večdesetletnega nihanja zakrije efekte globalnega segrevanja. Številne metode so bile predlagane za določitev realnega stanja indeksa atlantskega večdesetletnega nihanja brez vpliva ostalih dejavnikov. Tukaj so se strokovnjaki predvsem osredotočili na izključitev vpliva El Niña, saj domnevajo, da s svojim delovanjem vpliva na globalni ravni in posledično učinkuje na temperaturne razmere površinske vode tudi Atlantskega oceana. Prav tako kot za ostale oceane veljajo tudi za Atlantik podobne razmere. Ker El Niño deluje predvsem na območju ekvatorialnih voda Pacifika in so te vode tudi najbolj pod vplivom globalnega segrevanja, so se strokovnjaki odločili, da bodo za pridobitev indeksa atlantskega večdesetletnega nihanja odstranili podatke povprečne temperature površinskih voda ravno iz tropskega območja. Vsak strokovnjak se je primera lotil po svoje, cilj pa je predvsem neupoštevanje ekvatorialne temperature površinskih voda. Že od približno leta 1995 je severni Atlantik v topli fazi ter izmere kažejo, da so sedanje najvišje vrednosti podobne tistim najvišjim iz sredine dvajsetega stoletja, ko je bila prejšnja topla faza, kar je razvidno na sliki 12.



Slika 12: Atlantsko večdesetletno nihanje od leta 1856 do 2013 (vir: [https://en.wikipedia.org/wiki/Atlantic\\_multidecadal\\_oscillation](https://en.wikipedia.org/wiki/Atlantic_multidecadal_oscillation), pridobljeno 23. 3. 2016)

Indeks atlantskega večdesetletnega nihanja je pomemben, ker je povezan s temperaturo zraka ter s padavinami na večini severne poloble. Vpliva na poletno klimo v Severni Ameriki in Evropi ter na

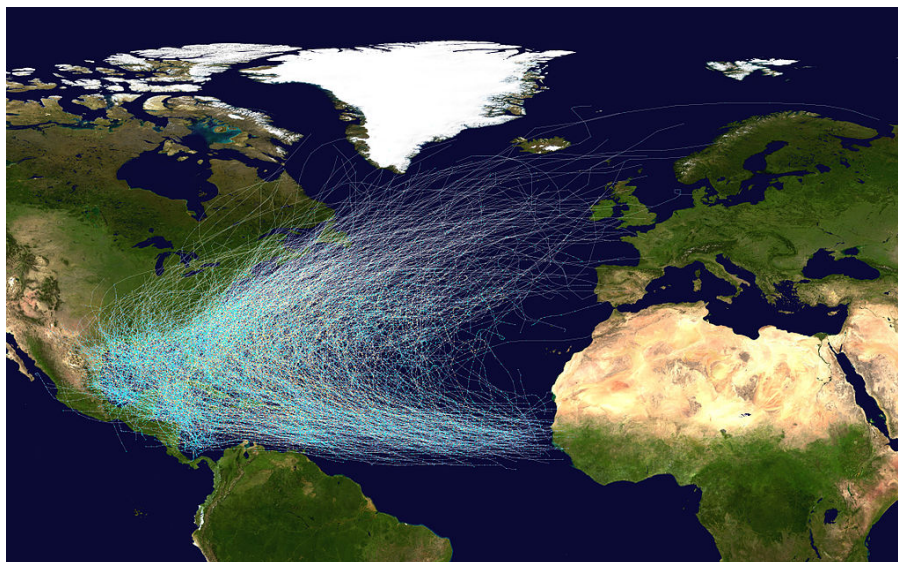
padavine Severne Amerike, vzhodnega dela Južne Amerike, na celotno Evropo ter na severno Afriko. Prav tako ima velik vpliv na sušna obdobja na teh območjih ter na pogostost orkanov, ki se tvorijo na Atlantiku. Nedavne raziskave kažejo, da je atlantsko večdesetletno nihanje povezano s pojavljanjem sušnih obdobj, predvsem v centralnih državah ZDA. Ko je atlantsko večdesetletno nihanje v svoji topli fazi, so te suše pogostejše in dolgotrajnejše. Dva izmed hujših sušnih obdobj dvajsetega stoletja sta se pojavila ravno v topli fazi med letoma 1925 in 1965. Pojav so poimenovali Dust Bowl in je trajal v valovih od leta 1934 do 1940. V tem obdobju so ZDA trpele hudo sušo s številnimi prašnimi nevihtami, življenjski pogoji so bili izjemno težki, poljedelstvo pa je bilo hudo prizadeto. Okolje se je začelo spreminjati v puščavo. Drugo sušno obdobje je bilo od leta 1950 do 1957 in še vedno velja za najhujše sušno obdobje v zgodovini ZDA ter je najbolj prizadelo državo Teksas. Sušno obdobje se je nadaljevalo še v naslednjih letih in je večinoma prizadelo Kalifornijo. Leto 1961 velja za ekstremno sušno obdobje na zahodu ZDA, kjer so presahnila tudi številna naravna jezera. Za Florido in za severozahodno obalo ZDA pa velja ravno nasprotno, saj so v topli fazi atlantskega večdesetletnega nihanja značilne obilne padavine. Klimatski modeli kažejo, da se med toplo fazo atlantskega večdesetletnega nihanja krepijo padavine na območju Indije in južnega saharskega pasu ter se povečuje tudi dejavnost severnoatlantskih orkanov (NOAA IV).

### **2.3.8 Atlantski orkani**

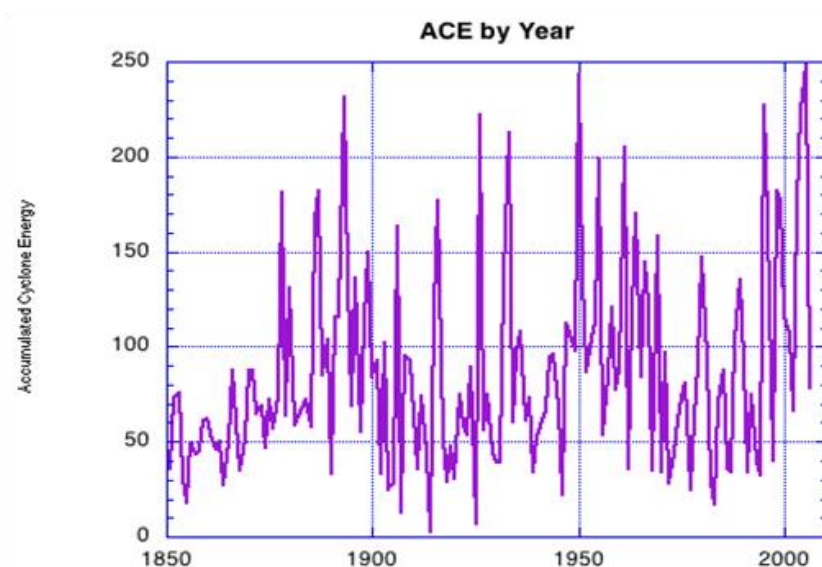
Atlantsko večdesetletno nihanje je predvsem pomembno tudi za nastajanje orkanov, ki so večinoma pomembni za Srednjo in Severno Ameriko. Največkrat nastanejo v ekvatorialnih vodah Atlantika in potujejo proti severozahodu, nato pa se v loku obrnejo in nadaljujejo pot na severovzhod, odvisno od njihovega trajanja, kot je razvidno na sliki 13. Najbolj so na udaru države Karibov, Srednje Amerike ter južne in jugovzhodne države ZDA. Tu tudi orkani dosežejo svojo največjo moč in le redko prečkajo Atlantik oziroma so pred obalami zahodne Evrope že tako šibki, da počasi izgubijo vso moč ter izginejo.

Pri ogledu dejanskih podatkov za kratkoročno obdobje bi se lahko brez poglobljene analize trdilo, da pogostosti večjih orkanov ni mogoče povezati z atlantskim večdesetletnim nihanjem. V topli fazi je za število manjših šibkejših orkanov mogoče opaziti skromno povečanje. Ob popolnem upoštevanju vseh meteoroloških znanosti je število tropskih neviht, ki bi lahko nastale kot močni orkani, v topli fazi atlantskega večdesetletnega nihanja veliko večje kot v hladni fazi. Strokovnjaki predpostavljajo, da je verjetnost nastajanja orkanov tudi dvakrat večja. Indeks nastajanja orkanov je tesno povezan z atlantskim večdesetletnim nihanjem, predvsem pa z njegovo toplo fazo. Če je povečana orkanska dejavnost na severnem Atlantiku povezana z globalnim segrevanjem, potem je trenutno zakrita zaradi lažnega periodičnega cikla atlantskega večdesetletnega nihanja (Chylek in Lesins, 2008). V atlantskem večdesetletnem nihanju je delno zakrito tudi globalno povišanje temperature zaradi človeškega posega v naravo z učinkom globalnega segrevanja. Strokovne študije navajajo, da se glede na tipično trajanje

hladnih in toplih faz atlantskega večdesetletnega nihanja pričakuje, da bo topel režim trajal približno do leta 2015, zaradi vseh ostalih zunanjih dejavnikov pa se bo morda celo podaljšal do leta 2035. Nekateri znanstveniki celo napovedujejo, da bo višek tople faze leta 2020 (Enfield in Cid-Serrano, 2010).



Slika 13: Prikaz poti severnoatlantskih orkanov od leta 1851 do 2012 (vir: [https://en.wikipedia.org/wiki/Atlantic\\_hurricane](https://en.wikipedia.org/wiki/Atlantic_hurricane), pridobljeno 19. 3. 2016)



Slika 14: Intenzivnost atlantskih ciklonov glede na zbrano energijo od leta 1895 do 2007 (vir: [http://appinsys.com/globalwarming/gw\\_4ce\\_hurricanes.htm](http://appinsys.com/globalwarming/gw_4ce_hurricanes.htm), pridobljeno 20. 3. 2016)

Zbrana ciklonska energija, prikazana na sliki 14, je z enačbo definirana kot vsota najvišje dosežene in obdržane hitrosti v intervalu 6 ur. Če pa primerjamo prej navedeni graf s stanjem toplih in hladnih faz

atlantskega večdesetletnega nihanja, opazimo, da sta si grafa razmeroma podobna. V toplih fazah atlantskega večdesetletnega nihanja je zbrana ciklonska energija tudi razmeroma višje kot v hladnih fazah. Tako potek krivulje grafa zbrane ciklonske energije sledi valovanju atlantskega večdesetletnega nihanja. Dobro se opazi, da so bila v obdobju od 1870 do 1900 ter v obdobju 1930–1970 in nazadnje od 1990 do danes obdobja razmeroma najvišje zbrane ciklonske energije ter da sovpadajo s toplo fronto. V obdobju od 1950 do 2014, gledano po največji zbrani ciklonski energiji, sta se na najvišja mesta uvrstili sezoni atlantskih orkanov iz leta 2005 in 2004. Glede na to, da se po napovedih strokovnjakov topla faza atlantskega večdesetletnega nihanja približuje vrhuncu v prihodnjih letih, ne gre zanemariti možnosti, da nas v tem času prizadene še kakšen ekstremno močan orkan.

### **2.3.9 Mediteransko nihanje**

Mediterranean oscillation (MO) oziroma mediteransko nihanje je meteorološki pojav, dejaven na območju Sredozemlja. Pod njegovim vplivom so večinoma južna Evropa z Iberskim in Apeninskim polotokom ter obalna območja severne Afrike. Severnoatlantsko nihanje močno vpliva na mediteransko podnebje, vendar pa ni prevladujoč vpliv za to področje.

Kot za vsa ostala nihanja je tudi za mediteransko nihanje značilna razlika v zračnem tlaku na morski gladini na območjih Sredozemlja. Mediteransko nihanje je kroženje zračnih mas s poudarkom na dogajanju v Genovskem zalivu. V pozitivni fazi je kroženje zelo intenzivno, v negativni fazi pa razmeroma šibko. Mediteransko nihanje je pod močnim vplivom severnoatlantskega nihanja, saj so prihodi hladnih front z Atlantika eden od sprožilcev vrtinčenja zračnih mas nad Sredozemljem.

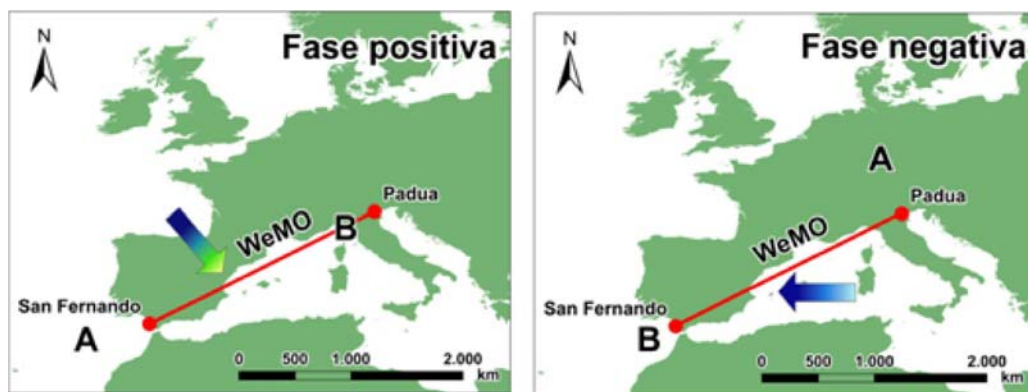
Vpliv severnoatlantskega in mediteranskega nihanja na tvorbo sredozemskega podnebja je bil raziskan in ugotovitve kažejo medsebojno povezavo v temperaturi zraka nad tlemi ter v padavinskih anomalijah. V zimskem času, ko je vreme nad Sredozemljem pod močnim vplivom severnoatlantskega nihanja, so anomalije intenzivnejše kot v poletnih mesecih (Sušelj, 2006).

Mediteransko nihanje zajema meteorološke lastnosti celotnega Sredozemlja, vendar se razlikuje glede na merilna mesta. Tako so nekateri znanstveniki definirali mediteransko nihanje kot odstopanje od normalnega zračnega tlaka 500 milibarov na morski gladini med Kairom ter Alžirom, prestolnico Alžirije. Druga različica mediteranskega nihanja je ravno tako definirana kot razlika med normalnim zračnim tlakom Gibraltarja in letališčem Lod v Izraelu (Matul, 2015). Spet tretja pa definira mediteransko nihanje v razliki zračnega tlaka, tokrat med Marseillem v Franciji in Jeruzalemom.

Za zahodno območje Sredozemlja se je uveljavil model zahodnega mediteranskega nihanja, ki deluje predvsem na zahodnem Sredozemlju in bližnji okolici. Zlasti variabilnost jesenskih in zimskih padavin na vzhodnem delu Iberskega polotoka je šibko vezana na severnoatlantsko nihanje. Zahodnomediteransko nihanje pa je zanesljiv pokazatelj in učinkovito orodje za analiziranje



vremenskih lastnosti in predvsem padavin na območju vzhodne Španije in južne Francije. Zahodnomeditersko nihanje je opredeljeno kot razlika zračnega tlaka med južno Španijo (San Fernando ob Cadizu) in severno Italijo (Padova), prikazana na sliki 15. Predstavlja namišljeno linijo med obema krajema in ob pozitivni oziroma negativni fazi prehajanje zračnih mas preko te namišljene črte enkrat v eno smer, drugič v nasprotno (Martin Vide in Lopez Bustins, 2005). Padavine na vzhodnih obalah Iberskega polotoka večinoma prihajajo s Sredozemskega morja, saj prejemajo razmeroma malo dežja z Atlantika za razliko od zahodnega Iberskega polotoka. Večina padavin z zahoda se ustavi na severnih obalah Španije in v Pirenejih ter ne doseže mediteranskih obal.



Slika 15: Pozitivna in negativna faza zahodnomediterskega nihanja (povzeto po Lopez Bustins, 2015: str. 2)

Za pozitivno fazo zahodnomediterskega nihanja je značilno stanje anticiklona nad Azori ter nad jugozahodom Iberskega polotoka, istočasno pa je značilen nizek zračni tlak z nevihtami v Genovskem zalivu. Pri tej pozitivni fazi vlažen zračni tok z Atlantskega oceana priteče prek Biskajskega zaliva, vendar doseže sredozemska območja izsušen. Padavine so skoncentrirane na atlantskih obalah Španije.

Obilna deževja zajamejo vzhod Iberskega polotoka v času nastanka negativne faze, ko je vremensko stanje nasprotno. Anticiklon se zadržuje nad srednjo Evropo, nizek zračni tlak pa je nad Gibraltarjem. Med negativno fazo mediteranskega nihanja veter piha z vzhoda nasičen z vlago s toplih voda Sredozemlja. Najobilnejša deževja na mediteranskih obalah Iberskega polotoka so ravno jeseni v mesecu oktobru, ko je najbolj intenzivna negativna faza mediteranskega nihanja (Lopez, Bustins, 2015).

#### 2.4 Analiziranje spreminjanja podnebja skozi zgodovino v Evropi

Zadnjih nekaj let se v Evropi spoprijemamo s številnimi naravnimi nevihtami. Tudi večkrat letno določena območja Evrope prizadenejo hude poplave kot posledica obilnih padavin. Na Mediteranu so poletja večinoma izredno sušna in vroča, z dolgotrajnimi in skrajnimi vročinskimi valovi, sever Evrope pa občasno ogrožajo orkanski vetrovi, predvsem v zimskem času. Videti je, kot da se evropsko

podnebje zaostrejuje ter da so ekstremni vremenski pojavi že postali del normalnega klimatskega delovanja.

Veliko težavo predstavljajo predvsem poplave, saj ob hudih nalivih povzročajo veliko škode in žal pogosto tudi smrtne žrtve. Ne mine leto, ko ne bi vsaj ena poplava povzročala opustošenja na kakšnem območju Evrope. Poplave so večinoma posledica silovitih padavin, kjer vodotoki prestopijo bregove, poplavijo urbana območja in v ozkih dolinah odnašajo s sabo mostove ter spodkopavajo ozke betonske bregove. Pogosto so poplave hudourniškega značaja, saj majhen potoček ob nalivu naraste in si utira pot po urbanih površinah, ki so večinoma neposredno ob strugi. Ljudje so zaradi tega vse bolj negotovi in prestrašeni. Napovedujejo se katastrofe zaradi človeškega posega v naravo. Vse bolj aktualni so izrazi, kot je: vpliv tople grede, ozonska luknja in El Niño.

Znanstveniki in strokovnjaki s področja klimatologije primerjajo ekstremne dogodke z dogodki, ki so se že dogajali v zgodovini, in na podlagi trendov pogostosti ugotavljajo, da so katastrofe vse bolj pogost dejavnik vremenskih razmer. Zaradi tega rezultata si je smiselno postaviti naslednja vprašanja.

- Klimatski trendi ali rezultat dvigovanja zavesti pri prebivalstvu?
- Katero časovno obdobje naj bi se upoštevalo pri analizi za primerjavo dogodkov?
- Od kdaj imamo gotove podatke za preučevanje vremena, klime in katastrof?
- Kolikšno odstopanje od normale oziroma kolikšno nihanje povzroča klima, ko še ni bila pod vplivom tople grede?
- Koliko in kako financirati napovedovanje klime in modeliranje klimatskih sprememb?

Trenutni klimatski modeli so še nejasni in netočno definirani zaradi preskromne baze podatkov, zato je klimatske spremembe zelo težko napovedati ter si določenih dogodkov še ne znamo pravilno razlagati. Napovedi o "apokaliptičnih" nevihtah pa se še vedno ne uresničujejo, saj hujši vremenski dogodki, ki se sicer pojavljajo, niso tako ekstremni ter ostajajo v mejah normale.

Zavedamo se, da človek s svojim delovanjem drastično posega v naravni cikel, vendar je podatkov o tem, koliko sprememb je povzročil in kolikšno je naravno nihanje, še vedno premalo. Možno je, da človek s svojim onesnaževanjem toliko prizadene okolje, da enostavno poruši naravni ritem in s tem povzroči nepopravljivo škodo ter nezmožnost vrnitve v normalno delovanje klime. To stanje bi lahko poimenovali "obolelost" klime.

Razne študije so nas pripeljale do tega, da so temperature in padavine bistveno pomembnejše spremenljivke, kakor si lahko predstavljamo, ter da se katastrofe lahko dogajajo tudi izven predvidenih okvirov oziroma v obdobjih, ki jim ne bi pripisali lastnosti za nastajanje neurij. Tako nastajajo izjeme in so popolnoma neodvisne od človeškega vpliva na okolje.

Današnji klimatski optimum leži nad srednjeveškim in v zadnjih časih nismo toliko izpostavljeni vremenskim spremembam ter ekstremnim dogodkom kot v prejšnjih stoletjih. Kljub temu je izjemen vremenski slučaj lahko definiran kot nov klimatski pojav s strani ljudi z nepoznavanjem zgodovinskega stanja klime. Pomembno je torej, da se stroka posveča raziskovanju zgodovinskih vremenskih pojavov in da na njihovi podlagi ocenjuje stanje sodobne klime (Glaser, 2001).

Evropski prostor je v švicarskih Alpah priča naraščajočemu trendu rečnega odtoka v zimskem času. Glavni razlog so klimatske spremembe z otoplitvami. Statistično gledano je vedno več dni v zimskem času s povprečno dnevno temperaturo zraka nad 0 °C in ta vpliva na taljenje snega in ledu ter tako posledično vpliva na povečevanje rečnih odtokov (Birsan et al., 2005).

Analize in ugotovitve so pokazale, da so Alpe območje, kjer je najvišja spremenljivost zimskih padavin na območju Evrope. Te spremenljivosti ni možno pojasniti z vplivi, kot sta arktično in severnoatlantsko nihanje. Na splošno ti vplivi ne delujejo na razmere alpskih vodotokov, čeprav območja vse okrog Alp čutijo posledice prej naštetih vplivov. Alpe kažejo najmočnejšo letno spremenljivost zimskih padavin v Evropi, kljub temu da AO in tudi NAO predstavljata prešibak vpliv na vremenske razmere. Največji vpliv predstavlja vpliv z vzhodnega Atlantika, pa tudi vpliv iz zahodne Rusije in to samo za prvi del zime. Vse skupaj kaže, da so alpske reke svojevrsten sistem, ki je razmeroma dobro ustaljen ne glede na dejavnost zunanjih vplivov (Bartolini et al., 2009).

## **2.5 Vremenske lastnosti v Sloveniji**

Tudi v Sloveniji se že vrsto let posvečamo analiziranju vremenskih pojavov, in sicer ne samo Agencija Republike Slovenije za okolje s svojim strokovnim delom, temveč tudi poljedelec, ki pogleda v nebo. Odkar se je razširilo poljedelstvo, se človek zaveda, da je njegov pridelek odvisen tudi od vremenskih dejavnikov. Najpomembnejši so seveda pomladanski in poletni meseci, saj v tem obdobju večina pridelkov dozoreva. Z neugodnimi vremenskimi pogoji v spomladanskem obdobju, z dolgotrajno zimo ter seveda s skrajnimi pogoji v poletnih mesecih je lahko pridelek zelo slab oziroma ga sploh ni. Že zgodnji poljedelec, ki je živel samo od svojega pridelka, se je zavedal, da se s slabo letino ne da preživeti zime. Tako je poskušal postopoma napovedovati vreme in si razlagati določene vremenske pojave.

Skozi zgodovino so se za nekatera območja obdržale določene fraze, ki so glede na trenutne razmere napovedovale vreme v prihodnosti. Da se pride do takih zaključkov, je potrebno podrobno opazovanje klimatskih lastnosti in to tudi skozi več generacij. Po drugi strani pa se za tako dolgo obdobje opazovanj in sledenja sklepa, da se vremenske lastnosti v večini primerov res ravna po določenih utečenih situacijah. Kot primer so v slovenskem prostoru nastale določene fraze, večinoma rimane zaradi lažjega pomnjenja.

- Kadar prosinec (januar) odpira dežnike, žetve poletne ne bo velike.
- Če je februarja pretoplo, bomo v aprilu za pečjo.
- Matija (24. februar) led razbija, če ga ni, ga naredi.
- Če na 40 mučenikov (10. marec) dan zmrzuje, še 40 mrzlih noči prerokuje.
- Če v sušcu (marec) letajo mušice, v aprilu vzemi rokavice.
- Če je april deževen, kmet bo reven.
- April sončen in suh, bo maja za lepo vreme gluh.
- Ako na prvega maja dan dežuje, dobro letino se oznanjuje.
- Pankracij, Servacij in Bonifacij (12., 13. in 14. maj) ledeni so možje, če prej slane ni bilo, tudi pozneje ne bo mrzlo.
- Če Zofija (15. maj) zemlje ne poškropi, vreme poleti prida ni.
- Dež na Vida (15. junij), ječmenu ne kaže kaj prida.
- Vreme, ki ga Lovrenc (10. avgust) naredi, celo se jesen drži.
- V oktobru burja in mraz, januarja sončen čas.
- Pozimi hudi zameti, če so deževni vsi sveti (1. november).
- Kolikor ivja se o božiču (25. december) na vejah blesti, toliko sadja prihodnje leto zori.

Tako so za območja celotnega leta skovali fraze in rime, s katerimi so si pomagali pri napovedovanju vremena, večinoma za potrebe poljedelstva. Tudi pri drugih narodih imamo podobne fraze, nekatere v prevodu pomenijo enako kot naše, druge pa so popolnoma različne in nimajo skupnih lastnosti, zato ker so na tujih območjih lahko tudi vremenski pogoji drugačni, mikroklima se spreminja od pokrajine do pokrajine. Te fraze so vezane na točno določena področja, saj se vremenske lastnosti lahko razlikujejo na različnih območjih.

Danes je mogoče s sodobno tehnologijo razmeroma točno napovedati vreme za prihodnjih nekaj dni, medtem ko te fraze napovedujejo stanje tudi za nekaj mesecev vnaprej. Strokovnjaki s področja meteorologije analizirajo pojave in povezujejo vzporednice med njimi ter poskušajo odkriti, kako določeno klimatsko stanje vpliva na vremenske razmere tudi za prihodnje mesece. Najboljši pokazatelji za letošnje dogajanje so verjetno pozitivne in negativne faze arktičnega nihanja, severnoatlantskega nihanja, atlantskega večdesetletnega nihanja ter seveda to, kar napovedujejo strokovnjaki, in sicer da faze El Niña vplivajo na vremensko dogajanje po celem svetu.

Slovenija je glede na vremenske lastnosti dokaj enotna, kar ji omogoča predvsem njena majhnost, kljub temu pa se opazijo določene razlike med pokrajinami. Določene podobnosti ima s centralno Evropo, druge pa z južno Evropo in z Mediteranom. Pomemben dejavnik, ki vpliva na vremenske lastnosti, so Alpe in neposredna bližina morja.

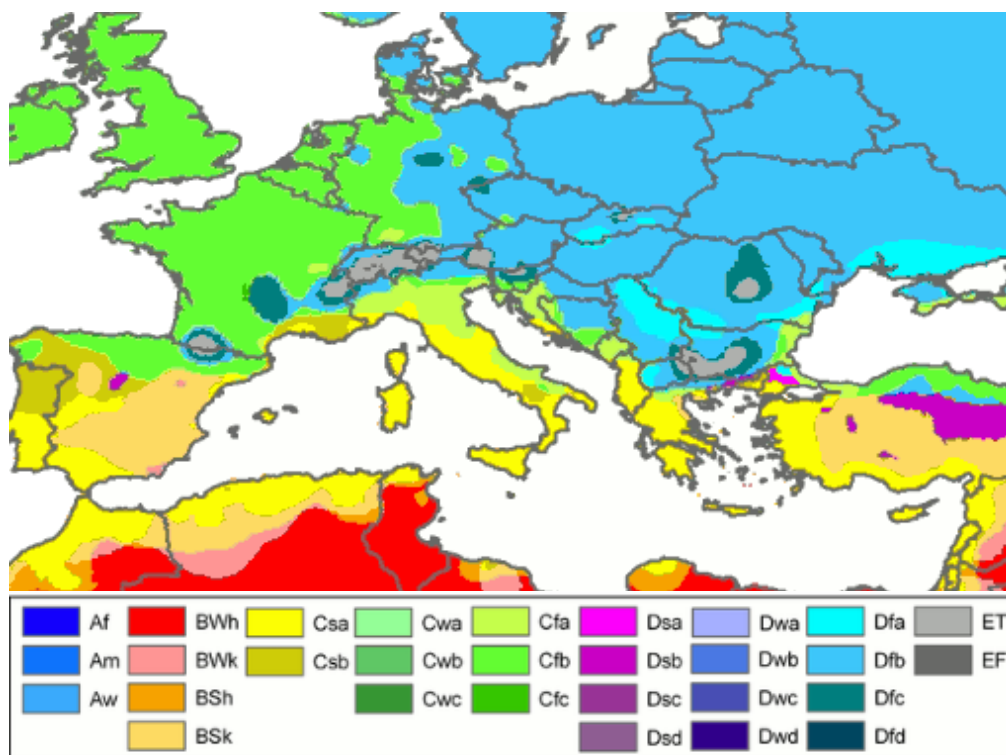
Za Apeninski polotok so izvedli analizo na 738 meteoroloških postajah, porazdeljenih po Italiji. Analizirali so letne in mesečne povprečne temperature zraka, ki se jih uporablja za temperaturno

normo oziroma dolgoletna povprečja. V analizi so uporabili postopno regresijsko analizo, pomembne spremenljivke so: nadmorska višina, zemljepisna širina, oddaljenost od morja in stopnja vbočenosti terena (doline, kotline ...). Razmerje med povprečno letno temperaturo zraka in zaznanimi spremenljivkami pojasnjuje 92 % variance in daje standardno napako za 0,89 °C. Glede mesečnih povprečnih temperaturnih sprememb v prostoru je bilo ugotovljeno, da so odvisne od reliefa, konkavnosti in konveksnosti ter od poleg običajnih nadmorskih višin in zemljepisnih širin tudi od obalnega vidika. Analize za obnovo napake kažejo, da so rezultati zelo zadovoljivi za številne tehnične namene, zlasti za obsežne podnebne spremembe (Claps et al., 2008). Iz tega lahko sklepamo, da so tudi značilnosti vodotokov različne na različnih zemljepisnih širinah, nadmorskih višinah, na določenih reliefnih značilnostih ali pa v bližini morja.

Med drugim na količino padavin ne vplivajo samo lastnosti reliefa, temveč tudi dogajanje na Atlantiku. Severnoatlantsko nihanje ima poleg arktičnega nihanja največji vpliv na vremenske pogoje na našem območju. Glede na to, da so njegovi vplivi razširjeni večinoma čez cel kontinent, se le malo razlikujejo na posameznih lokalnih območjih. Za območje južne Evrope oziroma Mediterana veljajo večinoma podobne vremenske lastnosti. Velik vpliv ima predvsem Sredozemsko morje, saj je pomemben dejavnik pri celoletnih klimatskih razmerah. Številne študije so pokazale, da si je večina mediteranskih pokrajin podobna po padavinskih lastnostih, z izjemo severne Afrike, južne Italije ter zahodnega dela Iberskega polotoka. Evropa se deli na tri podnebna območja: jug in Sredozemlje na mediteransko subtropsko podnebje, severozahod na oceansko vlažno ter severovzhod na vlažno kontinentalno podnebje (Philandras et al., 2011). Za Sredozemlje velja subtropsko podnebje, za katerega so značilna suha in vroča poletja ter mile in deževne zime. Padavine so večinoma skoncentrirane v poznojesenskih in zimskih časih. Za oceansko podnebje so večinoma značilna topla, a ne vroča poletja in ne preveč hladne zime. Padavine so razmeroma enakomerno razporejene čez celo leto. Tako kot padavine se tudi temperature v vseh mesecih ne spreminjajo dosti. Vlažno kontinentalno podnebje ima padavine enakomerno razporejene čez celo leto, s tem da so v zimskem času prisotne kot sneg. Temperature izjemno nihajo, zime so dolge in hladne, poletja pa topla. Prav tako so podobne dnevne temperature, saj se ob lepem vremenu zelo otopli, medtem ko ponoči drastično pade temperatura zraka.

Slovenija je glede na podnebne lastnosti zelo razgibana, predvsem ker je kljub njeni majhnosti relief velik dejavnik za njeno podnebno razdeljenost. Morska obala je zelo kratka in vpliv morja ne prodira daleč v notranjost. Na severu se dvigujejo Alpe z vrhovi krepko čez 2000 metrov nadmorske višine, na skrajnem vzhodu se razprostira panonska ravnina. V večini je relief Slovenije gričevnat in hribovit s številnimi manjšimi kotlinami in dolinami. Tako je vsako območje posebej izpostavljeno drugačnim podnebnim dejavnikom. Majhno območje, kot je Slovenija, je razdeljeno med več različnih podnebnih tipov.

Po Köppen-Geirerjevi klimatski razporeditvi, prikazani na sliki 16, je Slovenija razdeljena na naslednje podnebne tipe: vlažno subtropsko podnebje z vročimi poletji na Obali ter subtropsko gorsko podnebje, za katerega niso značilna preveč vroča poletja v zaledju, na vzhodu države pa je vlažno kontinentalno podnebje. Alpe so definirane kot visokogorsko podnebje, ki je nad 2.100 metrov nadmorske višine, ostali del Slovenije pa kot subarktično podnebje, ki na tem območju Evrope velja za gorovje med 1.600 in 2.100 metrov nadmorske višine.



Slika 16: Podnebna razporeditev Evrope po Köppen-Geirerjevem klimatskem sistemu (vir: [https://en.wikipedia.org/wiki/K%C3%B6ppen\\_climate\\_classification](https://en.wikipedia.org/wiki/K%C3%B6ppen_climate_classification), pridobljeno 25. 3. 2016)

Značilnosti podnebja v Sloveniji so predvsem posledica lege v zmeri zemljepisni širini razmeroma dokaj blizu Atlantika ter lege na prehodu med Sredozemljem in evrazijsko celino. Velik vpliv predstavljajo Alpe ter precejšnja reliefna razčlenjenost površja, kjer je mogoče zaznati podnebne spremembe med vrhovi in dni dolin. Razen visokogorskega sveta z gorkim podnebjem ima vsa Slovenija zmerno toplo vlažno podnebje. Alpe in dinarsko-kraško gorovje predstavljata nekakšno mejo, preko katere ne sega mediteranski vpliv v notranjost države, istočasno pa se celinsko podnebje zadržuje na vzhodu in prodira proti obali čez Kras.

Evropa je podnebno dokaj enotna; razen Alp in Skandinavije ima večinoma zmerno toplo vlažno podnebje, kar velja tudi za Slovenijo, razen za visokogorje in za obalo. Za zmerno toplo vlažno podnebje velja, da je povprečna temperatura najhladnejšega meseca višja od  $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ , povprečna

temperatura najtoplejšega meseca pa je nižja od 22 °C. Vsaj štiri mesece v letu mora biti povprečna temperatura višja od 10 °C, padavine pa so razmeroma enakomerno razporejene skozi vse leto.

Slovenska obala je po povprečnih temperaturah primerljiva s sredozemskim podnebjem. Povprečna julijska temperatura je višja od 22 °C, povprečna januarska temperatura pa je višja od 4 °C. Vroča poletja in mile zime potrjujejo vpliv mediteranskega podnebja. Prav tako je tudi z vidika rastlinstva tipična mediteranska makija vse do kraškega roba. Značilne mediteranske kulture, ki še uspevajo samo na slovenski obali, kot dokaz mediteranskega podnebja, so: oljke, fige, agrumi ..., ki uspevajo tudi na nadmorski višini 300 m. Edini dejavnik, ki preprečuje, da bi imela slovenska obala tipično mediteransko podnebje, je padavinski režim. Za sredozemsko podnebje sta značilna izrazita zgoštev padavin pozimi ter izjemno sušno poletje, ko v nobenem mesecu ne pade več ko 40 mm padavin oziroma ko je več kot tretjina padavin čez vse leto v najbolj deževnem mesecu. V slovenski Istri pa je primarni višek padavin jeseni in sekundarni proti koncu pomladi, kar kaže na močan vpliv celinskega podnebja. Primarni nižek padavin je večinoma na prehodu z zime na pomlad, sekundarni pa julija in avgusta. Taka razporeditev padavin je značilna za celotno območje od obale in približno do črte med Solčavskim, Ljubljano, Suho krajino in zahodnimi Gorjanci.

Vzhodno od te ločnice ima Slovenija celinski padavinski režim s padavinskim viškom poleti in nižkom pozimi. Poudariti pa je treba, da je meja med spremenjenim sredozemskim oziroma submediteranskim in celinskim podnebjem neizrazita, da se razmere iz leta v leto in iz obdobja v obdobje spreminjajo. Vsa osrednja Slovenija je izrazito prehodno območje med submediteranskim padavinskim podnebjem na zahodu in jugu ter celinskim na severovzhodu države.

Gorski svet Julijskih Alp, Karavank, Kamniško-Savinjskih Alp, Pohorja, Trnovskega gozda in Snežnika ter vmesne doline imajo gorsko podnebje. Povprečne temperature tega območja nihajo od manj kot -3 °C v najhladnejših mesecih do več kot 10 °C v najtoplejših mesecih. To velja do nadmorske višine do 2000 m, kjer je tudi zgornja drevesna meja. Nad to mejo povprečna temperatura v najtoplejšem mesecu ne presega 10 °C.

Glede na padavinski režim, povprečno temperaturo najtoplejšega in najhladnejšega meseca ter razmerje med oktobrskimi in aprilskimi temperaturami podnebje Slovenije delimo na tri podnebne tipe z devetimi podtipi, kot je razvidno na sliki 17.

### **Submediteransko podnebje**

Za submediteransko podnebje je značilna povprečna temperatura najhladnejšega meseca več kot 0 °C in najtoplejšega več kot 20 °C. Povprečna oktobrska temperatura je višja od aprilske, značilen je submediteranski padavinski režim.

Ločimo dva tipa, in sicer:

- obalni podtip ali podnebje rasti oljke, povprečna temperatura najhladnejšega meseca je nad 4 °C in najtoplejšega več kot 22 °C, povprečna letna količina padavin znaša od 1000 mm do 1200 mm;
- zaledni podtip, povprečna temperatura najhladnejšega meseca je od 0 °C do 4 °C in najtoplejšega od 20 °C do 22 °C, povprečna letna količina padavin znaša od 1200 mm do 1700 mm. Zaledni submediteranski tip seže po dolini Soče do Tolmina in do visokih kraških planot.

### **Zmerno celinsko podnebje**

Povprečna temperatura najhladnejšega meseca je od –3 °C do 0 °C in najtoplejšega od 15 °C do 20 °C. Značilen je celinski padavinski režim.

Delimo ga na naslednje štiri podskupine.

- Zmerno celinsko podnebje zahodne in južne Slovenije. Povprečna aprilaska temperatura je nižja od oktobrske, značilen je submediteranski padavinski režim, povprečna letna količina padavin je od 1300 mm do 2800 mm.
- Zmerno celinsko podnebje osrednje Slovenije. Povprečna aprilaska temperatura je nižja od oktobrske, značilen je celinski padavinski režim, povprečna letna količina padavin je od 1000 mm do 1300 mm.
- Zmerno celinsko podnebje ali subpanonsko podnebje vzhodne Slovenije. Povprečna aprilaska temperatura je enaka oktobrski ali višja od nje, značilen je celinski padavinski režim, povprečna letna količina padavin je od 800 mm do 1000 mm.
- Zmerno celinsko podnebje ali subpanonsko podnebje jugovzhodne Slovenije oziroma Bele krajine. Povprečna aprilaska temperatura je približno enaka oktobrski, značilen je submediteranski padavinski režim, povprečna letna količina padavin je od 1200 mm do 1300 mm.

Območja, kjer je aprilaska temperatura višja od oktobrske, se v severovzhodni in vzhodni Sloveniji ujemajo z območji vinogradništva.

### **Gorsko podnebje**

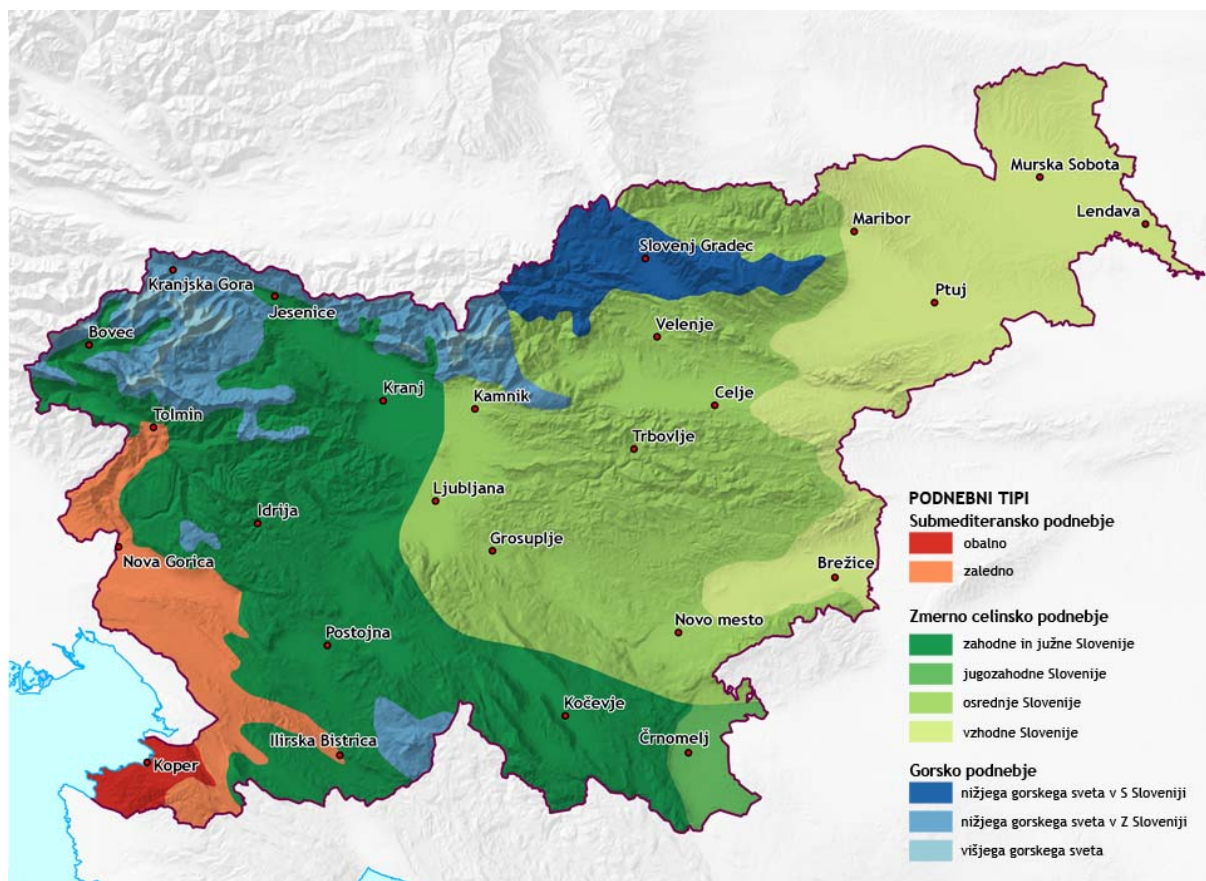
Povprečna temperatura najhladnejšega meseca je nižja od –3 °C.

Ima naslednje tri podtipe.

- Podnebje višjega gorskega sveta. Povprečna temperatura najtoplejšega meseca je manj kot 10 °C, značilen je submediteranski padavinski režim, povprečna letna količina padavin je od 1600 mm do 3500 mm. Višji gorski svet leži nad drevesno mejo.



- Podnebje nižjega gorskega sveta in vmesnih dolin v zahodni Sloveniji. Povprečna temperatura najtoplejšega meseca znaša več kot 10 °C, značilen je submediteranski padavinski režim.
- Podnebje nižjega gorskega sveta in vmesnih dolin v severni Sloveniji. Povprečna temperatura najtoplejšega meseca znaša več kot 10 °C, značilen je celinski padavinski režim. Povprečna letna količina padavin je od 1100 mm do 1700 mm.



Slika 17: Podnebni tipi na slovenskih tleh (vir: [http://www.gis.si/egw/GOS\\_T12\\_P04/index.html](http://www.gis.si/egw/GOS_T12_P04/index.html), pridobljeno 26. 3. 2016)

Zaradi velike višinske razčlenjenosti površja Slovenije je nadmorska višina, še zlasti v celinskem delu države, zelo pomemben dejavnik. Zunaj gorskega sveta ločimo vsaj tri višinske pasove: dno dolin, ravnin, kotlin in kraških kotanj, topli termalni pas in hribovski pas.

Za doline kotline in kraške kotanje je značilen temperaturni obrat ali inverzija, izrazit je zlasti pozimi v mirnih in jasnih nočeh. Zaradi njega so nočne temperature nižje v dnu kotlin kot na pobočju ali vrhovih. Pogostejše so zmrzali, ponoči je ozračje vlažnejše, slana se pojavlja še pozno v pomlad in preprečuje ali ovira rast za mraz občutljivih kultur: marelica, češnja, oreh, vinska trta ...

Ugodnejše razmere so v toplem pasu, ki se začne od 15 m do 40 m nad dnom kotlin, dolin in kraških kotanj ter sega od 200 m do 300 m višje. Nočni minimumi so višji, letna in dnevna temperaturna

nihanja manjša, srednja mesečna temperatura pa je nekoliko višja od tiste v dnu dolin. Ugodnejše razmere zlasti na prisojnih legah omogočajo gojenje občutljivejših kultur, v sredozemski in panonski Sloveniji tudi vinske trte. Vinogradi se začnejo navadno od 10 m do 30 m nad dnom dolin in segajo od 400 m ali 500 m nadmorske višine, le izjemoma višje.

Nad toplim pasom se začneja hribovski pas. Zaradi višje nadmorske višine so podnebne razmere tam ostrejšje. Vanj sega še poljedelsko-živinorejsko območje, saj v njem še uspevajo vse pomembnejše poljske kulture, tudi koruza. Kmetijska poselitev je razmeroma gosta, a vedno bolj omejena na prisojne lege (Ogrin, 1998).

### 3 TREND V HIDROLOGIJI

#### 3.1 Hidrologija

Hidrologija oziroma vodoslovje je veda o vodah. Je veda, ki preučuje gibanje, porazdelitev in kakovost površinskih in podtalnih voda ter kroženje in lastnosti vode v naravi. Hidrološki cikel ali kroženje vode je prehajanje vode v plinasto agregatno stanje z izhlapevanjem ter dvigovanjem v ozračje, kjer se kondenzira in najpogosteje v obliki dežja ponovno pade na zemljo ter napaja vodotoke, jezera in podtalnice, od koder se izliva v oceane. Ta cikel je neprekinjeno sklenjen in se neprestano vrši na globalni ravni. Zaradi neposredne odvisnosti od padavin je pri hidrologiji pomembno tudi tesno sodelovanje z meteorologijo.

#### 3.2 Trend

Sam izraz trend je v Slovarju slovenskega knjižnega jezika definiran kot: značilnost pojava glede na spreminjanje v daljšem časovnem obdobju. Trend ima tudi sopomenke tendenca, težnja in smernica. Na matematičnem oziroma statističnem področju bi trend definirali kot: osnovno smer razvoja oziroma splošno tendenco razvoja. To nam pove, da s trendom napovedujemo spreminjanje stanja.

Stanja, za katera izračunavamo trende, imenujemo časovne vrste in prikazujejo vrednosti statistične spremenljivke v enakih časovnih razmikih oziroma intervalih. Glede na padanje ali naraščanje časovnih vrst jim lahko pripišemo ustrezen trend.

Poznamo naraščajoče in padajoče trende. Pri naraščajočem oziroma pozitivnem trendu se vrednosti določene časovne vrste povečujejo glede na časovno obdobje. Starejše časovne vrste so imele nižje vrednosti kot novejšje, torej lahko pričakujemo, da se bodo vrednosti časovnih vrst v prihodnosti še povečevale. Če pa je trend padajoč oziroma negativen, se vrednosti časovne vrste zmanjšujejo v časovnem obdobju in lahko sklepamo, da se bodo v prihodnosti še zmanjševale.

Vrednosti spremenljivke v časovni vrsti se oblikujejo pod vplivom delovanja vseh dejavnikov, ki vplivajo na pojav. Teh dejavnikov je veliko, njihova moč in učinek na pojav pa se časovno spreminjata, zato se spreminjajo tudi vrednosti posameznih členov časovne vrste.

V časovnih vrstah ne opazimo vedno vseh navedenih komponent. Ti vplivi in pojavi v odvisnosti od njihove pogostosti in vrednosti vplivajo na oblikovanje trendne linije. Vrednosti časovnih vrst analiziramo v odvisnosti od časa, za lažjo predstavbo jih prikažemo na grafu v koordinatnem sistemu, kjer so časovna obdobja navedena na osi x, vrednosti časovnih vrst pa na osi y.

Trend prikazuje osnovno smer razvoja pojava in je najpomembnejša lastnost časovnih vrst. Pri analiziranju in določanju trendne črte na podlagi časovnih vrst se zavedamo, da so vrednosti časovnih vrst rezultati preteklih dogodkov, ki so slučajno razporejeni in zaradi tega edinstveni ter neponovljivi.

Za pravilno analizo pretokov je potrebno neprekinjeno in kvalitetno zbiranje podatkov v istih časovnih presledkih (enodnevno) vsaj 50 let. Daljše, kot je obdobje zbiranja podatkov, ter pogosteje (v krajših časovnih intervalih) kot so ti podatki zabeleženi, boljša bo predstava o realnem obnašanju in lažje bo napovedati tendenco razvoja.

V večini primerov je mogoče opaziti, da se vrednosti časovnih vrst približno gibljejo po neki zakonitosti, ki ji je mogoče pripisati linearno ali pa nelinearno funkcijo trenda. Za napovedovanje vrednosti spremenljivke v prihodnjih časovnih enotah je smiselno uporabiti funkcijo trenda predvsem takrat, ko se dejavniki, ki vplivajo na vrednosti spremenljivke, bistveno ne spreminjajo. V daljšem časovnem obdobju je sprememba dejavnikov običajno večja, zato je tudi nesmiselno dolgoročno napovedovanje na osnovi trenda. Trend nam lahko približno nakaže razvoj za kratko obdobje v prihodnosti. Nesmiselno je napovedovanje večletnega razvoja na podlagi trenda, ker bi lahko krepko zgrešili realno stanje, zato je potrebno preračunavanje trenda vsakič, ko pridobimo nove podatke, saj nam trend samo tako pokaže realno smer, v katero se pojav razvija.

### **3.3 Trend v hidrologiji**

Hidrološka analiza vodotoka je preučevanje dinamike pretokov rek. Ena najpomembnejših dejavnosti pri analiziranju pretokov je poleg računanja povprečja tudi določitev trenda pretokov. V hidrologiji se uporablja predvsem linearna funkcija trenda. Z analiziranjem časovnih vrst dobimo trend, ki nam predstavlja razvijanje določenega pojava v času. Trend je smer razvoja določene aktivnosti, ki na podlagi podatkov, pridobljenih z merjenjem količine v enakomernih časovnih intervalih, pokaže, ali se analizirana aktivnost skozi čas povečuje ali upada. Konkretno pri vodotokih trend pretoka nakazuje, ali se vodotok počasi suši, torej je vedno manj vode v strugi, ali pa se mu povečuje pretok in s tem grozi s poplavljanjem. Trend pretoka nam s svojim naklonom pove, kako se bo stanje v vodotoku razvijalo v prihodnje.

Če je trendna črta razmeroma vodoravna, pomeni, da ni občutne razlike v stanju. Bolj se trendna črta nagne, tem bolj je mogoče opaziti razliko v stanju. Strmejša je trendna črta, bolj drastično je spreminjanje. S tem, ko izvemo za to težnjo razvoja, se lahko pravočasno pripravimo na zmanjšanje ali povečanje količine vode v vodotoku. Pripravimo se lahko na poplavljanje ali pa na iskanje novih virov vode, če je ta vodotok uporabljen za dobavljanje pitne vode v vodovodno omrežje in nam tendenca pretoka kaže, da se postopno suši.

S trendom dosežemo ravno to, da na podlagi že zbranih podatkov lahko napovemo, kako se bo neko stanje spreminjalo, v našem primeru vodostaj vodotokov. Med drugim pa lahko tudi približno napovemo, v kakšnem času bomo dosegli določeno stanje. Pri analiziranju trenda v hidrologiji se preučuje številne dejavnosti vodotoka. Različnim aktivnostim vodotokov lahko pripišemo različne trende, tako poznamo naslednje trende:

- trend srednjih pretokov,
- trend konic visokih in nizkih vod,
- trend maksimalnega in minimalnega pretoka dnevnega povprečja.

Uporabljajo se še mnogi drugi, odvisno od tega, kaj nas zanima in kaj bi želeli izraziti s trendi glede na zbrane podatke. Trende preučujemo predvsem, zato ker se opažajo vedno večje spremembe odzivanja vodotokov na podnebne spremembe. Pri vodotokih so krajša ciklična oziroma periodična nihanja pretoka spremembe med visokimi in nizkimi vodami, ki se pojavijo v toku enega leta; na primer spomladanski in jesenski obilni pretoki zaradi deževja ali taljenja snega in poletni majhni pretoki zaradi suše. Razlike v pretoku so opazne iz meseca v mesec. Daljša desetletna ali stoletna ciklična oziroma periodična nihanja pa so skoraj neopazna, saj nimamo toliko starih podatkov, da bi analizirali gibanje pretokov tudi do tisoč in več let nazaj v zgodovino. Nihanje v pretoku je odvisno od spreminjanja podnebja, ki potrebuje daljša časovna obdobja (tudi več desetletij) za rahlo, skoraj neopazno spremembo. Sledijo še naključni oziroma slučajni in enkratni vplivi, to so vplivi, ki predstavljajo vrednosti časovne vrste. V večini primerov se jih ne da napovedati. Enkratni vplivi so vplivi, ki zelo odstopajo od povprečja, to so katastrofe, ki se pojavijo samo enkrat in presežejo do tedaj vse znane katastrofe.

### **3.4 Statistične metode**

#### **3.4.1 Mann-Kendallov trendni test**

Za odkrivanje sprememb v časovni vrsti je najpogosteje uporabljena analiza trenda. Ker spreminjanje podnebja vpliva na stanje vodotokov, se včasih to odraža tudi kot negativen pojav na rezultatih trendnih linij vodotokov. V mnogih raziskavah so bili za odkrivanje trenda uporabljeni parametrični in neparametrični testi. Med parametričnimi pristopi je pogosto uporabljena ocena trenda po metodi najmanjših kvadratov. Parametrični testi imajo večjo moč od neparametričnih, vendar v mnogih primerih klimatski podatki ne izpolnjujejo predpostavk, ki jih zahtevajo (Kundzewicz in Robson, 2004). Alternativni pristop v takih primerih predstavljajo neparametrični testi. V hidrologiji je najpogosteje uporabljen Mann-Kendallov test za zaznavanje trenda. Mann-Kendallov trendni test (Mann, 1945; Kendall, 1975) je eden od najbolj razširjenih neparametričnih testov za trende glede na časovne vrste ter ni odvisen od dejanske porazdelitve podatkov in je manj občutljiv na ekstremne dogodke v primerjavi s parametričnimi testi. Mann-Kendallov trendni test je tako kot drugi neparametrični testi primernejši za ugotavljanje trendov v hidroloških časovnih vrstah. Splošna zahteva za parametrični in neparametrični trendni test je, da so podatki neodvisni. Možno je predhodno odpraviti učinek serijske korelacije z odstranitvijo serijske korelacije iz podatkov pred uporabo trendnega testa ali pa s spreminjanjem prvotnega trendnega testa v račun za serijsko korelacijo.

Dva pomembna parametra sestavljata Mann-Kendallov test. Ta parametra sta znotraj stopnje tveganja, ki označuje moč trenda in velikost obsega, tako prikazujeta smer ter obseg trenda. Porazdelitev testnih statistik je generirana s permutacijskim pristopom. Mann-Kendallova statistika  $S$  je izračunana za vsako večje število različnih naključnih redov oziroma permutacij podatkovnih nizov. Testna statistika prvotnih podatkovnih nizov se nato primerja s porazdelitvijo testnih statistik, pridobljenih iz permutacijskih podatkovnih nizov, nato se na podlagi porazdelitve oceni območje tveganja. Načelo tega pristopa je, da pod ničelno hipotezo ni trenda v podatkih, torej da je vsak vrstni red podatkov med seboj enak (torej je ničelna porazdelitev testne statistike ocenjena na podlagi permutacijskega pristopa). Ta pristop se lahko uporablja pri vsakem statističnem testu za trend (Khaled H. Hamed, 2008).

Kendallov korelacijski koeficient  $\tau_b$  se za časovno vrsto izračuna po formuli:

$$\tau_b = \frac{S}{\sqrt{(n_0 - n_1)n_0}}, \quad (2)$$

kjer je

$$n_0 = \frac{n(n-1)}{2}, \quad (3)$$

$$n_1 = \sum_{i=1}^m \frac{t_i(t_i-1)}{2} \quad (4)$$

in

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \operatorname{sgn}(y_j - y_k), \quad (5)$$

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

$$\operatorname{sgn}(y_j - y_k) = \begin{cases} 1; & y_j - y_k > 0 \\ 0; & y_j - y_k = 0 \\ -1; & y_j - y_k < 0. \end{cases} \quad (6)$$

Mann-Kendallov test za ugotavljanje monotonega trenda, ki ni občutljiv na osamelce, temelji na testni statistiki  $S$ . Pozitivna (negativna) vrednost testne statistike  $S$  označuje naraščajoč (padajoč) trend. Ob predpostavki, da so ostanki neodvisni, je za  $n \geq 8$  statistika  $S$  približno normalno porazdeljena s srednjo vrednostjo 0 in varianco.

$$\text{Var}(S) = \frac{1}{18} \left( n(n-1)(2n+5) - \sum_{t=1}^m t_i(t_i-1)(2t_i+5) \right) \quad (7)$$

Standardizirana testna statistika  $z$ , ki se porazdeljuje po standardizirani normalni porazdelitvi  $N(0,1)$ , se izračuna kot:

$$z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}}; & S > 0 \\ 0; & S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(S)}}; & S < 0. \end{cases} \quad (8)$$

Ničelno hipotezo, da trenda ni (korelacijski koeficient je 0), zavrnilo, če je absolutna vrednost statistike  $z$  večja od  $z_{\alpha/2}$  (Kraner Šumenjak in Šuštar, 2011).

### 3.4.2 Pearsonov korelacijski koeficient

V statistiki je Pearsonov korelacijski koeficient mera, ki prikazuje stopnjo linearne povezanosti med dvema spremenljivkama  $X$  in  $Y$ . Vrednosti Pearsonovega korelacijskega koeficienta so na intervalu od  $-1$  do  $1$ , kjer negativne vrednosti predstavljajo upadanje povezanosti spremenljivk, pozitivne pa naraščanje. Pearsonov koeficient pri vrednosti  $0$  označuje popolno linearno nepovezanost med spremenljivkami ter bolj kot se vrednost približuje vrednosti  $1$ , večja je linearna povezanost (Graveter in Wallnau, 2008). Pearsonov korelacijski koeficient se izračuna po obrazcu:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}. \quad (9)$$

Če so podatki dvorazsežno normalno porazdeljeni, potem ničelno hipotezo, da ni linearnega trenda (korelacijski koeficient je enak  $0$ ), testiramo s statistiko, ki se porazdeljuje po Studentovi porazdelitvi  $t$  z  $n - 2$  prostostnimi stopnjami (Kraner Šumenjak in Šuštar, 2011).

Postavitev ničelne in alternativne domneve:

$$\begin{aligned} H_0 &: (r = 0), \\ H_1 &: (r \neq 0). \end{aligned}$$

Statistika, ki ustreza ničelni domnevi:

$$t = \frac{r\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}} \quad (10)$$

in je porazdeljena po Studentovi porazdelitvi  $t$  z  $n - 2$  prostostnimi stopnjami.

Kritično območje oziroma območje zavrnitve ničelne domneve je  $(-\infty, -t_{1-\alpha/2}] \cup [t_{1-\alpha/2}, \infty)$  (Košmelj, 2007).

### 3.5 Pretočni modeli

Vrednosti srednjega letnega pretoka ( $Q_s$ ) ponazarjajo srednjo letno količino vode, ki teče skozi profil vodotoka na vodomerni postaji. Z analizo trenda enostavno ocenimo spremembe in stanje razpoložljive količine vode ter lahko predvidimo trend v prihodnje. Za zanesljivo analizo ocene trenda so potrebni dolgi nizi opazovanj. Za indekse nizkih pretokov ( $Q_{np}$ ) so bili analizirani minimalni letni pretoki, ki so določeni glede na trajanje. Analiza minimalnih letnih pretokov različnih trajanj kaže značilnosti sušnih obdobj in pojave hidroloških suš.

Za opis ocene stanja visokih voda je uporabljenih pet različnih indeksov. Študija poplavnih pretokov je običajno osredotočena na trend največjega letnega pretoka ( $Q_{vp}$ ). To pomeni, da se v enem letu, v katerem se je zvrstilo več visokih vod, izbere samo eno visoko vodo na leto, ne glede na to, ali je bilo več visokih voda v valovih ali pa nobene. Še boljši način opisovanja visokih voda je z metodo praga (POT – Peak Over Threshold). Pri tej metodi izberemo iz celotnega niza podatkov vse dogodke visoke vode, ki presegajo določen prag, pod pogojem, da so izbrani dogodki med seboj neodvisni, prag pa predstavlja neko vnaprej definirano količino pretoka, ki smo ga izbrali za zgornjo mejo. Tako lahko imamo v enem letu zabeleženih več visokih pretokov, ali pa nobenega (Ulaga, idr. 2008 a). Poleg POT se uporablja še AM (Annual Maximum) – letni višek. Značilnost modela AM je, da obravnava samo en višek, in sicer največjega v letnem pretoku. Njegova slabost je ta, da v primeru, ko je v celotnem letu rečni pretok predstavljal izjemno nizke nestandardne pretoke, model AM ravno tako obravnava najvišjega izmed njih, kljub temu da ta pretok ne dosega lastnosti visokega pretoka.



## 4 HIDROLOŠKE ZNAČILNOSTI SLOVENSКИH REK

### 4.1 Spreminjanje hidroloških značilnosti na območju Slovenije

Spremljanje in analiziranje hidroloških stanj in dogodkov je postalo v zadnjih letih vse bolj aktualno, še posebej, ker so pogostosti poplavnih in sušnih dogodkov kot posledica podnebnih sprememb vedno bolj opazne. Časovne spremembe vodnih količin je najbolje analizirati s trendi, ki so dejanski pokazatelj sprememb v hidrološkem režimu. Na podlagi hidrološkega monitoringa je možno določiti količino vode v vodotokih, obenem pa se z opazovanjem in meritvami direktno spremljajo hidrološke razmere in ugotavljajo tudi časovne spremembe v vodnem režimu. Tako pridobljeni podatki se shranjujejo v digitalno bazo podatkov na ARSO. Ti podatki, ki so pomembni za ugotavljanje značilnosti porečij, so: vodostaj, pretok, temperatura, transport suspendiranega materiala in nekatere fizikalne lastnosti voda.

Za podrobno analizo vseh vodotokov po celotnem ozemlju Slovenije je ARSO vpeljal mrežo vodomernih postaj na površinskih vodah. Leta 2000 je bilo 170 merilnih mest. Merilna mreža postaj je bila namenjena predvsem določanju hidroloških značilnosti posameznih vodotokov in se je zaradi potreb razširila na celotno rečno mrežo. Danes so podatki iz merilne mreže uporabljeni predvsem za opozarjanje pred ekstremnimi dogodki, kot so poplave in suše. Uporabljajo pa se tudi za usmerjanje racionalne rabe vode, za določanje in urejanje rečnih režimov, vodnih bilanc in sprotno spremljanje hidrološkega stanja ter za vodenje arhiva stanja slovenskih vodotokov. Preglednica 4 predstavlja pretočne lastnosti nekaterih slovenskih rek.

Če se osredotočim samo na ožje območje, in sicer samo na slovenske vodotoke (ne glede na to, ali izvirajo v Sloveniji ali pa samo tečejo skozi), kot sta na primer Drava in Mura, opažam, da je bilo izvedenih veliko analiz in da je bilo veliko podatkov zajetih v njihovo preučevanje. Kljub temu da ne izvira v Sloveniji, imamo o Dravi veliko podatkov glede stanja pretoka, saj jo napajajo številni večji vodotoki znotraj ozemlja Slovenije ter smo na njej zgradili hidroelektrarne, za katere je dobro poznavanje rečnega režima ključnega pomena. Mura prečka Slovenijo na razmeroma zelo kratki razdalji in za razliko od Drave nima veliko pritokov z ogromnimi količinami vode, ki bi jo napajali na našem ozemlju, vendar imamo ravno tako veliko podatkov o njenem nihanju pretoka. Čeprav je Mura samo tranzitna reka in ima slovensko območje zanemarljiv vpliv na njen pretok, je vendarle pomembna reka. Najpomembnejša je verjetno v kmetijskih panogah v povezavi s podtalnico in rodovitnostjo prsti na večjem delu Pomurja ter z namakanjem kmetijskih zemljišč.

Preglednica 4: Veliki, srednji in mali pretoki 2012 ter značilni pretoki v dolgoletnem primerjalnem obdobju (Povzeto po Pregled hidroloških razmer površinskih voda v Sloveniji, poročilo o monitoringu za leto 2012, ARSO 2014: str. 38)

REKA	POSTAJA	Qnp 2012		nQnp	sQnp 1971–2000	vQnp	Legenda:	
		m <sup>3</sup> /s	dan	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s		
MURA	G. RADGONA	47,9	7. 2.	45,3	62,1	81,7	<p><b>Qvk</b> veliki pretok v mesecu-opazovana konica</p> <p><b>nQvk</b> najmanjši veliki pretok v obdobju</p> <p><b>sQvk</b> srednji veliki pretok v obdobju</p> <p><b>vQvk</b> največji veliki pretok v obdobju</p> <p><b>Qs</b> srednji pretok v mesecu-srednje dnevne vrednosti</p> <p><b>nQs</b> najmanjši srednji pretok v obdobju</p> <p><b>sQs</b> srednji pretok v obdobju</p> <p><b>vQs</b> največji srednji pretok v obdobju</p> <p><b>Qnp</b> mali pretok v mesecu-srednje dnevne vrednosti</p> <p><b>nQnp</b> najmanjši mali pretok v obdobju</p> <p><b>sQnp</b> srednji mali pretok v obdobju</p> <p><b>vQnp</b> največji mali pretok v obdobju</p>	
DRAVA	BORL+FORMIN	88,3	7. 1.	78,9	164	299		
DRAVINJA	VIDEM	0,64	8. 8.	0,6	2,1	4,3		
SAVINJA	VELIKO ŠIRJE	5,5	23. 8.	4,7	9,5	15,2		
SOTLA	RAKOVEC	0,4	25. 8.	0,1	0,9	1,8		
SAVA	RADOVLJICA	9,8	22. 2.	5,0	8,4	13,3		
SAVA	ŠENTJAKOB	23,6	16. 3.	19,1	27,1	35,3		
SAVA	HRASTNIK	41,1	25. 8.	32,8	45,6	62,2		
SAVA	ČATEŽ	53,8	23. 8.	50,8	73	102		
SORA	SUHA	2,8	22. 8.	2,1	3,8	5,3		
KRKA	PODBOČJE	4,4	11. 8.	6,2	10,4	17,7		
KOLPA	RADENCI	3,6	25. 8.	3,5	5,8	9,1		
LJUBLJANICA	MOSTE	4,4	25. 8.	4,1	7,7	15,6		
SOČA	SOLKAN	14,0	8. 7.	9,6	19,6	29,3		
VIPAVA	DOLENJE	1,2	21. 8.	1,5	1,8	2,2		
IDRIJCA	PODROTEJA	1,1	18. 8.	0,8	1,5	2,2		
REKA	C. MLIN	0,31	5. 8.	0,2	0,6	1,2		
		<b>Qs</b>		<b>nQs</b>	<b>sQs</b>	<b>vQs</b>		
MURA	G. RADGONA	181		103	153	221		
DRAVA	BORL+FORMIN	325		164	284	483		
DRAVINJA	VIDEM	6,1		5,9	11,2	20,7		
SAVINJA	VELIKO ŠIRJE	36,6		29,2	44	62,5		
SOTLA	RAKOVEC	5,8		5,1	9,3	13,1		
SAVA	RADOVLJICA	45,8		30,4	43,1	53,8		
SAVA	ŠENTJAKOB	81,9		61,2	85,1	104		
SAVA	HRASTNIK	151		132	158	188		
SAVA	ČATEŽ	240		183	272	359		
SORA	SUHA	16,2		13,5	19,3	24,4		
KRKA	PODBOČJE	44,5		31,7	51,9	78,6		
KOLPA	RADENCI	43,5		35,1	50,7	65,6		
LJUBLJANICA	MOSTE	39,8		35,7	55,6	72,5		
SOČA	SOLKAN	86		60,9	89,8	116		
VIPAVA	DOLENJE	9,9		8,9	12,1	15,2		
IDRIJCA	PODROTEJA	7,6		6,4	8,2	10,4		
REKA	C. MLIN	5,1		4,2	7,8	12,1		
		<b>Qvk</b>		<b>nQvk</b>	<b>sQvk</b>	<b>vQvk</b>		
MURA	G. RADGONA	1121	22. 7.	273	735	1205		
DRAVA	BORL+FORMIN	2759	6. 11.	251	640	2292		
DRAVINJA	VIDEM	111	28. 10.	71,1	151	291		
SAVINJA	VELIKO ŠIRJE	1175	5. 11.	278	717	1490		
SOTLA	RAKOVEC	97,7	28. 10.	52,0	155	264		
SAVA	RADOVLJICA	809	5. 11.	208	411	687		
SAVA	ŠENTJAKOB	1000	28. 10.	442	861	1422		
SAVA	HRASTNIK	1851	6. 11.	786	1202	1668		
SAVA	ČATEŽ	2928	6. 11.	1005	2034	3267		
SORA	SUHA	426	5. 11.	147	329	687		
KRKA	PODBOČJE	335	29. 10.	217	289	356		
KOLPA	RADENCI	642	16. 12.	355	669	949		
LJUBLJANICA	MOSTE	238	28. 10.	206	282	405		
SOČA	SOLKAN	2168	5. 11.	747	1391	2066		
VIPAVA	DOLENJE	205	27. 10.	78,2	152	192		
IDRIJCA	PODROTEJA	333	27. 10.	96,0	184	304		
REKA	C. MLIN	178	28. 11.	83,3	182	305		

Pomurje je pod vplivom celinskega podnebja, za katerega je značilna minimalna količina padavin in veliko nihanje temperatur med letom. V Murski Soboti pade malo nad 800 mm padavin na leto, velike razlike pa so tudi med zimskimi in poletnimi temperaturami. Visoka dnevna temperatura zraka v

poletnih mesecih vpliva na izhlapevanje, medtem ko majhne količine dežja skromno namakajo izsušene površine. Večina padavin izhlapi, zelo majhen del pa jih odteče; le dobrih 200 mm, kar je daleč pod slovenskim povprečjem. Časovni trendi temperature zraka kažejo na naraščajoč trend, sezonska analiza količine padavin pa je pokazala na manjšanje zimskih, pomladanskih in poletnih padavin ter na večanje jesenskih padavin (Dolinar et al., 2008). Reka Mura je hidrološka izjema za pomursko področje, ker ne odraža lastnosti področja. Najpomembnejši dejavnik je podnebje, saj so pretočni režimi odvisni predvsem od letne razporeditve padavin in temperatur ter od taljenja snežne odeje (Hrvatina, 1998; Frantar et al., 2005). Pretok Mure je pod največjim vplivom taljenja snega in ledu v Alpah, medtem ko je vpliv lokalnega panonskega podnebja na njen pretok skoraj zanemarljiv (Frantar et al., 2005).

Ostale reke, ki ne izvirajo v Sloveniji in samo tečejo skozi, oziroma so mejne reke, saj imajo samo en breg v Republiki Sloveniji, kot na primer Kolpa, predstavljajo prav tako pomemben vir informacij o nihanju oziroma spreminjanju vodnih režimov, kljub njihovim geografskim lastnostim. Reka Kolpa je pod močnim vplivom meteoroloških pojavov, ki so značilni za območje Bele krajine in nam lepo prikazujejo razmere pretoka, kljub temu da je njen desni breg v sosednji državi. To bi morebiti lahko predstavljalo težavo, saj je približno polovica porečja Kolpe v sosednji državi in nimamo podatkov o njenih desnih pritokih. Kolpo analiziramo in obravnavamo kot reko, ki ima samo polovično porečje, in sicer samo tisto na območju Republike Slovenije, kljub temu pa imamo dobre podatke o njenem hidrološkem stanju.

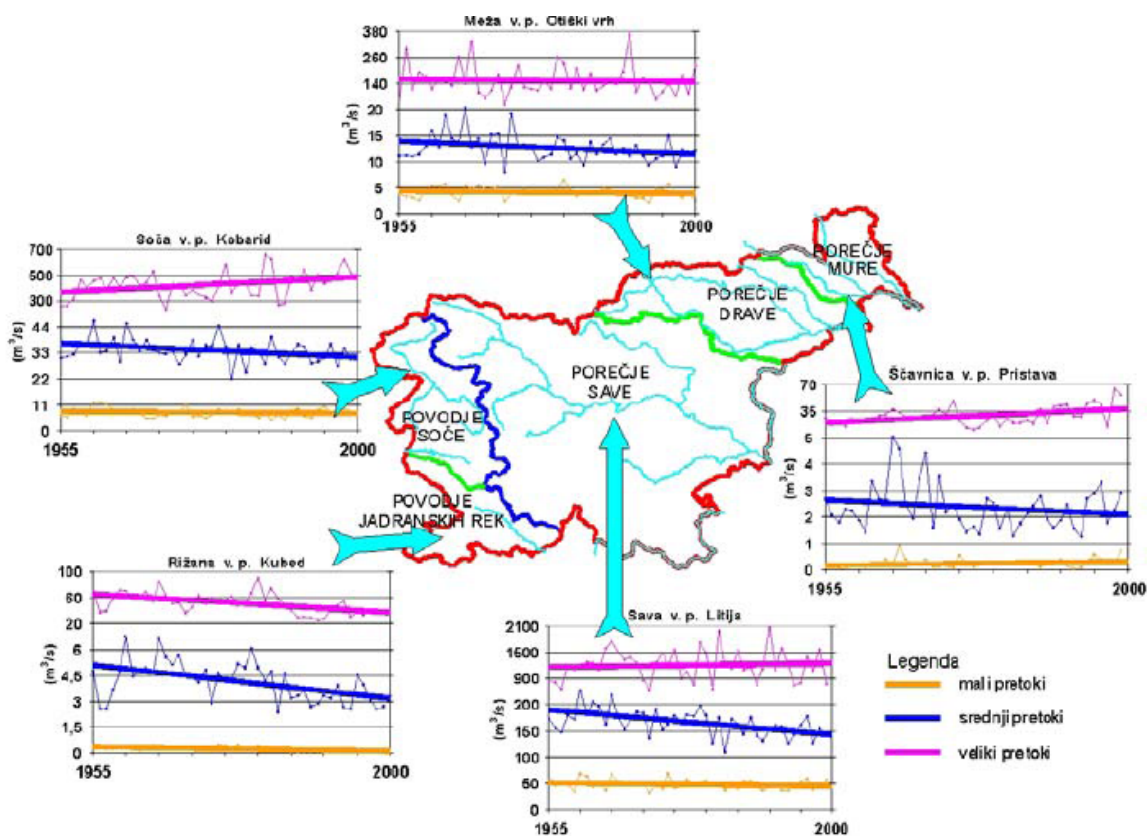
#### **4.2 Hidrološke lastnosti slovenskega ozemlja**

Slovenija je glede količine vode zelo bogata dežela, sodi v sam evropski vrh glede količine vode na prebivalstvo. Povprečno je potencialno razpoložljive vode na prebivalca v enem letu okrog 16000 m<sup>3</sup>. Od tega je 9350 m<sup>3</sup> letno na prebivalca samo internega odtoka, brez dotoka iz tujih držav. Večina slovenskih rek izvira v Alpah, velik delež, in sicer kar 41 % vode, priteče iz sosednje Avstrije. Slovenija je razdeljena z eno kontinentalno razvodnico, ki poteka približno od severozahoda proti jugovzhodu. Vzhodni del Slovenije odteka v Črno morje, medtem ko zahodni v Jadransko morje. Povodje Jadranskega morja ima povprečno tudi največjo količino padavin, in kljub temu da predstavlja približno 19 % celotnega slovenskega ozemlja, prispeva kar 29 % celotnega internega odtoka iz Slovenije.

Na podlagi analize srednjih letnih padavin je razvidno, da so velike razlike med območji z največ padavinami v severozahodni Sloveniji in najmanj padavinami na vzhodu. Največ padavin pade v Posočju in na območju Julijskih Alp, in sicer okrog 3200 mm na leto. Medtem pa na drugem koncu Slovenije, v Pomurju, pade samo okrog 900 mm padavin na leto (ARSO, 2006).

Analize iz leta 2000 na ARSO prikazujejo padanje trendne linije za kar 0,15 km<sup>3</sup> na leto za vse razpoložljive vode v vodotokih. To je zaskrbljujoč podatek, še posebno, če se bo trend nadaljeval tudi v prihodnje. Glavni razlog za takšno upadanje pa je spreminjanje klimatskih razmer.

V analizi hidrološkega stanja, za katero so znani podatki za obdobje od 1955 do 2000, so bila zajeta vsa povodja v Sloveniji, kar je prikazano na sliki 18. Z analizo hidrološkega stanja pridobljeni rezultati prikazujejo podobnosti v spreminjanju, in sicer na vseh vodotokih po vseh področjih Slovenije. Ti rezultati nakazujejo, da se veliki pretoki, torej poplave, na večinskem delu Slovenije povečujejo, medtem ko manjši in srednji pretoki upadajo. Vse kaže na to, da se ekstremni hidrološki pogoji še bolj oddaljujejo od povprečja. Poplave bodo torej v prihodnje še hujše, sušna obdobja z malo vode pa še bolj suha.



Slika 18: Trendi značilnih pretokov za obdobje 1955–2000 (vir: <http://www.arso.gov.si/varstvo%20okolja/poro%C4%8Dila/poro%C4%8Dila%20o%20stanju%20okolja%20v%20Sloveniji/vode.pdf>, str. 8)

Na podlagi pridobljenih informacij o stanju vodotokov v Sloveniji in glede na to, da se zmanjšuje količina potencialno razpoložljive vode, lahko sklepamo, da bo v prihodnje primanjkovalo vode v mnogih delih Slovenije. Najprej bodo občutili pomanjkanje ravno v tistih krajih, kjer so že zdaj izredno velika sušna obdobja, torej v Prekmurju in na območju slovenske Istre, kjer naklon trendne črte izrazito strmo upada in nakazuje hude ter dolgotrajne suše (ARSO).

Vedno pomembnejši tako postajajo podatki o minimalnem pretoku rek, saj je zaradi nizkega pretoka že marsikje upočasnen gospodarski razvoj. Maksimalni pretoki pa s poplavami in njihovimi posledicami opozarjajo, da razmere še vedno niso dovolj urejene, da bi take dogodke preprečili ali vsaj ublažili njihove učinke. Koefficient variabilnosti predstavlja razliko v stanju vode glede na povprečje. Velika variabilnost je značilna za reke, ki se v sušnem obdobju hitro odzovejo na padavinske viške, to so reke, ki imajo hudourniške lastnosti. Majhna variabilnost in s tem dokaj ugodno stalnost vode imajo reke, ki se jim razmeroma počasi in minimalno poveča pretok ob obilnejših padavinah, primer je reka Mura. Pri rekah z velikim porečjem in kraških rekah so razlike med minimalnim in maksimalnim pretokom glede na srednji pretok najmanjše. Ekstremni minimalni pretok rek alpskega visokogorja in sredogorja doseže od 10 do 20 % vrednosti srednjega letnega pretoka. Najizrazitejše razlike med minimalnim in srednjim pretokom so značilne za reke in potoke v Slovenskih goricah, Halozah in Prekmurju. Ob ekstremnem minimalnem pretoku je vrednost pretoka Ledave v Polani znašala le 2,1 % vrednosti srednjega pretoka. V Slovenskih goricah že ob nekoliko dolgotrajnejši suši presahne več manjših rečic in potokov, ob nekoliko izrazitejših padavinah pa njihov pretok zelo narase. Maksimalen pretok v tridesetletnem obdobju je dosegel na Ledavi v Polani skoraj 58,8-kratno vrednost srednjega pretoka (Kolbezen, 1998).

#### **4.3 Podrobna analiza pretoka slovenskih rek**

Za kvalitetno analizo podatkov o stanju vodotokov po Sloveniji potrebujemo mrežo merilnih naprav, ki so enakomerno porazdeljene po vseh vodotokih v približno enakomerni medsebojni oddaljenosti. Zaradi vse večjega spreminjanja meteoroloških pojavov in seveda tudi zaradi človeškega posega v rečne struge moramo tudi že dano mrežo merilnih naprav neprestano prilagajati. Poleg vodomernih naprav lahko za merjenje pretoka reke uporabimo tudi podatke o pretoku na hidroelektrarnah ali pa izpuste iz akumulacijskih jezer. Večje število podatkov kot zberemo, bolj natančen bo rezultat o stanju vodotoka.

Veliko število znanstvenikov in strokovnjakov s tega področja se je lotilo zbiranja podatkov in analiziranja pretočnih režimov slovenskih rek. Pretočni režimi zajemajo nihanje pretoka vode v strugi čez celo leto, pri čemer imajo največji vpliv na nihanje padavine in temperatura. Med ostale dejavnike, ki vplivajo na pretočni režim, štejemo še relief, rastlinstvo in človeški vpliv. Hidrološke značilnosti vodotoka in pretočni režim sta rezultat geografskih značilnosti in vplivov podnebja, kjer bi lahko rekli, da je vloga reliefa v enačbi upoštevana kot konstanta, klimatske spremembe v različnih časovnih obdobjih pa upoštevam kot spremenljivke v enačbi.

Za analiziranje pretočnih režimov slovenskih rek sta Peter Frantar in Mauro Hrvatini vse reke razdelila v skupine glede na medsebojno podobnost hidrološkega stanja oziroma pretočnega režima. Frantar in

Hrvatini sta vodotoke skupaj razdelila v pet pretočnih tipov, medtem ko je Frantar sam istega leta iste pretoke razdelil v osem skupin pretočnih tipov.

Zato da bodo rezultati realni, sta upoštevala podatke vodomernih postaj v daljšem časovnem obdobju. Zbrani podatki zajemajo 35 različnih slovenskih rek s 43 vodomernih postaj, enakomerno porazdeljenih po celotnem ozemlju Slovenije v obdobju od 1961 do 2000.

Tipi pretočnih režimov v Sloveniji za obdobje 1961–1990:

- alpski snežni,
- alpski visokogorski snežno-dežni,
- alpski sredogorski snežno-dežni,
- alpski dežno-snežni,
- dinarsko-alpski dežno-snežni,
- dinarski dežno-snežni,
- panonski dežno-snežni,
- sredozemski dežni.

Razlike med posameznimi pretočnimi režimi se zaradi posledic globalnega segrevanja postopoma zmanjšujejo, in sicer zaradi zmanjšanja zimskega snežnega zadržka ter zaradi povečanja poletnega izhlapevanja. Pretočni režimi rek so si vedno bolj podobni, zato je smiselno tudi manjše število tipov pretočnih režimov.

Tipi pretočnih režimov v Sloveniji za obdobje 1971–2000:

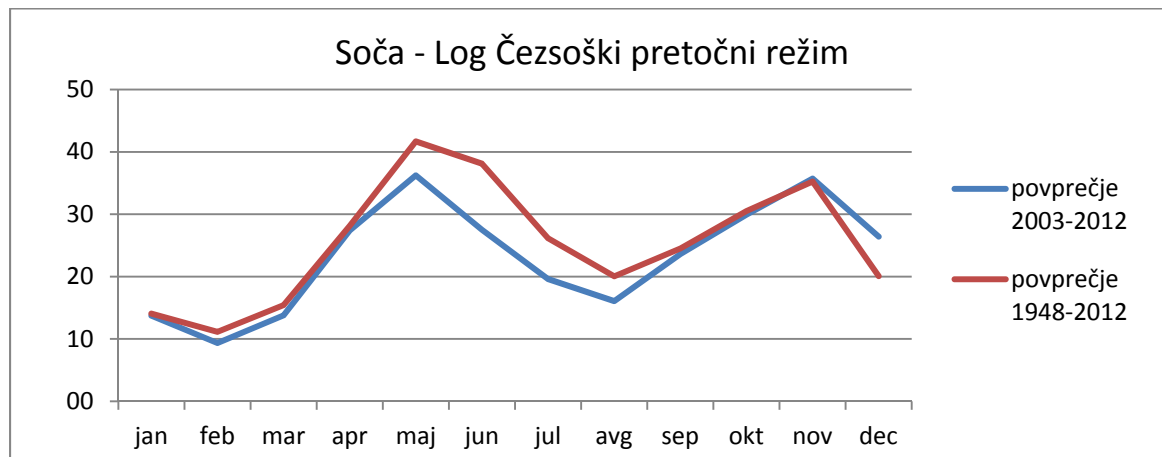
- alpski snežno-dežni,
- alpski dežno-snežni,
- dinarski dežno-snežni,
- panonski dežno-snežni,
- sredozemski dežni.

Iz navedenih delitev skupin glede na pretočni režim je razvidno, da je največ sprememb pri razdelitvi alpskega režima. Združevanje več skupin v eno je predvsem posledica podobnosti pretočnih režimov.

#### 1. Alpski snežno-dežni režim

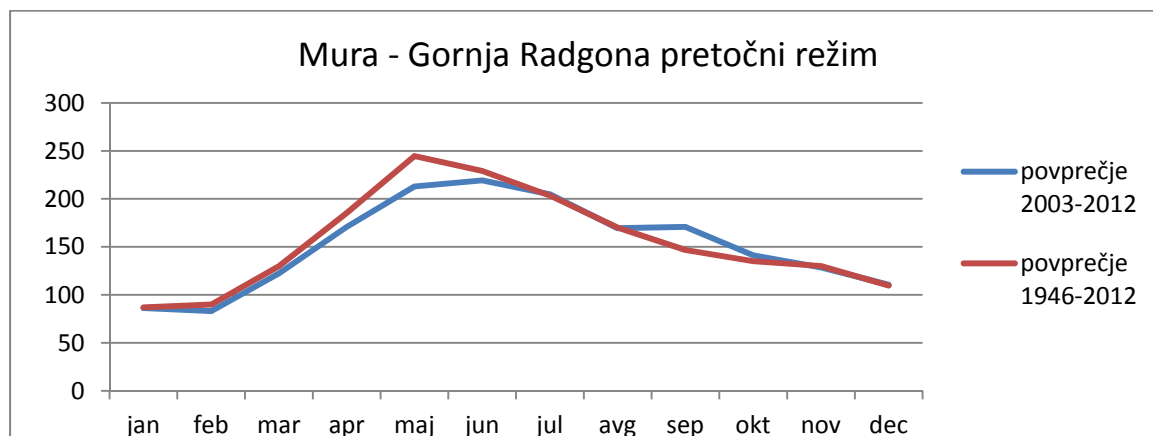
Ta režim je značilen za: Dravo, Kamniško Bistrico, Muro, Savo Bohinjko, Savo Dolinko, Savo pri Radovljici, Savinjo pri Solčavi ter zgornji tok Soče.

Ta režim je torej značilen za reke alpskega visokogorja in je pod velikim vplivom snežnih padavin pozimi. Glavni višek je maja ali junija, drugi višek pa oktobra ali novembra. Nižek je februarja, drugi nižek pa avgusta ali septembra, kot je razvidno na sliki 19.



Slika 19: Pretočni režimi na vodomerni postaji Log Čezsoški na Soči

Od opisanih razmer nekoliko odstopa režim Mure, ki je še vedno enostaven, z enim samim izrazitim viškom maja in enim izrazitim nižkom januarja, kar je prikazano na sliki 20.

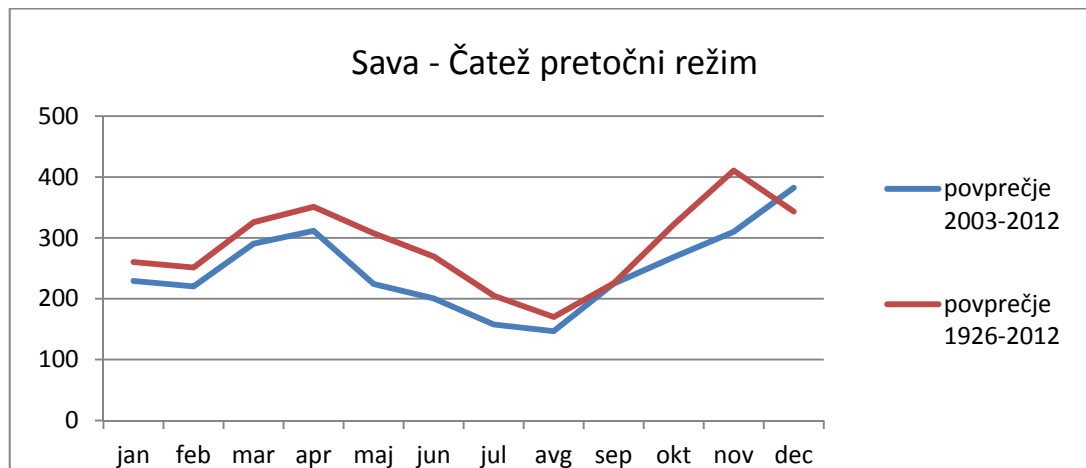


Slika 20: Pretočni režimi na vodomerni postaji Gornja Radgona na Muri

## 2. Alpski dežno-snežni režim

Ta režim je značilen za: Kokro, Mežo, Pako, Radovno, Savo pri Šentjakobu, Litiji in Čatežu, Savinjo pri Nazarjah in Laškem, Sočo pri Solkanu ter Učjo.

Slednji režim torej zajema reke alpskega sredogorja, vendar pa nekatere reke izjemoma segajo tudi v visokogorje. Spomladanski in jesenski višek sta dokaj izenačena, tudi oba nižka, zimski in poletni, sta si podobna, kot je razvidno na sliki 21.

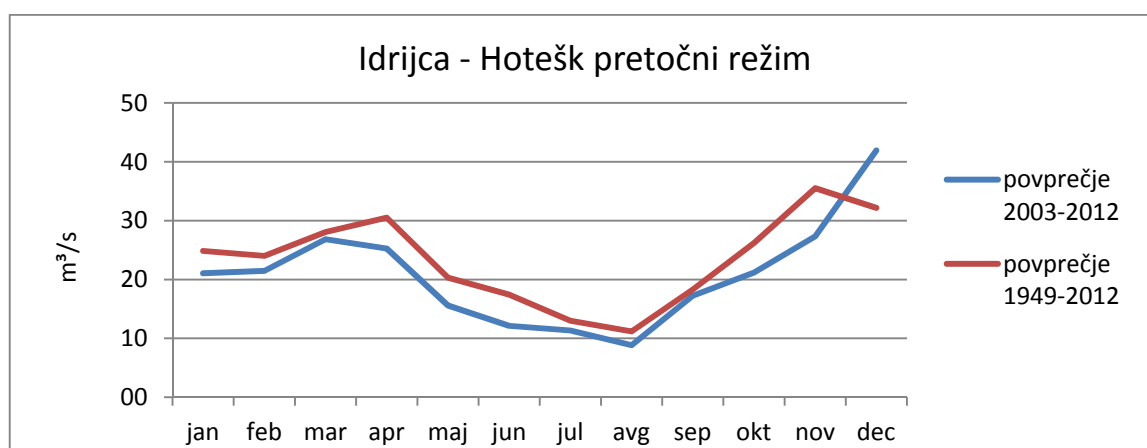


Slika 21: Pretočni režimi na vodomerni postaji Čatež na Savi

### 3. Dinarski deževno-snežni režim

Ta režim velja za: Bolsko, Cerkljansko, Idrijco, Kolpo, Krko, Lahinjo, Ljubljano, Sora, Unico ter Vipavo.

V ta režim spadajo torej reke dinarskega sveta, ki se jim po značilnostih pridružujejo še Bolska, Idrijca in Sora. Na sliki 22 je prikazano, da sta pomladanski in jesenski višek dokaj izenačena, glavni nižek je avgusta, drugi nižek pa je pozimi.



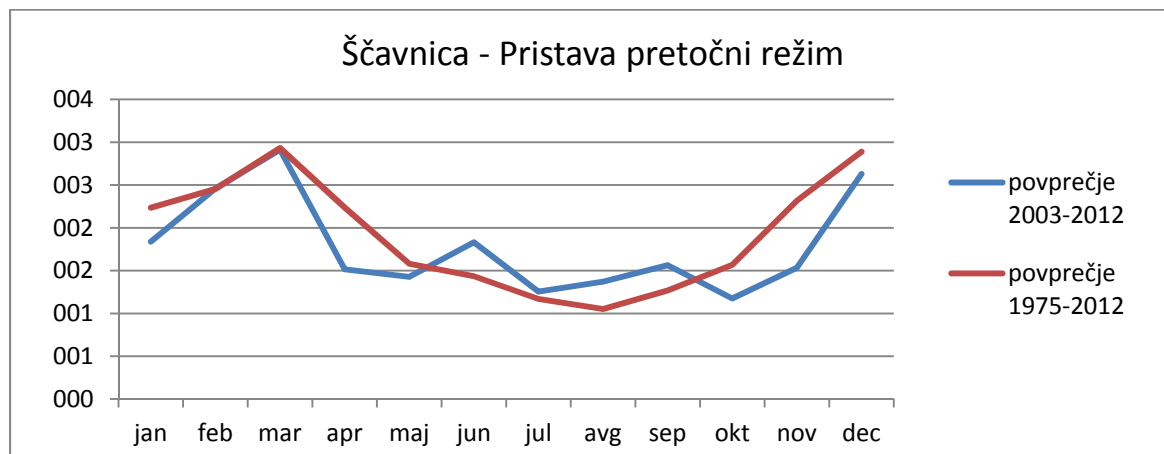
Slika 22: Pretočni režimi na vodomerni postaji Hotešk na Idrijci



#### 4. Panonski dežno-snežni režim

V ta režim uvrščamo: Dravinjo, Lendavo, Mirno, Pesnico, Polskavo, Sotlo, Ščavnico, Temenico ter Voglajno.

Ta rečni režim velja torej za reke ravninskega panonskega sveta razen reke Mure, vendar pa se podobnosti najdejo tudi za kraško Temenico in hribovsko Mirno. Višek je zgodaj spomladi in pozno jeseni, nižek pa avgusta, kot je razvidno na sliki 23.

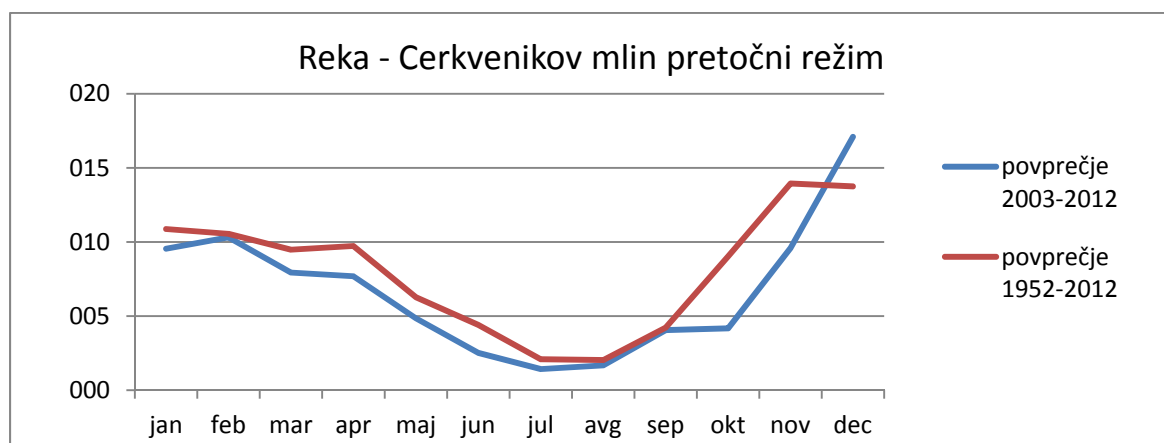


Slika 23: Pretočni režimi na vodomerni postaji Pristava na Ščavnici

#### 5. Sredozemski dežni režim

Slednji režim velja za: Pivko, Reko in Rižano

Režim zajema reke na jugozahodu oz. mediteranski del Slovenije, ta skupina rek pa je najmanjša in tudi najbolj homogena. Slika 24 prikazuje glavni višek novembra ali decembra, drugi višek v aprilu, nižek pa je avgusta.



Slika 24: Pretočni režimi na vodomerni postaji Cerkevnikov Mlin na Reki

Tako sta slovenske reke glede na njihov režim razvrstila Frantar in Hrvatini (Frantar in Hrvatini, 2005). Frantar (2005) jih je razvrstil še v 8 skupin in jih primerjal še s spreminjanjem lastnega režima v zadnji dekadi, torej 1991–2000. Reke so po skupinah in po lastnostih lastnega režima razporejene enako, razen alpske reke, ki so malo podrobneje sortirane v podskupine. Za vseh osem skupin velja, da se njihov režim v določeni meri zelo malo spreminja, pri nekaterih bolj, pri drugih pa manj. Iz dobljenih rezultatov je razvidno, da se povečuje jesenski in zgodnji zimski odtok zaradi povečevanja padavin v tistem obdobju. Pri določenih skupinah je ta jesenski odtok toliko večji, da je že postal glavni višek v letu. To lahko razumemo kot globalno otoplitev ozračja. Če je v prejšnjih letih v jesenskem času snežilo, se to ni poznalo na pretoku rek. Zdaj pa zaradi povišanih temperatur jeseni oziroma zgodaj pozimi namesto snežnih padavin dežuje, kar neposredno vpliva na zvišanje jesenskih pretokov rek. Dejavnik globalnega segrevanja vpliva tudi na manjše količine snežne odeje v visokogorju in na manjše količine odtoka snežnice v pomladanskih mesecih zaradi manjšanja vpliva snežnega zadržka. Tako smo priča upadanju količin vode od pomladanskih pa vse do poletnih mesecev. Domnevamo lahko, da se bodo poletni nizki še bolj povečali in spremenili v ekstremna sušna obdobja, jesenski meseci z obilnimi padavinami pa bodo vplivali na vedno večje poplave. Ta analiza je sicer dovolj kvalitetna, vendar bi bilo treba za dodatno potrditev izvesti še druge študije in podrobneje preučiti primer.

#### **4.4 Analiza hidrološkega stanja za reko Savo**

Od vseh slovenskih rek bi lahko rekli, da je najboljši primer stanja vode v državi ravno reka Sava. Ta najdaljša slovenska reka izvira v slovenskih Alpah ter teče skozi večje območje države in prečka več različnih geografskih ter podnebnih področij. Poleg vsega pa se vanjo izlivajo vse reke v osrednjem delu države, edina izjema so reke na delu jadranskega povodja in reke porečja Drave in Mure. Sava ima dva izvira, eden je Sava Dolinka, ki meri 44 km, drugi pa Sava Bohinjka, ki meri 41 km. Obe Savi, združeni v Savo, tečeta še 175 km do slovensko-hrvaške meje. Izvir Save je na 833 m, iztok iz države pa na 132 m nadmorske višine.

Za analizo hidrološkega stanja je bilo izbranih 8 vodomernih postaj, približno enakomerno porazdeljenih od obeh izvirov pa do iztoka. Analiziralo se je podatke na izbranih vodomernih postajah, in sicer od 1961 do 1990, se jih primerjalo s podatki zadnje dekade od 1991 do 2000 ter se poskušalo ugotoviti, če se je spremenil rečni režim in v kolikšni meri se je spremenil glede na zbrane podatke v zadnji dekadi.

Rezultati, ki jih navaja Frantar (2003), delijo Savo na zgornji in spodnji del glede na njene hidrološke lastnosti. Glede na prejšnje raziskave bi lahko uvrstili zgornji del Save v snežno-dežni režim, spodnji pa v dežno-snežni. Snežno-dežni pretočni režim velja za vodomerne postaje: Podkoren, Sveti Janez,

Jesenice in Radovljica, v dežno-snežni režim pa se štejejo vodomerne postaje: Šentjakob, Litija, Radeče in Čatež.

Snežno-dežni pretočni režim je značilen za zgornji del Save in velja tako za Savo Bohinjko kot za Savo Dolinko. Glavni višek je spomladi, sekundarni jeseni, primarni nižek je pozimi, sekundarni poleti. Spomladanske visoke vode so zaradi taljenja snega v visokogorju, jeseni pa so visoke vode zaradi obilnih padavin. Pomanjkanje vode v zimskem času je zaradi zadrževanja snežne odeje, v poletnem času pa zaradi pomanjkanja padavin in povečane evapotranspiracije ter izhlapevanja.

Dežno-snežni pretočni režim velja za spodnji del Save. Oba viška, spomladanski in jesenski, sta si zelo podobna. Glavni nižek je poleti, sekundarni z več vode pa je pozimi. Pri tem pretočnem režimu je tudi mogoče opaziti, da je količina vode čez vse leto bolj enakomerno razporejena, saj je veliko manjša razlika pretokov med viški in nižki, kot pa pri snežno-dežnem režimu.

Rezultati, ki jih je dobil Frantar, v zadnji dekadi od 1991 do 2000 delijo vodomerne postaje v tri skupine:

- individualna enota Sv. Janez,
- Podkoren, Jesenice, Radovljica in Šentjakob,
- Litija, Radeče in Čatež.

Glede na rezultate ima Sava Bohinjka pri Sv. Janezu značilnosti dežno-snežnega režima. Lahko se bi reklo, da je ta režim podoben sam sebi ter se zelo razlikuje od ostalih režimov na Savi. Primarni višek je jeseni, sekundarni maja, glavni nižek je februarja, sekundarni pa avgusta. Ta režim vse bolj kaže lastnosti dežnega režima z vplivi visokogorja, lahko bi ga poimenovali tudi visokogorski dežno-snežni tip režima.

Druga skupina zajema zgornji del Save. V to skupino, ki velja za vodomerne postaje gorvodno od Radovljice, se uvršča zraven še vodomerna postaja Šentjakob. Po natančnem pregledu se opazi, da ima tudi vodomerna postaja Šentjakob, veliko podobnosti v pretočnem režimu z ostalimi gorvodnimi vodomernimi mesti. Primarni višek je novembra, sekundarni pa na Savi Dolinki junija, v Radovljici maja, v Šentjakobu aprila. Glavni nižek je februarja, sekundarni pozno poleti. Opaziti je mogoče, da sta sekundarna ekstrema na Savi Dolinki skoraj nezaznavna, kar bi lahko vplivalo na razdelitev na dodatni dve podskupini: Podkoren in Jesenice ter druga podskupina Radovljica in Šentjakob. Za celo skupino bi lahko rekli, da se čuti močan vpliv dežnih padavin in manjši vpliv snega, zato bi jo lahko poimenovali sredogorski dežno-snežni tip režima.

Vodomerne postaje v zadnji skupini so si v veliki meri zelo podobne ali pa skoraj identične. Glavni višek je novembra, sekundarni aprila, nižka sta si zelo podobna, eden je avgusta, drugi pa februarja.

Pri tej skupini je najbolj občuten vpliv dežnih padavin, zato bi ga lahko poimenovali nižinski dežno-snežni tip.

Na reki Savi je po izpeljani analizi možno opaziti upadanje srednjih letnih pretokov na vseh vodomernih postajah, zaznati pa je mogoče tudi trend upadanja visokih in nizkih konic pretokov. To bi lahko razložili kot posledico manjšanja padavin in povečevanja evapotranspiracije. Zaznati je mogoče tudi večanje skrajnih pretočnih vrednosti dolvodno od sotočja Save Dolinke in Save Bohinjke, to so večja nihanja pretoka, ki nakazujejo klimatske spremembe. V zadnji dekadi je mogoče občutiti skrajno velike poznojesenske pretoke predvsem zaradi povečevanja količine padavin v teh mesecih. Na drugi strani je izrazit upad pomladanske in poletne količine vode, tako zaradi manjše snežne odeje (posledica toplejšega ozračja) kot tudi zaradi skromnih poletnih padavin. Priča smo spreminjanju pretočnega režima reke Save. Znatne spremembe se opažajo šele od leta 1991 in potrjujejo, da snežno-dežnega režima ni več in da se je spremenil v dežno-snežnega, ki ga delimo na visokogorskega, sredogorskega in nižinskega. Za vse te spremembe pretočnih režimov je odgovorno globalno segrevanje z višanjem temperatur zraka in spremembami v podnebjju. Majhen vpliv pa lahko zaznamo tudi zaradi delovanja hidroelektrarn (Frantar, 2003).

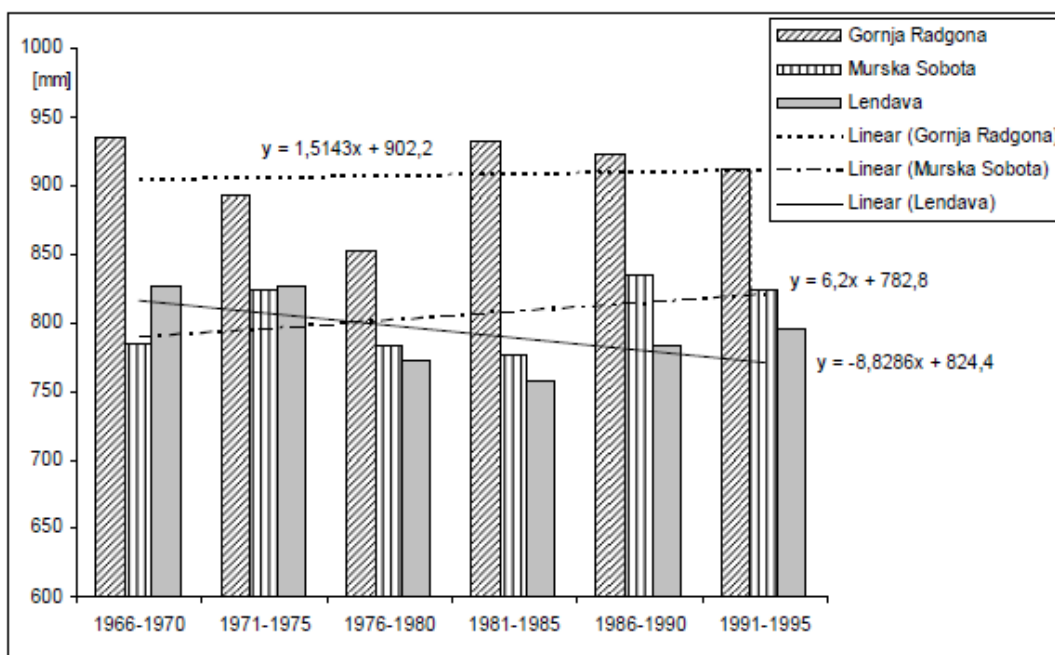
#### **4.5 Analiza hidrološkega stanja za reko Muro**

Leta 2007 je bila izdelana študija analize stanja in trendov hidroloških lastnosti prostora reke Mure v Sloveniji (Globevnik, 2007) za 65-letne sezonske hidrološke dinamike. Obravnava porečja reke Mure v Sloveniji je aktualna že zaradi biotske raznovrstnosti rečnega prostora, vodnih, rekreacijskih in turističnih potencialov ter zaradi dejstva, da je podzemna voda vodonosnikov murskih ravnih najpomembnejši vir pitne vode območja, hkrati pa se uporablja tudi za namakanje. Ker so od hidroloških lastnosti odvisni ključni ekološki dejavniki za ohranjanje biotske raznolikosti prostora, ima poznavanje stanja in trendov velik pomen. To poznavanje je potrebno tudi kot osnova za oblikovanje programov ukrepov za varstvo in rabo tega prostora.

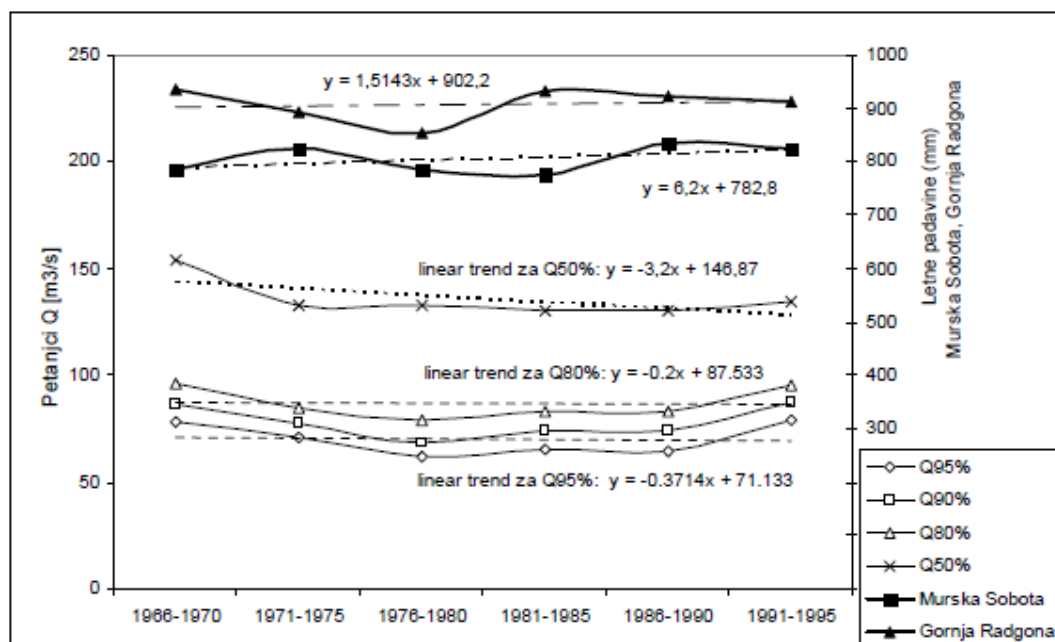
Na reki Muri so postavljene štiri vodomerne postaje, od tega so tri v upravljanju ARSO (Cmurek, Gornja Radgona, Petanjci), ena pa je v upravljanju Hrvaškega hidrometeorološkega zavoda – DHMZ (Mursko Središče). Za analizo so uporabljeni podatki ARSO o dnevni pretokih v Gornji Radgoni in Petanjcih (obdobje 1926–2000), dnevni pretokih v Murskem Središču (Hidrološki godišnjaki, arhiv IzVRS), o letnih vrednostih padavin za Gornjo Radgono, Mursko Soboto in Lendavo za obdobje 1961–2000 (arhiv ARSO) in podatki ARSO o nivojih podzemne vode območja Mure na 18 lokacijah (obdobje 1961–2000).

Linearni trendi pretokov so negativni, padavine ne izkazujejo negativnega trenda, kot prikazujeta sliki 25 in 26. Kot je razvidno na sliki 27, so linearni trendi letnih srednjih in minimalnih (povprečje

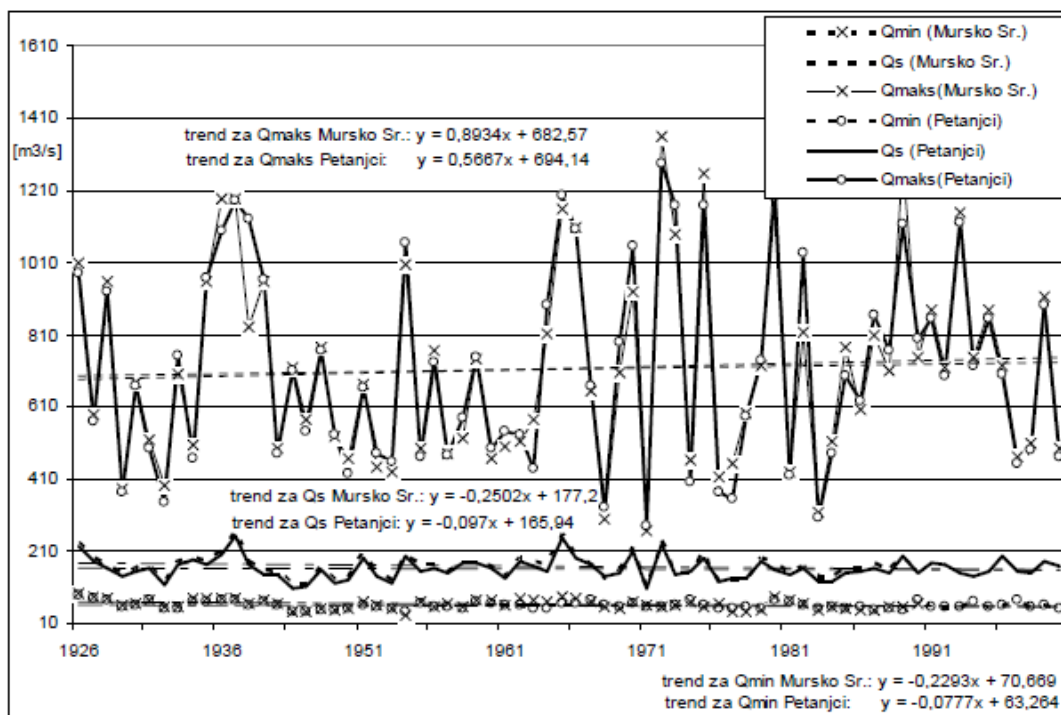
najmanjših mesečnih pretokov leta) povprečij pretokov na vodomernih postajah Petanjci in Mursko Središče negativni, trend maksimalnih pa je pozitiven.



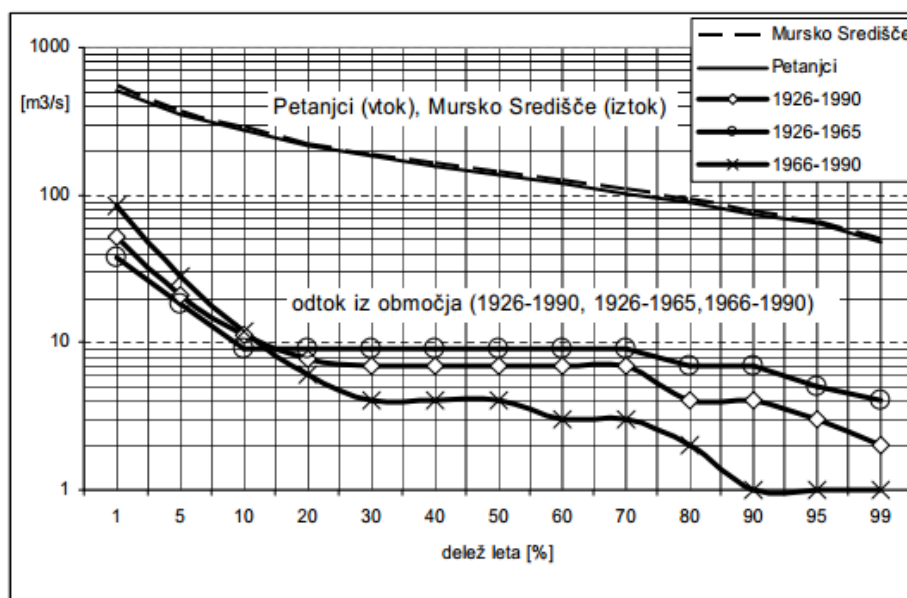
Slika 25: Povprečne letne padavine za Gornjo Radgono, Mursko Soboto in Lendavo z linearnimi trendi za obdobje 1966–1995 (povzeto po Globevnik, 2007: str. 4)



Slika 26: Primerjava povprečnih pretokov v Petanjcih s pogostostjo nastopa 95 %, 90 %, 80 %, 50 % in povprečne letne padavine v Murski Soboti in Gornji Radgoni za šest zaporednih obdobj (povzeto po Globevnik, 2007: str. 5)



Slika 27: Srednji (Qs), minimalni (Qmin) in maksimalni (Qmaks) pretoki na vodomernih postajah Petanjci (obdobje 1926–2000) in Mursko Središče (obdobje 1926–1990) z linearnimi trendi (povzeto po Globevnik, 2007: str. 5)



Slika 28: Krivulja trajanja srednjih dnevni pretokov obdobja 1926–1990 za Petanjce (vtok), Mursko Središče (iztok) in krivulja trajanja odtoka iz območja (krivulja razlik pretokov za različna trajanja) (povzeto po Globevnik, 2007: str. 6)

Analiza povprečnih vrednosti pretokov reke Mure v Petanjcih in pripadajočih padavin v Murski Soboti in Gornji Radgoni ne kaže vidnih ali pomembnih vplivov padavin v Sloveniji na pretoke reke Mure pod mejo Slovenije z Avstrijo. Dolgoletna analiza sezonske porazdelitve vtokov in odtokov kaže na to, da to območje hidrološko oblikuje predvsem reka Mura in manj padavine oziroma lokalni pritok, kar je prikazano na sliki 28. Analiza hidroloških podatkov pri vtoku na območje Petanjci kaže na velike spremembe v zadnjih desetletjih. Največji letni pretoki se povečujejo, število dni s temi pretoki pa se zmanjšuje. Povprečja srednjih in nizkih voda se manjšajo, število dni z nizkimi pretoki pa se povečuje. Analiza 65-letne sezonske dinamike odtoka vode iz območja prostora reke Mure v Sloveniji kaže na razmeroma konstanten odtok iz območja, ki pa se je v zadnjem obdobju močno zmanjšal (veliko zmanjšanje naravnih zadrževalnih sposobnosti rečnega prostora Mure pod Petanjci).

Z gradnjo visokovodnih nasipov ter z zmanjšanjem časa trajanja visokih voda in zmanjšanja obsega poplav se zmanjšuje tudi čas infiltracije vode v tla. Posledica je manjšanje obnavljanja podzemnih zalog vode v rečnem prostoru Mure. V obdobju med 1980 in 1998 je bil zaznan upad povprečne gladine podtalnice od 20 do 25 cm. Glede na ogromne vodne zaloge podtalnice to sicer ni velika vrednost, postane pa pomembna, ko se jo obravnava z ekološkega vidika. Sistem podtalne vode Pomurja in Prekmurja ni vezan samo na reko Muro, temveč tudi na njene pritoke, številne manjše potoke, jarke in gozd (Globevnik, 2007).

#### **4.6 Trendi spreminjanja pretokov**

Zaradi vedno pogostejših podnebnih sprememb in posledično tudi spreminjanja rečnih režimov se vedno več znanstvenih študij posveča preiskovanju hidrološkega stanja rek. V zadnjih letih smo pričali vedno bolj ekstremnim pojavom, visokim poplavam in dolgotrajnim sušam, ravno zato pa lahko z analizami hidroloških stanj in s trendi pretokov dobimo dokaj točen podatek o podnebnih spremembah in, kar je še pomembneje, korektnem ravnanju pri upravljanju z vodo. Na spreminjanje režima v vodotoku ne vplivajo samo podnebne spremembe, upoštevati moramo še evapotranspiracijo, poraščenost z gozdom ter spreminjanje naravnih površin v kmetijska ali urbana območja.

Pri analiziranju količine pretoka reke ima največji in časovno tudi najkrajši vpliv količina dežnih padavin. Padavine padejo na porečje in navlažijo ter nasičijo z vodo zaledje rečnega izvira. Ta voda se izceja skozi prst v strugo in začne kot površinska voda odtekati v dolino. Večja kot je količina in intenziteta padavin, večji bo poplavni val, ki se bo formiral v rečni strugi, odvisen pa je tudi od velikosti in značilnosti porečja ter od predhodnih količin vode, zadrževane v porečju v obliki podtalnice.

Z analiziranjem časovnih vrst je mogoče podrobneje opazovati pojave in ugotoviti zakonitosti dinamike pojavov ter napovedovati hidrološke dogodke, kot so poplave. S časovnimi vrstami nam dobljeni karakteristični hidrološki podatki, in sicer mali, srednji in veliki pretok, lepo kažejo

hidrološke spremembe in so temeljne informacije za zaščito pred poplavami. Trendi so idealen pokazatelj hidrološkega stanja vodotoka v daljšem časovnem obdobju. Zaradi klimatskih sprememb prihaja predvsem do nihanja pri ekstremnih dogodkih v vodotokih, in sicer do poplave in suše. Zanima nas tudi srednji letni pretok reke; ali je naraščajoč oziroma padajoč ter kakšne so razlike po Sloveniji. Za korektno izpeljavo analize moramo upoštevati naslednje kriterije.

- Izbrati moramo čim daljše nize podatkov, minimalno 50-letno beleženje pretokov.
- Nizi podatkov ne smejo biti prekinjeni.
- Podatki morajo biti kvalitetni.
- Prisoten mora biti čim manjši umetni vpliv na pretočni režim vodotoka.
- Vodomerne postaje morajo biti razporejene tako, da pokrijejo celotno Slovenijo.

Izbranih je bilo 53 vodomernih postaj, enakomerno porazdeljenih po celotni Sloveniji po vseh večjih in pomembnejših vodotokih. Na nekaterih daljših rekah je tudi več vodomernih postaj.

Trend srednjih letnih pretokov (Qs) je padajoč na vseh analiziranih vodomernih postajah, razen na Muri, Dravinji, Sori, Soči v Solkanu in Vipavi, ki kažejo naraščajoč srednji letni pretok. Trend srednjih letnih pretokov kaže na zmanjšanje količine vode v vseh pokrajinah Slovenije, kar je glavna posledica upadanja letnih količin padavin ter dviga temperatur, ki posledično povečujejo evapotranspiracijo. Rezultat analize je zaskrbljujoč glede na vodno gospodarstvo in ravnanje z vodnimi zalogami, kar nas sili v ustrezno in preiščljeno ravnanje ter gospodarjenje z vodo v prihodnje.

Trendi nizkih letnih pretokov (Qmin) so bili obravnavani kot minimalni letni srednji dnevni pretoki. Negativen trend, torej upadanje, je bil opažen na velikem številu merilnih mest na rekah Meži, Savi Bohinjki, Savi v Radovljici, Kolpi, Savinji in Soči v Kršovcu. Reki Radovna in Ljubljanica imata izrazito padajoč trend. Naraščajoč trend nizkih letnih pretokov imajo reke kraških in vzhodnih področij Slovenije. Izrazito naraščajoč trend izkazujejo Reka, Unica in Krka. Naraščajoč trend nizkih pretokov je večinoma posledica gorvodno po strugi zgrajenih vodnih zadrževalnikov in akumulacijskih jezer. Število vodomernih postaj po Sloveniji z naraščajočim trendom se manjša, medtem ko se število vodomernih postaj s padajočim trendom povečuje.

Trendi visokih letnih pretokov (Qvp) so bolj izraziti od trendov srednjih dnevnih pretokov. Analiza na večini vodomernih postaj kaže, da imajo izrazit trend upadanja Lendava, Meža, pritoki Save, Radovna, Unica, Savinja, Krka, Kolpa in Soča. Ostale reke ne kažejo statistično značilnega trenda.

V sklepu analize so rezultati pokazali, da se zmanjšuje količina vodnih zalog. Zaskrbljujoč podatek je, da imajo pretoki na vseh analiziranih vodomernih mestih padajoč trend srednjih letnih pretokov. Veliko pozornost bi bilo treba posvetiti tudi spremembam trendov nizkih vodnih stanj, predvsem zato



ker zmanjševanje količine vode v sušnem obdobju na območju ravninskih predelov negativno vpliva na kmetijske površine z upadanjem nivoja podtalnice in z dodatnim izsuševanjem prsti. Nizki vodni pretoki so padajoči na območju severne, zahodne in osrednje Slovenije, naraščajoči pa so na vzhodnem in južnem delu Slovenije. Ne smemo zanemariti niti problematike posledic visokovodnih stanj, saj te povzročajo veliko gmotno škodo ob poplavih. Za visoke vode se zazna trend upadanja, ampak je treba vseeno zagotoviti določeno varnost, in sicer z ureditvijo strug ter pravočasnim obveščanjem prebivalstva. Padajoč trend visokih voda je značilen predvsem za visokogorske in kraške reke, medtem ko je naraščajoč trend visokih voda značilen za vodotoke vzhodne Slovenije. Za konec lahko iz analize tudi razberemo, da se količina vode v Sloveniji zmanjšuje, za to spremembo pa ni odgovorno samo spreminjanje klimatskih razmer, upoštevati je treba še evapotranspiracijo, razgibanost terena, nadmorske višine, poraščenost z gozdom, količine podtalnih vodnih zalog, spreminjanje naravnih površin v kmetijska ali urbana območja. Dejansko se je povprečna letna temperatura dvignila, opaziti pa je mogoče tudi, da se nekdanja obdelovalna območja in travniki zaraščajo in spreminjajo v gozdove, kar povzroča evapotranspiracijo in zmanjševanje količine vode, ki bi napajala podtalnico ter kasneje vodotoke. Zaradi upadanja srednjih letnih pretokov nam ni treba toliko skrbeti za količino vode, bolj bi nas morala skrbeti njena kvaliteta, zlasti v sušnem obdobju (Ulaga, 2002; Uhan, 2007; Ulaga et al., 2008b; Jurko et al., 2009).

#### 4.7 Ostale analize

Tudi drugod po Evropi ter po ostalih delih sveta so različne analize posameznih rek pokazale opazne spremembe v pretoku v zadnjih desetletjih. Žal ne moremo z gotovostjo trditi, če so te spremembe rečnih vodostajev cikličnega značaja in se pojavljajo v določenih obdobjih ali pa je to enkratni fenomen. Na to vprašanje ne znamo odgovoriti, preprosto zato ker človek šele zadnjih nekaj desetletij oziroma zadnje stoletje vztrajno in redno beleži nivoje gladin reke. To pa je razmeroma kratko obdobje za naravne dejavnike, ki nam na splošno dobro prikažejo razvijanje režima reke, ampak razmeroma malo vemo o njeni cikličnosti in o morebitnih podobnih pojavih, ki se pojavljajo v stoletjih oziroma na tisoč let. Kar nam preostane je, da iščemo "krivca" v podnebnih spremembah, predvsem zaradi kopičenja toplogrednih plinov in posledično segrevanja celotne atmosfere. Znanstveniki po vsem svetu soglašajo, da se je temperatura zraka na površju Zemlje zvišala za 0,6 °C samo v 20. stoletju. Večina globalnega segrevanja zadnje polovice stoletja je posledica človeških izpustov toplogrednih plinov, največja rast temperature zraka pa se je pojavila v 90. letih (Burns et al., 2007).

Naravni cikli ter nihanja vremenskih značilnosti so preveč obsežna in jih razmeroma premalo časa analiziramo, da bi lahko točno vedeli, kako se narava odziva na določene zunanje vplive oziroma ali so to morda samo cikli in popolnoma naravni procesi. Kot primer lahko navedem, da se je v daljših časovnih obdobjih (nekaj sto tisoč let) zvrstilo nekaj ledenih dob in otoplitev s kopičenjem ogljikovega dioksida v ozračju, in to še preden se je razvil sodoben človek.

## 5 ZASTAVITEV PROBLEMA

Preveril in istočasno sem tudi analiziral določene slovenske vodotoke glede na dane podatke. Vrednosti meritev sem našel na spletni strani Agencije Republike Slovenije za okolje. Javno objavljeni podatki vrednosti pretokov slovenskih rek so dostopni na elektronskem naslovu: [http://www.arso.gov.si/vode/podatki/arhiv/hidroloski\\_arhiv.html](http://www.arso.gov.si/vode/podatki/arhiv/hidroloski_arhiv.html). Arhiv sestavlja zbirka Excelovih preglednic, v katerih so zbrane vrednosti meritev na različnih vodomernih postajah po Sloveniji. Tako je za vsako reko na razpolago vpogled v vrednosti pretokov na različnih vodomernih mestih, od izvira proti izlivu. Odvisno od dolžine rek so vodomerna mesta številčnejša oziroma je za majhne rečice vodomerno mesto lahko tudi samo eno. Excelova preglednica je razdeljena po mesecih za vsako leto, med podatki so zbrane najmanjše mesečne vrednosti pretokov konice, najmanjše mesečne vrednosti, dnevno povprečje, srednje mesečne vrednosti, največje mesečne vrednosti, dnevno povprečje ter največje mesečne vrednosti konice.

Edina težava, na katero sem naletel pri danih podatkih, je, da je le za redke vodomerne postaje arhiv podatkov neprekinjen in istočasno zadostno obsežen. Pri nekaterih vodomernih postajah je, kljub temu da obsegajo podatki meritev zelo dolgo časovno obdobje, objavljenih le nekaj let meritev iz začetnega obdobja merjenj ter iz sedanjih časov. Vmes je praznina oziroma obdobje številnih let, v katerih ni bilo objavljeno skoraj nič, kljub temu pa predvidevam, da so za ta obdobja vseeno nekje shranjene meritve pretokov. Tako sem namenoma izbral samo tiste podatke vodomernih postaj večjih slovenskih vodotokov, pri katerih je bilo obdobje merjenj daljše od 30 let in istočasno neprekinjeno v celotnem obdobju meritev.

### 5.1 Analiza hidrološkega stanja večjih slovenskih vodotokov

Rezultate meritev sem prenesel v tabelo računalniškega programa Excel. Vse meritve temeljijo na pretoku z enoto [ $\text{m}^3/\text{s}$ ] in so kot take bile tudi vstavljene v arhiv podatkov. Oblikoval sem stolpec z zaporedno postavljenimi in neprekinjenimi podatki meritev, vse od začetka merjenj pa do konca leta 2012. Pri tako nastavljenih podatkih sem izrisal graf vrednosti v časovnem obdobju ter določil trendno črto. Za vsako vodomerno mesto sem tako izrisal graf za:

- najmanjše obdobjne vrednosti pretokov – konice  $Q_{nk}$ ,
- najmanjše obdobjne vrednosti pretokov – dnevno povprečje  $Q_{np}$ ,
- srednje obdobjne vrednosti pretokov  $Q_s$ ,
- največje obdobjne vrednosti pretokov – dnevno povprečje  $Q_{vp}$ ,
- največje obdobjne vrednosti pretokov – konice  $Q_{vk}$ ,
- primerjavo srednjih pretokov v celotnem obdobju merjenj podatkov z zadnjimi desetimi leti meritev,
- vrednosti srednjih pretokov za 30-letna obdobja.

Pri vseh grafih sem izrisal tudi trendno črto, tako da je mogoče nemudoma preveriti, ali trend določene hidrološke aktivnosti narašča oziroma upada. Izrisal sem še graf za večje slovenske reke, in sicer primerjavo letnih pretočnih režimov od začetka merjenj s pretočnim režimom zadnjega desetletja.

Izpeljal sem tudi modele Annual Maximum – AM ter Peak-Over-Threshold – POT za največje pretoke ter jim izračunal Pearsonov korelacijski koeficient. Za visoke pretoke sem izračunal tudi Mann-Kendallov trendni test.

Spisek rek in vodomernih postaj na njih, pri katerih sem zbral podatke meritev.

Mura – Gornja Radgona 1 (1946–2012)

Sava – Radovljica 1 (1953–2012), Šentjakob (1946–2012), Litija (1895–2012) in Čatež (1926–2012)

Sava Dolinka – Jesenice (1918–2012)

Sava Bohinjka – Sveti Janez (1951–2012)

Ljubljana – Vrhnika (1926–2012)

Radovna – Podhom (1933–2012)

Kolpa – Metlika (1926–2012)

Savinja – Nazarje (1926–2012) in Laško (1946–2012)

Krka – Podbočje (1944–2012)

Soča – Log Čezsoški (1948–2012) in Solkan (1945–2012)

Idrijca – Hotešk (1949–2012)

Reka – Cerkvenikov mlin (1952–2012)

Rižana – Kubed (1947–2012)

Drava – hidroelektrarna Dravograd (1965–2012)

Vipava – Dornberk (1958–2012)

Ščavnica – Pristava (1975–2012)

Presenetljivo sem na največ težav z arhivi podatkov naletel pri reki Dravi. Glede na njeno velikost sem namreč pričakoval večje število dobro arhiviranih vodomernih postaj.

### **5.1.1 Mura – Gornja Radgona 1**

Reka Mura predstavlja tipični režim vodotokov, katerih pretok je odvisen predvsem od visokogorskega snega in ledu, od koder tudi izvirajo. V zimskih časih, ko so padavine večinoma v obliki snega, zanje velja majhen pretok. Proti koncu pomladi in v poletnih mesecih je z višanjem temperatur in taljenjem snega ter ledu v visokogorju občutno povečanje pretoka reke. Na letni ravni ima Mura največji pretok v mesecu maju in juniju, najnižji pretok pa je januarja.

Reka Mura ima razmeroma konstanten in enakomeren pretok ter skozi celotno obdobje zbiranja podatkov ni mogoče zaslediti večjega odstopanja od povprečja. Glede na svoj razmeroma dolg tok po sosednji Avstriji priteče k nam z zelo ustaljenimi hidrološkimi lastnostmi. Pri analiziranju pretočnega režima sem opazil tudi, da sta si krivulji pretoka zadnjih desetih let in krivulja z začetka merjenj pretoka zelo podobni. Edina razlika je, da največji pretok v zadnjih desetih letih ne doseže vrednosti povprečja od 1946 do danes.

Tudi srednji pretok kaže minimalen trend upadanja, čeprav je pri analiziranju za 30-letna obdobja mogoče zaznati razliko med merjenimi obdobji. Tako ima zadnje 30-letno obdobje srednjih pretokov pozitiven trend, medtem ko ima starejše 30-letno obdobje negativnega.

Reka Mura ima pozitivne trende tako na maksimalnem pretoku konice kot tudi na maksimalnem pretoku dnevnega povprečja ter na minimalnem pretoku dnevnega povprečja. Negativen trend ima poleg že prej omenjenega srednjega pretoka tudi na minimalnem pretoku konice.

Pri izračunu trenda po Mann-Kendallovem testu edini negativen trend prikazuje minimalni pretok konice, medtem ko imajo vsi ostali pozitiven trend. Prav tako so tudi pri modelih AM, POT in POT3 za visoke pretoke, izračunane po Pearsonovem korelacijskem koeficientu, vrednosti pozitivne.

### **5.1.2 Sava – Radovljica 1**

Vodomerna postaja Radovljica je prva vodomerna postaja Save kot take, saj je postavljena takoj po sotočju Save Bohinjke in Save Dolinke. Lahko bi rekli, da so na tej vodomerni postaji združene hidrološke lastnosti ene in druge Save. Sava v Radovljici je tipična visokogorska reka, tako kot obe Savi je predvsem odvisna od snega in ledu ter manj od dežnih padavin.

Letni pretočni režim je razdeljen na dva viška in na dva nižka. Primarni višek je maja, sekundarni novembra. Najnižji pretok ima februarja, drugi nižek pa avgusta. Prvi višek maja je predvsem posledica višanja temperatur in taljenja ledu, drugi višek novembra predstavljajo predvsem obilnejše jesenske padavine. Glavni nižek je februarja, ko je zelo majhen odtok zaradi nizkih temperatur. Vse padavine so večinoma kot sneg, ki se zadržuje do spomladanskih otoplitev. Drugi nižek je avgusta, ko so že tako ali tako padavine skromnejše in je med drugim povečana tudi evapotranspiracija ter izhlapevanje.

Negativen trend predstavlja najmanjši pretok konice, najmanjši pretok dnevnega povprečja, srednji pretok in srednji pretok prejšnjega 30-letnega obdobja merjenj ter največji pretok dnevnega povprečja. Pozitiven trend pa imata samo srednji pretok zadnjega 30-letnega obdobja ter največji pretok konice.

Na pretočnem režimu je mogoče opaziti, da sta si krivulji dolgoletnega merjenja in tista od zadnjih deset let dokaj podobni. Razliko je mogoče opaziti samo na spomladanskopoletnih pretokih, saj majski

višek zadnjih desetih let ni tako visok kot tisti z daljšim obdobjem meritev. Upadanje vode v poznopomladanskem in zgodnjepoletnem obdobju je razmeroma vzporedno, kar privede tudi do tega, da je avgustovski nižek zadnjega desetletnega obdobja meritev nižji od referenčnega. Iz tega lahko sklepamo samo to, da so snežne zimske padavine v zadnjih letih manjše kot pa tiste v daljni preteklosti.

Mann-Kendallov trendni test je negativen prav v vseh skupinah pretokov. Pri modelih AM in POT za visoke pretoke, izračunane po Pearsonovem korelacijskem koeficientu, so vrednosti pozitivne.

### 5.1.3 Sava – Šentjakob

Vodomerna postaja Šentjakob se nahaja na severovzhodu Ljubljane gorvodno od pritoka Ljubljanice ter Kamniške Bistrice. Velja za razmejitvev med alpskim snežno-dežnim in alpskim dežno-snežnim režimom, torej je na meji definiranja hidrološke lastnosti reke po tem, ali je pod večjim vplivom visokogorskih snežnih padavin ali dežja.

Letni pretočni režim je razdeljen na dva nižka in na dva viška. Primarni višek je novembra, sekundarni pa aprila. Nizek pretok je v obeh nižkih približno enak, in sicer je en nižek februarja, en pa avgusta.

Februarski nižek je posledica nizkih temperatur in padavin v obliki snega, ki se zadržuje v gorah. Sneg se tali v spomladanskem času v aprilu in takrat nastopi višek, tudi zaradi dežnih padavin. Avgustovske nizke vode so posledica poletnega primanjkljaja padavin in izhlapevanja. Novembra so za glavni višek odgovorna izključno jesenska deževja.

Letni pretočni režim za zadnje desetletno obdobje se precej razlikuje od večletnega povprečja. Viški in nižki sovpadajo po mesecih. Glavna razlika je v tem, da je pretok zadnjega desetletnega obdobja čez celo leto manjši od referenčnega pretoka. Če pogledamo krivulji pretočnega režima, sta vzporedni, le da je krivulja pretočnega režima zadnjih deset let pod krivuljo večletnega merjenja. Edino v mesecu decembru se krivulji sekata, kar kaže na to, da se jesensko deževje premika počasi kasneje v jesen oziroma v zgodnjo zimo. Primanjkljaj vode pa se kaže čez celo leto, tako da lahko sklepam, da gre za zmanjševanje padavin.

Negativen trend se kaže na minimalnem pretoku konice, na minimalnem pretoku dnevnega povprečja, srednjem pretoku, srednjem pretoku starejšega 30-letnega obdobja ter na maksimalnem pretoku dnevnega povprečja. Pozitiven trend imata samo srednji pretok za zadnjih 30 let ter največji pretok konice.

Mann-Kendallov trendni test je negativen prav v vseh skupinah pretokov. Pri modelih AM in POT za visoke pretoke, izračunane po Pearsonovem korelacijskem koeficientu, so vrednosti za AM in POT pozitivne.

#### 5.1.4 Sava – Litija

Vodomerna postaja Litija je slabih 30 kilometrov dolvodno po reki Savi od vodomerne postaje Šentjakob. Glavna pritoka, ki prispevata svoje vode, sta Ljubljanica in Kamniška Bistrica. Vodomerna postaja Litija ima lastnosti alpskega dežno-snežnega režima. To pomeni, da je tok Save na tem merilnem mestu pod večjim vplivom dežja kot snega in ledu z visokogorja, kljub temu pa imajo snežne padavine še vedno močan vpliv na hidrološki režim le-te.

Pretočni režim je tudi tu razdeljen na dva viška in na dva nižka. Glavni višek je novembra, sekundarni aprila, glavni nižek je avgusta in sekundarni februarja. Tudi na tej vodomerni postaji, ravno tako kot na Šentjakobu, veljajo podobne lastnosti, le da so pretoki bistveno večji. Glavni nižek avgusta je zaradi pomanjkanja padavin, sekundarni nižek februarja pa zaradi zadrževanja snežne odeje. Glavni višek je novembra, ko so najobilnejše padavine, sekundarni pa aprila, ko se tali sneg skupaj s pomladanskimi deževji.

Pretočni režim zadnjega desetletja se tudi tukaj bistveno razlikuje od večletnega povprečja. Viški in nižki časovno sovpadajo, vendar gledano desetletno pretočni režim ponovno ne dosega vrednosti referenčnega pretočnega režima. Čez celo leto je primanjkljaj vode, razen v decembru, ko preseže dolgoletne vrednosti. Sklepam, da je tako kot v Šentjakobu tudi tu pomanjkanje padavin čez celo leto ter da se jesensko deževje postopoma zamika v pozno jesen.

Negativen trend imajo najmanjši pretok konice, najmanjši pretok dnevnega povprečja, srednji pretok skupaj, srednji pretok za obe starejši 30-letni obdobji meritev, največji pretok dnevnega povprečja in največji pretok konice. Edini pozitiven trend ima srednji pretok za novejši 30-letno obdobje meritev.

Mann-Kendallov trendni test je negativen prav v vseh skupinah pretokov. Pri modelih AM in POT za visoke pretoke, izračunane po Pearsonovem korelacijskem koeficientu, so vse vrednosti negativne.

#### 5.1.5 Sava – Čatež

Vodomerna postaja Čatež je še zadnja vodomerna postaja na reki Savi, preden ta prestopi na Hrvaško. Nahaja se pri Brežicah in tako zajema hidrološke značilnosti vodotoka z izjemno velikim porečjem. Sava je naša najdaljša reka, njeno porečje je znotraj meja Slovenije ter ga napajajo številne reke na osrednjem območju države. Njena dolžina v Sloveniji znaša 220 km s porečjem v Sloveniji okrog 10.724 km<sup>2</sup>. S hidrološkimi lastnostmi Save bi na tej vodomerni postaji lahko definirali značilne lastnosti tipičnega slovenskega vodotoka. Sava namreč izvira v Julijcih na samem severozahodu države in jo napajajo vodotoki tako iz severnih Julijcev kot tudi iz južnih Karavank, južnih Kamniško-Savinjskih Alp, Škofjeloškega hribovja, Polhograjskega hribovja vse na jug čez Notranjsko do severnih pobočij Snežnika, Dolenjska s Suho krajino, Posavsko hribovje, Velenjska in Celjska kotlina ter na skrajnem jugovzhodu Kozjansko in Bizeljsko.

Pretočni režim kaže približno podobne lastnosti kot pri vodomernih postajah Šentjakob in Litija. Tudi tu se jasno kaže primarni višek novembra ter sekundarni malo nižji višek aprila. Glavni nižek je avgusta, sekundarni pa februarja. Iz že omenjenih primerov vemo, zakaj nižki in viški v določenih obdobjih v letu. Vodomerna postaja Čatež kljub njeni oddaljenosti od visokogorja namreč še vedno spada v alpski dežno-snežni režim, saj gorski sneg in led nimata glavne vloge pri napajanju vodotoka, nista pa niti zanemarljiva.

Tudi tokrat pretočni režim zadnjega desetletja ne dosega vrednosti pretoka dolgoletnih meritev in je čez celo leto manjši, razen decembra. Ta razlika se ponovno kaže, saj verjetno velja, da se zamika jesensko deževje in se zaradi tega glavni višek premika iz novembra v december. Med drugim pa so tudi količine snežnih in deževnih padavin manjše, saj je krivulja skoraj identično preslikana malo nižje na grafu.

Zaskrbljujoče je, da se negativen trend kaže na vseh grafih. Največjega pretoka konice zaradi pomanjkanja podatkov nisem prikazal. Najmanjši pretok konice in dnevno povprečje, srednji pretok čez celo obdobje ter v treh 30-letnih obdobjih in največji pretok dnevnega povprečja prav vsi prikazujejo upadanje trenda. Rezultati kažejo na drastično upadanje pretoka. Če izhajam iz prej navedene izjave, ko sem predpostavil, da Čatež na Savi lahko predstavlja približno dinamiko celotnega slovenskega vodotoka, je prikaz realnega stanja zelo skrb vzbujajoč.

Mann-Kendallov trendni test je negativen prav v vseh skupinah pretokov. Pri modelih AM in POT za visoke pretoke, izračunane po Pearsonovem korelacijskem koeficientu, so vrednosti za AM negativne, za POT pa pozitivne.

#### **5.1.6 Sava Dolinka – Jesenice**

Vodomerna postaja Jesenice na Savi Dolinki ima alpski snežno-dežni hidrološki režim, za katerega veljajo poglavitni dejavniki visokogorskega vodotoka. Glavi vir vode v strugi predstavlja taljenje snežne odeje in šele nato padavine v obliki dežja. To pomeni, da se pretok v strugi spreminja glede na letni čas in glede na temperature ozračja.

Minimalni trend imajo minimalni pretok konice, minimalni pretok dnevnega povprečja, srednji pretok, srednji pretok za zadnji dve 30-letni obdobji meritev ter maksimalni pretok dnevnega povprečja. Pozitiven trend imata samo zadnje 30-letno obdobje meritev srednjega pretoka in največji pretok konice.

Mann-Kendallov trendni test je negativen pri nizkih pretokih konice, dnevnem povprečju, srednjem pretoku in pri visokem pretoku dnevnega povprečja, pozitiven je samo pri visokem pretoku konice. Pri modelih AM in POT za visoke pretoke, izračunane po Pearsonovem korelacijskem koeficientu, so vrednosti pozitivne pri obeh modelih.

### **5.1.7 Sava Bohinjka – Sveti Janez**

Vodomerna postaja Sveti Janez na Savi Bohinjki se nahaja takoj po izlivu reke iz Bohinjskega jezera. Tudi na tej vodomerni postaji ima reka alpski snežno-dežni hidrološki režim, saj smo v samem osrčju Julijcev in ni nič čudnega, da se reka ravna po lastnostih visokogorskega vodotoka.

Prav vsi grafi prikazujejo negativen trend arhiva meritev, in sicer za nizek pretok konice, nizek pretok dnevnega povprečja, srednji pretok za celotno obdobje meritev, oba srednja pretoka za 30-letna obdobja meritev, visok pretok dnevnega povprečja in visok pretok konice.

Mann-Kendallov trendni test je negativen za vse skupine pretokov. Pri modelih AM in POT za visoke pretoke, izračunane po Pearsonovem korelacijskem koeficientu, so vrednosti pozitivne pri modelu AM in negativne pri modelu POT. Zanimivo je tudi, da se pri modelu POT kaže zelo visoka linearna povezanost.

### **5.1.8 Ljubljana – Vrhnika**

Vodomerna postaja Vrhnika na Ljubljani ima dinarsko dežno-snežni režim. Ljubljana izvira na robu Ljubljanskega barja, kjer pronica na dan iz kraškega podzemlja. Številne kraške reke ponikalnice preko presihajočih jezer napajajo njen izvir, in sicer od Babnega polja pod Snežnikom preko Cerkniskega in Planinskega polja skupaj z reko Pivko vse do izvira Ljubljane.

Pretočni režim je razdeljen na dva nižka in na dva viška. Primarni glavni višek je novembra, drugi sekundarni višek, ki je veliko nižji, pa je aprila. Glavi nižek je avgusta, sekundarni blagi nižek pa februarja. Spet je mogoče opaziti viške, in sicer jeseni zaradi povečanja padavin in spomladi zaradi taljenja snežne odeje. Nižki pa so standardni avgusta, ko zaradi majhnega števila padavin in velikega izhlapevanja reka Ljubljana skoraj presahne, drugi nižek je februarja zaradi zadrževanja vode v snežni odeji.

Razlika med dolgoletnim pretočnim režimom in desetletnim obdobjem je dokaj velika. Razen decembra in januarja, ko sta vrednosti približno izenačeni, je mlajše desetletno obdobje meritev vedno krepko pod dolgoletnim povprečjem. Tudi tu je mogoče opaziti, da se jesenske padavine premikajo kasneje v pozno jesen in vrh dosežejo šele decembra, pa tudi že tako nizek avgustovski pretok je v zadnjem desetletnem obdobju meritev še nižji.

Trend kaže negativno smer razvoja na vseh grafih, srednji 30-letni pretok od leta 1953 do 1982 je bil edini pozitiven. Negativen trend je na minimalnem pretoku konice, minimalnem pretoku dnevnega povprečja, srednjem pretoku, maksimalnem pretoku dnevnega povprečja in na maksimalnem pretoku konice.



Mann-Kendallov trendni test je pozitiven pri nizkih pretokih konice, dnevnem povprečju, srednjem pretoku, pri visokem pretoku dnevnega povprečja, pri visokem pretoku konice pa je negativen. Pri modelih AM in POT za visoke pretoke, izračunane po Pearsonovem korelacijskem koeficientu, so vrednosti negativne za oba modela.

### **5.1.9 Radovna – Podhom**

Radovna je reka, ki izvira ob vznožju Triglava v dolini Krma ter skozi sotesko Vintgar priteče v Savo Dolinko dolvodno od Jesenic. Za vodomerno postajo Podhom tudi velja alpski snežno-dežni režim, saj je pretok reke večinoma odvisen od snežnih padavin v visokogorju.

Trend je ponovno večinoma negativen, in sicer za največji pretok konice, največji pretok dnevnega povprečja, srednji pretok čez celotno obdobje meritev, srednji pretok za starejše 30-letno obdobje meritev, najmanjši pretok konice in za najmanjši pretok dnevnega povprečja. Edini pozitiven trend, in še ta z minimalno stopnjo rasti, je na grafu srednjega pretoka za zadnje obdobje 30-letnih meritev.

Mann-Kendallov trendni test je negativen pri vseh pretokih. Pri modelih AM in POT za visoke pretoke, izračunane po Pearsonovem korelacijskem koeficientu, so vrednosti negativne za oba modela.

### **5.1.10 Kolpa – Metlika**

Reka Kolpa na jugu države je naša najdaljša mejna reka, saj po njej poteka tudi državna meja med Slovenijo in Hrvaško. Njeno povodje je tako razdeljeno med dve državi. Vodomerna postaja Metlika se nahaja nekaj kilometrov prej, preden reka Kolpa popolnoma preide na hrvaško stran meje. Za celotno reko Kolpo velja dinarski deževno-snežni hidrološki režim.

Pretočni režim je razdeljen na dva nižka in na dva viška, kot pri večini slovenskih rek. Glavni višek je novembra z obilico jesenskih padavin, drugi nižji višek pa marca kot posledica taljenja snežne odeje in spomladanskih padavin. Glavni nižek je med julijem in avgustom, ko so padavine res skromne ter je še povečano izhlapevanje. Drugi manjši nižek pa nastopi januarja, in sicer tako kot pri ostalih vodotokih večinoma zaradi zadrževanja vode v snežni odeji.

Razlika med dolgoletnim in aktualnim pretočnim režimom je presenetljivo velika. Pretočni režim za zadnje obdobje desetletja je pod vrednostmi pretočnega režima za dolgoletno obdobje. V celotnem letu povprečne vrednosti zadnjega desetletja ne sovpadajo z referenčnimi. Velikost pretoka je manjša čez celo leto, razen v decembru, in sicer, kot sem ugotovil, zaradi zamikanja glavnega viška iz pozne jeseni v zimo.

Negativni trendi tudi nastopajo pri najmanjšem pretoku dnevnega povprečja, najmanjšem pretoku konice, srednjem pretoku za dolgoletno obdobje, srednjem pretoku za obdobje od 1926 do 1952 ter od

1983 do 2012. Negativen trend ima še največji pretok dnevnega povprečja. Pozitiven trend kažeta samo srednji pretok v obdobju od 1953 do 1982 in največji pretok konice.

Mann-Kendallov trendni test je negativen pri vseh pretokih, razen za visok pretok konice, kjer se kaže pozitiven trend. Pri modelih AM in POT za visoke pretoke, izračunane po Pearsonovem korelacijskem koeficientu, imata oba modela pozitivne vrednosti.

#### **5.1.11 Savinja – Nazarje**

Savinja izvira na vzhodnem delu Kamniško-Savinjskih Alp, malo nad slapom Rinka v Logarski dolini. Savinjo se nekaj kilometrov po izvira klasificira v alpski snežno-dežni režim, pri vodomerni postaji Nazarje pa že kaže lastnosti alpskega dežno-snežnega hidrološkega režima. To pomeni, da kmalu začnejo prevladovati lastnosti dežnih padavin nad snežnimi iz visokogorja.

Trend na vseh grafih, razen na največjem pretoku konice, kaže negativno smer razvoja. Tako je trend padajoč na najmanjšem pretoku konice, najmanjšem pretoku dnevnega povprečja, največjem pretoku dnevnega povprečja, srednjem pretoku za celotno obdobje meritev ter na srednjem pretoku za vsa tri 30-letna obdobja meritev.

Mann-Kendallov trendni test je negativen pri vseh pretokih razen za visok pretok konice, kjer se kaže pozitiven trend. Pri modelih AM in POT za visoke pretoke, izračunane po Pearsonovem korelacijskem koeficientu, imata oba modela pozitivne vrednosti.

#### **5.1.12 Savinja – Laško**

Savinja pri vodomerni postaji Laško opravi že pretežni del poti od izvira do izliva v Savo. Savinja v Celjski kotlini dobi številne pritoke, ki segajo vse od pobočij Pohorja do Kozjanskega. Na vodomerni postaji Laško ima prepričljive lastnosti alpskega dežno-snežnega hidrološkega režima. Glede na število pritokov in glede na povodje je pričakovati, da se hidrološki režim ravna predvsem po deževnih vzorcih.

Negativen trend imajo najmanjši pretok konice, najmanjši pretok dnevnega povprečja, največji pretok dnevnega povprečja, srednji za celotno obdobje meritev in srednji pretok za obdobje meritev zadnjih trideset let. Pozitiven trend ima, razen srednjega pretoka za prejšnje tridesetletno obdobje, še največji pretok konice.

Mann-Kendallov trendni test je negativen pri vseh pretokih, razen za visok pretok konice, kjer se kaže pozitiven trend. Pri modelih AM in POT za visoke pretoke, izračunane po Pearsonovem korelacijskem koeficientu, imata modela pozitivne vrednosti.

### 5.1.13 Krka – Podbočje

Krka je reka, ki izvira iz kraškega podzemlja in teče čez Suho krajino v Krško kotlino do izliva v Savo. Je največja dolenska reka ter jo podobno kot Ljubljanico napajajo nekatere ponikalnice. Reka Krka ima dinarski dežno-snežni režim z izrazitim nižkom konec poletja in viškom pozno jeseni. Vodomerna postaja Podbočje na Krki se nahaja v sami Krški kotlini, nekaj kilometrov pred izlivom v Savo. Krka ima številne manjše pritoke s severne strani Gorjancev ter s Krškega gričevja.

Prav na vseh grafih se kaže trend upadanja. Tako je negativen trend na najmanjšem pretoku konice, najmanjšem pretoku dnevnega povprečja, srednjem pretoku za vsa obdobja meritev ter na največjem pretoku dnevnega povprečja in največjem pretoku konice.

Mann-Kendallov trendni test je negativen pri vseh pretokih. Pri modelih AM in POT za visoke pretoke, izračunane po Pearsonovem korelacijskem koeficientu, ima POT pozitivne vrednosti, AM pa negativne.

### 5.1.14 Soča – Log Čezsoški

Soča izvira v osrčju Julijskih Alp in teče proti jugu v Jadransko morje. Je najdaljša in največja reka Triglavskega narodnega parka v neokrnjeni naravi. Njeno povodje na vzhodu meji v večji meri s povodjem reke Save. Vodomerna postaja Log Čezsoški se nahaja dolvodno od Bovca že izven meja Triglavskega narodnega parka. Tu za reko Sočo velja alpski snežno-dežni pretočni režim, tako kot za vse visokogorske reke takoj ob vznožju gora.

Letni pretočni režim na vodomerni postaji Log Čezsoški je razdeljen na dva nižka in na dva viška. Glavni višek je maja, ko se tali večina snežne odeje v visokogorju, sekundarni nižji višek pa je novembra kot posledica obilnejših jesenskih padavin. Glavni nižek je februarja, saj so takrat padavine večinoma v obliki snega in je rečnega odtoka razmeroma malo. Drugi nižek pa je avgusta zaradi majhne količine dežnih padavin.

Pretočni režim zadnjega desetletja razmeroma dobro sovпада s pretočnim režimom večletnega obdobja meritev. Edino razliko je mogoče opaziti v poletnem obdobju, saj višek maja ne doseže enakih vrednosti, ter je zato nižek avgusta izraziteje nižji. Tako vrednosti pretoka zadnjega desetletja od pozne pomladi čez poletje ne dosežajo vrednosti pretokov iz daljšega obdobja meritev. Iz tega lahko sklepam, da se snežna odeja v zadnjih letih tanjša in da je vsako leto manj padavin v obliki snega.

Minimalni trend kažejo najmanjši pretok konice, najmanjši pretok dnevnega povprečja, srednji pretok za dolgoletno obdobje merjenj, srednji pretok za starejše tridesetletno obdobje, seveda še največji

pretok dnevnega povprečja ter največji pretok konice. Edini pozitiven trend se kaže na srednjem pretoku za obdobje zadnjega desetletja.

Res je, da trend nikjer ne upada strmo in je tako minimalno naklonjen, da bi se ga lahko obravnavalo kot ustaljeno in nespremenljivo dinamiko pretočnih lastnosti. Ravno tako kot negativen trend, ki je skoraj vodoraven, ima tudi pozitiven trend zelo blago, skoraj zanemarljivo težnjo razvoja v naraščanje. Za Sočo na tem območju bi se lahko reklo, da ni pod nikakršnim vplivom dejavnikov sprememb podnebnih razmer, razen pri zniževanju viška pretočnega režima.

Mann-Kendallov trendni test je negativen pri vseh pretokih. Pri modelih AM in POT za visoke pretoke, izračunane po Pearsonovem korelacijskem koeficientu, je POT pozitivne vrednosti, AM pa negativne.

### **5.1.15 Soča – Solkan**

Vodomerne postaja Solkan na reki Soči je približno 70 kilometrov dolvodno od vodomerne postaje Log Čezsoški in je tudi že izven ožjega območja visokogorja. Za reko Sočo pri Solkanu velja alpski dežno-snežni režim, kar pomeni, da se čuti večji vpliv dežnih padavin kot snežnih. Njen levi pritok, reka Idrijca, namreč drastično pripomore k povečanju povodja in s tem k spremembi režima, saj v Cerkljanskem in Idrijskem hribovju prevladujejo dežne padavine.

Trend je negativen za najmanjši pretok dnevnega povprečja, najmanjši pretok konice, srednji pretok za dolgoletno obdobje in za srednji pretok prejšnjega tridesetletnega obdobja meritev. Pozitiven trend pa je nakazan za srednji pretok zadnjega obdobja tridesetih let, največji pretok dnevnega povprečja in za največji pretok konice.

Mann-Kendallov trendni test je negativen pri vseh pretokih, razen pri visokem pretoku konice, ki je pozitiven. Pri modelih AM in POT za visoke pretoke, izračunane po Pearsonovem korelacijskem koeficientu, imata modela pozitivne vrednosti.

### **5.1.16 Idrijca – Hotešk**

Idrijca izvira na jugu Idrijskega hribovja, kjer jo napajajo vodotoki s severnega obrobja Trnovskega gozda. Teče proti severu ter v celoti obkroži Idrijsko hribovje in se izlije v Sočo skupaj s pritoki s Cerkljanskega hribovja. Reka Idrijca ima čez svoj celoten tok hidrološke lastnosti dinarskega dežno-snežnega režima.

Pretočni režim ima dva viška in dva nižka. Glavni višek je novembra, ko so tudi padavine obilnejše, sekundarni višek aprila pa je večinoma posledica spomladanskih deževij. Tu ni takih pogojev, da bi se sneg zadrževal čez celo zimo, pa tudi zimske temperature niso vedno nizke. Primarni nižek je, kot

običajno, avgusta zaradi poletnih sušnih obdobij ter zaradi močnega izhlapevanja. Sekundarni in zelo blag, skoraj neopazen nižek je januarja, ker se snežna odeja sproti postopoma tali, saj ni pretiranih pogojev za zadrževanje snežne odeje.

Pretočni režim zadnjega desetletja je malo nižji od pretočnega režima daljšega obdobja. Viški in nižki so podobno postavljeni v letu, vendar kažejo primanjkljaj v zadnjem desetletnem obdobju. Edino primarni višek se zamika iz jeseni v zimo in doseže vrh decembra, kar predstavlja zamik jesenskega deževja. Sekundarni višek pa se zamika iz aprila v marec.

Negativen trend imajo graf najmanjših pretokov dnevnega povprečja, najmanjši pretoki konice, srednji pretok čez celotno obdobje meritev, srednji pretok za zadnje obdobje tridesetih let in največji pretok dnevnega povprečja. Pozitiven trend je na srednjih pretokih za obdobje od 1953 do 1982 ter na največjem pretoku konice.

Mann-Kendallov trendni test je negativen prav pri vseh pretokih. Pri modelih AM in POT za visoke pretoke, izračunane po Pearsonovem korelacijskem koeficientu, imata modela pozitivne vrednosti.

#### **5.1.17 Reka – Cerkevnikov mlin**

Reka Reka izvira na južnih pobočjih Snežnika in teče proti severozahodu na Kras, kjer tudi ponikne. Napajajo jo številni potočki severnih Brkinov ter Vremščice do Škocjanskih jam, kjer odteče v kraško podzemlje in kot podzemna reka privre na plano ponovno v Italiji pri Devinu, kjer se izlije v Jadransko morje. Je najdaljša in največja slovenska reka ponikalnica ter je njen tok mogoče občudovati tudi v nekaterih kraških jamah. Vodomerna postaja Cerkevnikov mlin se nahaja v Vremški dolini, preden ta ponikne v jame.

Za Reko velja sredozemski dežni režim, pri katerem sta oba viška zelo podobna in izstopa zgolj glavni nižek sredi poletja. Pretočni režim za Reko je tako razdeljen na polletje visoke vode ter na polletje nizke vode. Jesenske visoke vode novembra in decembra definirajo primarni višek zaradi obilne količine padavin. Čez zimo so padavine večinoma v obliki dežja ter tudi snežna odeja se razmeroma sproti tali zaradi višjih zimskih temperatur. Pretok tako ostaja približno nespremenjen do aprila, ko je zaznati sekundarni višek pomladanskih padavin. Nižek se pojavi julija in avgusta zaradi majhne količine poletnih padavin ter zaradi večjega izhlapevanja.

Pretočni režim za obdobje zadnjega desetletja v večini leta ponovno ne dosega vrednosti iz večletnega obdobja meritev, razen avgusta, ko sta vrednosti nižka izenačeni, in decembra, ko analiza pretočnega režima zadnjih deset let celo presega reprezentativne vrednosti. Iz tega lahko razberemo, da se jesenske padavine zamikajo v zgodnjo zimo, najnižji pretoki pa vseeno ostajajo približno isti tudi v najbolj sušnih mesecih.

Negativen trend ima na najmanjšem pretoku konice, najmanjšem pretoku dnevnega povprečja, srednjem pretoku za celo obdobje, srednjem pretoku za zadnjih trideset let, največjem pretoku dnevnega povprečja in na največjem pretoku konice. Edini pozitiven trend je na srednjem pretoku za obdobje od 1953 do 1982.

Mann-Kendallov trendni test je negativen prav pri vseh pretokih. Pri modelih AM in POT za visoke pretoke, izračunane po Pearsonovem korelacijskem koeficientu, sta oba modela pozitivna.

#### **5.1.18 Rižana – Kubed**

Rižana izvira pod kraškim robom in se po kratkem toku izliva v Koprski zaliv. Njeno povodje večinoma obsega kraška polja in pobočja Snežnika, kjer se deževnica skozi votla kraška tla infiltrira in privre na plano na flišnih tleh slovenske Istre. Rižana ima sredozemski dežni režim z viškom v pozni jeseni ter nizkom sredi poletja. Za Rižano veljajo skoraj hudourniške lastnosti, saj ob močnejših nalivih večinoma nad kraškim robom izrazito hitro naraste v deročo reko ter se prav tako hitro, kot je narasla, tudi umiri v normalen pretok. V poletnih mesecih, ko je sušno obdobje in veliko izhlapevanja, struga Rižane skoraj popolnoma presahne. K temu pripomore tudi lokalni vodovod, saj je to edini vir pitne vode za celotno območje slovenske Istre v najvišji poletni turistični sezoni.

Negativen trend ima na najmanjšem pretoku konice, najmanjšem pretoku dnevnega povprečja, srednjem pretoku za celotno obdobje meritev, največjem pretoku dnevnega povprečja in največjem pretoku konice. Pozitiven trend imata presenetljivo samo grafa srednjega pretoka za starejše in novejše obdobje tridesetletnih meritev.

Mann-Kendallov trendni test je negativen prav pri vseh pretokih. Pri modelih AM in POT za visoke pretoke, izračunane po Pearsonovem korelacijskem koeficientu, je model POT pozitiven, model AM pa negativen.

#### **5.1.19 Drava – HE Dravograd**

Pri reki Dravi je podobna situacija kot pri reki Muri. Drava izvira v italijanskih Alpah ter priteče k nam čez južno Avstrijo. V Sloveniji ima razmeroma zelo veliko povodje od Koroške, čez celotno Pohorje do Slovenskih goric ter Haloz, vendar pa celoten naš domač pritok ne vpliva bistveno na njen že definiran hidrološki režim. S pomanjkanjem podatkov sem se moral zadovoljiti pri meritvah na hidroelektrarni Dravograd.

Pretočni režim Drave je do potankosti podoben pretočnemu režimu reke Mure. Razdeljen je na en višek in en nižek. Višek je junija kot posledica taljenja snežne odeje, nižek pa februarja, ko so padavine večinoma v obliki snega in se ta obdrži do pomladanske otoplitve. Pretočni režim zadnjega

desetletja se dokaj točno ujema z referenčnim pretokom, razen v poletnih mesecih, ko ne dosega vrednosti dolgoletnih pretokov.

Negativen trend je na najmanjšem pretoku dnevnega povprečja, najmanjšem pretoku konice, srednjem pretoku in na največjem pretoku dnevnega povprečja. Pozitiven trend je samo na največjem pretoku konice.

Mann-Kendallov trendni test je negativen pri vseh pretokih, razen pri visokem pretoku konice, kjer je vrednost pozitivna. Pri modelih AM in POT za visoke pretoke, izračunane po Pearsonovem korelacijskem koeficientu, sta oba modela pozitivna.

### **5.1.20 Vipava – Dornberk**

Vipava izvira ob vznožju Nanosa in teče čez Vipavsko dolino kot levi pritok Soče. Njeno povodje zajema številne vodotoke Trnovskega gozda in severnega Krasa. Zanj velja dinarski dežno-snežni režim z izrazitim viškom pozno jeseni ter spomladi in glavnim nižkom konec poletja.

Negativen trend ima prav na vseh analiziranih vrstah pretoka. Padajoča črta trenda se izrisuje na najmanjšem pretoku konice, najmanjšem pretoku dnevnega povprečja, srednjem pretoku, največjem pretoku dnevnega povprečja in na največjem pretoku konice.

Mann-Kendallov trendni test je negativen prav pri vseh pretokih. Pri modelih AM in POT za visoke pretoke, izračunane po Pearsonovem korelacijskem koeficientu, imata oba modela pozitivne vrednosti.

### **5.1.21 Ščavnica – Pristava**

Reka Ščavnica izvira na skrajnem severu Slovenskih goric ter teče vzporedno z Muro, v katero se izlije na hrvaški meji. Vodomerno mesto Pristava se nahaja na ravninah Murskega polja malo nižje od Ljutomera. Ščavnica ima lastnosti panonskega dežno-snežnega režima. Viška sta zgodaj spomladi in pozno jeseni, večinoma zaradi dežnih padavin. Izrazit nižek pa je proti koncu poletja kot posledica majhne količine padavin. Skrajni severovzhod Slovenije ima najmanjšo letno količino padavin v državi, kar se občuti tudi na lokalnih vodotokih. Ščavnica ima v poletnih mesecih izjemno nizek pretok oziroma skoraj presahne.

Pretočni režim je razdeljen na dva viška in en nižek. Oba viška sta približno enako visoka, prvi je marca in drugi decembra, v zimskih mesecih pa ni pretiranega upada pretoka. Edini nižek je avgusta, ko ima reka minimalno količino vode v strugi oziroma že presiha. Pretočni režim zadnjega desetletja je precej različen od večletnega povprečja. Viška razmeroma dobro sovpadata z dolgoletnim pretočnim režimom. V prvi polovici leta, od pomladi čez poletje do jeseni pa se kaže neko čudno nihanje oziroma valovanje pretoka. Videti je, kot da se bi količina padavin od junija do avgusta malo

povečala v zadnjem desetletju. Ravno v mesecih, ko celotna regija trpi največje suše, se na pretočnem režimu zadnjega desetletja prikazuje rahla porast pretoka.

Negativen trend ima najmanjši pretok konice, najmanjši pretok dnevnega povprečja in srednji pretok. Pozitiven trend pa je pri največjem pretoku dnevnega povprečja in največjem pretoku konice.

Mann-Kendallov trendni test je negativen pri nizkih pretokih konice, dnevnem povprečju ter pri srednjem pretoku, pozitiven pa je pri visokem pretoku dnevnega povprečja in konice. Pri modelih AM in POT za visoke pretoke, izračunane po Pearsonovem korelacijskem koeficientu, imata oba modela pozitivne vrednosti.

## **5.2 Ugotovitve**

Po zbiranju podatkov pretokov rek ter po izpeljani analizi hidroloških lastnosti rek sem v grafični obliki s krivuljo prikazal potek nihanja pretoka v določenem obdobju. Glede na rezultate hidroloških analiz ter pretočnih režimov nekaterih večjih slovenskih rek lahko sklepam o splošnem stanju ter o razvoju vodotokov. Med izbranimi rekami z različnih koncev države ter z različnimi pretočnimi režimi sem dobil približno podobne rezultate. Edini dve reki, ki drastično izstopata, sta Drava in Mura.

Poudariti je treba, da tako Drava kot Mura izvirata izven meja naše države ter imata že definiran pretočni režim, ko pritečeta do nas. Mura izvira v Nizkih Turah v osrčju Avstrije, kjer jo napajajo številne reke z gorskih pobočij. Reka Drava pa izvira na severu Italije in preko celotne avstrijske Koroške priteče v Slovenijo. Obe reki imata ogromno povodje visokogorskih vrhov ter alpskih dolin še pred prihodom v našo državo, slovenski pritoki pa nimajo velikega vpliva na že tako zelo močno izoblikovane hidrološke lastnosti obeh rek.

## **5.3 Spremembe hidroloških lastnosti rek**

Ostale reke, ki sem jih analiziral, imajo bolj lokalne lastnosti. Že po svoji majhnosti kažejo na določene vplive, ki so značilni samo za to območje. Glede na njihove lastnosti so razdeljene v skupine po značaju za določena področja ter v podskupine v odvisnosti od podnebnih vplivov. Tako imamo za Slovenijo štiri glavna območja: alpsko, dinarsko, panonsko in sredozemsko, ki so pod vplivom večinoma dežnih razmer, razen alpsko, za katerega veljajo tudi snežne razmere. Ta delitev upošteva samo obliko padavin, ki močneje vpliva na hidrološke lastnosti vodotoka. V slovenski Istri nimamo snega, zato ta ne vpliva na lokalne reke, v visokogorju pa so snežne padavine zelo pomembne in na določenih območjih vplivnejše od dežja. Tako so vsi slovenski vodotoki razdeljeni med pet hidroloških režimov.



Preglednica 5: Tabelarni prikaz rešitev na vodomernih postajah z enačbo trendne črte

	Qnk	Qnp	Qs	Qvp	Qvk
Mura - Gornja Radgona	$y = -0,0157x + 106,48$	$y = 0,0051x + 103,71$	$y = -0,0057x + 157,36$	$y = 0,0062x + 277,77$	$y = 0,0937x + 275,72$
Sava - Radovljica	$y = -0,0048x + 17,19$	$y = -0,0014x + 21,11$	$y = -0,0092x + 47,55$	$y = -0,0032x + 121,13$	$y = 0,0059x + 151,71$
Sava - Šentjakob	$y = -0,0229x + 48,97$	$y = -0,0197x + 56,17$	$y = -0,0285x + 100,91$	$y = -0,0347x + 255,64$	$y = 0,0046x + 304,27$
Sava - Litija	$y = -0,0315x + 107,51$	$y = -0,0219x + 106,38$	$y = -0,041x + 204,51$	$y = -0,1094x + 518,42$	$y = -0,044x + 532,25$
Sava - Čatež	$y = -0,0575x + 169,5$	$y = -0,0431x + 169,07$	$y = -0,0937x + 339,53$	$y = -0,2508x + 865,8$	
Sava Dolinka - Jesenice	$y = -0,0032x + 9,23$	$y = -0,0013x + 8,69$	$y = -0,0021x + 12,22$	$y = -0,0052x + 24,35$	$y = 0,0065x + 22,72$
Sava Bohinjka - Sveti Janez	$y = -0,0013x + 3,44$	$y = -0,0011x + 3,47$	$y = -0,0033x + 9,38$	$y = -0,0059x + 29,42$	$y = -0,004x + 32,67$
Ljubljana - Vrhnika	$y = -0,0013x + 9,2$	$y = -0,0013x + 9,47$	$y = -0,0035x + 25,79$	$y = -0,0071x + 58,39$	$y = -0,0047x + 159,45$
Radovna - Podhom	$y = -0,0011x + 4,55$	$y = -0,0009x + 4,56$	$y = -0,0025x + 9,41$	$y = -0,0117x + 30,14$	$y = -0,0064x + 31,01$
Kolpa - Metlika	$y = -0,007x + 27,13$	$y = -0,006x + 27,06$	$y = -0,0221x + 85,92$	$y = -0,0585x + 308,6$	$y = 0,0429x + 307,3$
Savinja - Nazarje	$y = -0,0046x + 9,7$	$y = -0,004x + 9,67$	$y = -0,006x + 20,66$	$y = -0,0085x + 65,33$	$y = 0,0197x + 74,66$
Savinja - Laško	$y = -0,003x + 15,99$	$y = -0,0022x + 16$	$y = -0,0038x + 40,03$	$y = -0,0149x + 157,82$	$y = 0,0341x + 209,53$
Krka - Podbočje	$y = -0,0043x + 21,75$	$y = -0,0039x + 22,16$	$y = -0,0111x + 57,88$	$y = -0,0111x + 148,5$	$y = -0,0054x + 153,78$
Soča - Log Čezsoški	$y = -0,0033x + 13,56$	$y = -0,0021x + 13,58$	$y = -0,0075x + 28,10$	$y = -0,0369x + 90,44$	$y = -0,0258x + 114,6$
Soča - Solkan	$y = -0,0223x + 35,42$	$y = -0,0061x + 40,26$	$y = -0,0067x + 94,11$	$y = 0,0213x + 307,42$	$y = 0,1011x + 443,37$
Idrija - Hotešk	$y = -0,0021x + 9,01$	$y = -0,002x + 9,2$	$y = -0,0053x + 25,52$	$y = -0,0156x + 112,54$	$y = 0,0146x + 166,68$
Reka - Cerkvenikov mlin	$y = -0,0006x + 1,99$	$y = -0,0005x + 2,05$	$y = -0,003x + 9,11$	$y = -0,0154x + 42,7$	$y = -0,0152x + 21,72$
Rižana - Kubed	$y = -0,0003x + 0,79$	$y = -0,0002x + 0,85$	$y = -0,0019x + 4,7$	$y = -0,0127x + 21,73$	$y = -0,0124x + 24,54$
Drava - HE Dravograd	$y = -0,4012x + 247,01$	$y = -0,0816x + 200,05$	$y = -0,0911x + 283,38$	$y = -0,1238x + 452,46$	$y = 0,0021x + 507,54$
Vipava - Dornberk	$y = -0,001x + 4,31$	$y = -0,001x + 4,54$	$y = -0,0056x + 16,38$	$y = -0,0313x + 70,45$	$y = -0,0336x + 85,32$
Ščavnica - Pristava	$y = -0,0005x + 0,74$	$y = -0,0005x + 0,77$	$y = -0,0005x + 2,03$	$y = 0,0084x + 5,94$	$y = 0,0099x + 7,29$

Preglednica 6: Tabelarni prikaz rešitev na vodomernih postajah z vrednostmi Mann-Kendallovega trendnega testa

	Qnk		Qnp		Qs		Qvp		Qvk	
	vrednost testne statistike	stopnja značilnosti	vrednost testne statistike	stopnja značilnosti	vrednost testne statistike	stopnja značilnosti	vrednost testne statistike	stopnja značilnosti	vrednost testne statistike	stopnja značilnosti
Mura - Gornja Radgona	-13204	69,82%	14949	85,00%	847	7,62%	2998	27,34%	25083	99,76%
Sava - Radovljica	-34384	99,74%	-2502	14,82%	-18926	99,85%	-8061	77,49%	-4964	49,24%
Sava - Šentjakob	-113481	99,99%	-74329	99,99%	-72101	99,99%	-44352	99,99%	-5318	63,30%
Sava - Litija	-211295	99,99%	-141586	99,93%	-112614	98,78%	-99990	98,77%	-35645	54,69%
Sava - Čatež	-92341	99,99%	-64880	99,58%	-56110	99,93%	-49813	99,96%	-158	90,19%
Sava Dolinka - Jesenice	-134468	99,99%	-41767	99,35%	-53775	99,81%	-38183	96,00%	30587	96,12%
Sava Bohinjka - Sveti Janez	-19771	99,94%	-15901	99,10%	-17482	95,99%	-11667	78,24%	-7555	61,91%
Ljubljana - Vrhnika	17682	42,84%	13747	32,38%	-18022	57,50%	-28287	75,62%	-21332	61,19%
Radovna - Podhom	-40742	0,00%	-32162	0,00%	-31468	96,78%	-21735	87,41%	-4223	21,56%
Kolpa - Metlika	-42539	95,00%	-33624	88,56%	-40318	0,00%	-30667	94,30%	12127	41,57%
Savinja - Nazarje	-98426	99,99%	-77992	99,97%	-50507	99,87%	-17808	84,76%	20733	73,71%
Savinja - Laško	-22941	79,22%	-17200	65,32%	-9979	49,31%	-5198	33,36%	7196	35,41%
Krka - Podbočje	-15004	54,77%	-11760	43,54%	-11380	50,26%	-5477	29,17%	-2456	13,80%
Soča - Log Čezsoški	-18173	0,00%	-9207	0,00%	-18320	90,05%	-21267	97,86%	-10060	61,37%
Soča - Solkan	-108129	99,99%	-18068	73,25%	-11530	67,01%	-3398	22,07%	9678	56,60%
Idrija - Hotešk	-26624	96,27%	-26537	96,81%	-18425	83,69%	-13672	67,38%	-1982	10,66%
Reka - Cerkvenikov mlin	-12701	82,71%	-4209	41,08%	-20740	99,28%	-22992	99,93%	-16423	95,99%
Rižana - Kubed	-36468	96,02%	-25077	79,26%	-25913	95,14%	-35183	99,91%	-31398	99,23%
Drava - HE Dravograd	-83312	99,99%	-12952	99,62%	-8011	90,55%	-4442	62,36%	6953	54,46%
Vipava - Dornberk	-17155	99,00%	-15073	98,26%	-17561	99,99%	-22121	99,32%	-21124	99,42%
Ščavnica - Pristava	-12037	98,51%	-12025	99,24%	-5628	82,71%	2179	50,94%	2578	52,73%

Če primerjam rezultate, dobljene z navadno definicijo trenda, razvidne na preglednici 5, ter tiste z Mann-Kendallovim trendnim testom, v preglednici 6, opazim, da ni bistvene razlike. Obe statistični metodi približno podobno prikazujeta rezultate na pretokih slovenskih rek. Statistično značilni trendi so samo padajoči in večinoma na nizkih pretokih vodomernih postaj Save.

Preglednica 7: Tabelarni prikaz Pearsonovega koeficienta korelacije med vodomernimi postajami

	Mura - Gornja Radgona	Sava - Radovljica	Sava - Šentjakob	Sava - Litija	Sava Dolinka - Jesenice	Sava Bohinjka - Sveti Janez	Ljubljana - Vrhnika	Radovna - Podhom	Kolpa - Metlika	Savinja - Nazarje	Savinja - Laško	Krka - Podbočje	Soča - Log Čezsoški	Soča - Solkan	Idrija - Hotešk	Reka - Cerkevnikov mlin	Rižana - Kubed	Drava - HE Dravograd	Vipava - Dornberk	Ščavnica - Pristava
Mura - Gornja Radgona		0,338	0,293	0,298	0,400	0,338	0,172	0,399	0,134	0,427	0,474	0,307	0,278	0,210	0,132	0,072	0,063	0,575	0,056	0,428
Sava - Radovljica			0,906	0,853	0,812	0,925	0,506	0,948	0,483	0,777	0,664	0,378	0,873	0,849	0,671	0,440	0,436	0,609	0,533	0,203
Sava - Šentjakob				0,962	0,680	0,777	0,638	0,859	0,602	0,833	0,754	0,512	0,750	0,901	0,825	0,585	0,576	0,481	0,680	0,330
Sava - Litija					0,602	0,730	0,721	0,803	0,662	0,860	0,818	0,606	0,681	0,889	0,860	0,653	0,652	0,428	0,732	0,394
Sava Dolinka - Jesenice						0,758	0,277	0,794	0,281	0,610	0,485	0,229	0,805	0,617	0,410	0,308	0,233	0,722	0,315	0,112
Sava Bohinjka - Sveti Janez							0,380	0,878	0,375	0,697	0,597	0,269	0,889	0,770	0,549	0,320	0,328	0,640	0,418	0,116
Ljubljana - Vrhnika								0,500	0,733	0,568	0,600	0,752	0,355	0,635	0,731	0,678	0,673	0,153	0,779	0,420
Radovna - Podhom									0,439	0,711	0,615	0,386	0,844	0,781	0,596	0,419	0,402	0,640	0,499	0,183
Kolpa - Metlika										0,571	0,610	0,794	0,332	0,632	0,709	0,633	0,626	0,112	0,684	0,452
Savinja - Nazarje											0,918	0,510	0,629	0,790	0,735	0,505	0,467	0,463	0,591	0,439
Savinja - Laško												0,610	0,531	0,713	0,696	0,500	0,505	0,405	0,553	0,538
Krka - Podbočje													0,234	0,494	0,578	0,590	0,607	0,150	0,584	0,576
Soča - Log Čezsoški														0,751	0,517	0,319	0,319	0,632	0,386	0,082
Soča - Solkan															0,873	0,583	0,580	0,420	0,728	0,296
Idrija - Hotešk																0,633	0,658	0,234	0,823	0,372
Reka - Cerkevnikov mlin																	0,793	0,152	0,721	0,308
Rižana - Kubed																		0,101	0,721	0,295
Drava - HE Dravograd																			0,148	0,058
Vipava - Dornberk																				0,339
Ščavnica - Pristava																				

Skupna lastnost vseh slovenskih rek, ki jo lahko takoj opazimo, je, da v poletnih mesecih pretok upada v primerjavi z ostalim letom. Ponovno moram omeniti Muro in Dravo, ki ne spadata v ožji krog analiziranih vodotokov, predvsem pa imata ravno nasprotno lastnosti pretočnega režima. Za večino rek velja tudi, da je povprečje pretokov v zadnjem desetletju nižje od povprečja pretokov večletnega merjenja ter da se decembra pretok povečuje v primerjavi z referenčnim pretočnim režimom. Če bi se podobne spremembe opazile samo na enem vodotoku, bi to obravnavali kot izoliran vpliv, tako pa je skoraj identične spremembe možno zaznati na večini slovenskih rek ter lahko predvidevamo, da gre za vpliv širših razsežnosti. Domnevam, da se količina padavin v poletnem času zmanjšuje in da se jesenska deževja čedalje bolj zamikajo v pozno jesen oziroma v zgodnjo zimo. Sledeče spreminjanje hidroloških lastnosti vodotokov ter pretočnega režima je predvsem produkt spreminjanja podnebnih vplivov.

Izračun trenda pri večini vodotokov na različnih analizah pretoka prikazuje upadanje. Tako opazimo negativen trend za večino vodotokov, ne glede kje v Sloveniji se nahaja na najmanjših pretokih konice, na najmanjših pretokih dnevnega povprečja, na srednjih pretokih ter na največjih pretokih dnevnega povprečja. Večina slovenskih rek ima pozitiven trend samo za največji pretok konice. Na 21 vodomernih postajah sem dobil samo negativne trende za najmanjši pretok konice in za srednji pretok, enega pozitivnega za najmanjši pretok dnevnega povprečja, tri pozitivne pri največjem pretoku dnevnega povprečja in enajst pozitivnih za največji pretok konice, računano po linearnem časovnem trendu. Ni pomembno, kakšen hidrološki režim ima reka, trend upadanja je prisoten na vseh vodotokih. Tudi z Mann-Kendallovim trendnim testom sem dobil večinoma negativne trende. En pozitiven trend je na nizkih pretokih konice in na srednjem pretoku, dva sta na visokih pretokih

dnevnega povprečja in na nizkih pretokih dnevnega povprečja ter kar osem pozitivnih trendov je na visokih pretokih konice.

S pomočjo Pearsonovega koeficienta korelacije, izpeljanim med posameznimi vodomernimi postajami, opazim, da ni bistvene linearne povezanosti, razen na vodomernih postajah istega vodotoka, kot se vidi na preglednici 7. Rahlo linearno povezanost se opazi tudi med različnimi vodotoki istega režima, na primer Savinje, Soče, Save, Radovne, Kolpe, Krke, Idrijce, Ljubljanice ter Vipave. Največjo medsebojno linearno povezanost v primerjavi z ostalimi rekami imata tudi Reka in Rižana. Mura in Drava sta še deloma linearno povezani, Ščavnica pa nima nobene večje linearne povezanosti z ostalimi rekami. Presenetljivo je samo to, da so vse vrednosti kljub močni ali šibki linearni povezanosti pozitivne. Izračuni Pearsonovega koeficienta korelacije, dobljeni z modeloma AM in POT, kažejo večinoma naraščajoče vrednosti, tako kot je razvidno na preglednici 8. Negativne vrednosti se pojavljajo predvsem na vodomernih postajah, kjer je bil negativen trend definiran tudi z navadnim linearnim trendom in Mann-Kendallovim trendnim testom.

Preglednica 8: Vrednosti modelov AM in POT za vodomerna mesta

	Mura - Gornja Račgona	Sava - Radovljica	Sava - Šentjakob	Sava - Litija	Sava - Čatež	Sava Dolinka - Jesenice	Sava Bohinjka - Sveti Janez	Ljubljanica - Vrhnika	Radovna - Podhom	Kolpa - Metlika	Savinja - Nazarje	Savinja - Laško	Krka - Podbočje	Soča - Log Čezsoški	Soča - Solkan	Idrijca - Hotešk	Reka - Cerkevnikov mlin	Rižana - Kubed	Drava - HE Dravograd	Vipava - Dornberk	Ščavnica - Pristava
AM	0,148	0,162	0,079	-0,033	-0,102	0,251	0,080	-0,321	-0,231	0,216	0,320	0,162	-0,091	-0,065	0,241	0,154	0,109	-0,210	0,046	0,151	0,330
POT	0,098	0,207	0,290	-0,014	0,134	0,085	-0,477	-0,053	-0,308	0,015	0,174	0,293	0,037	0,126	0,309	0,190	0,095	0,183	0,176	0,356	0,182

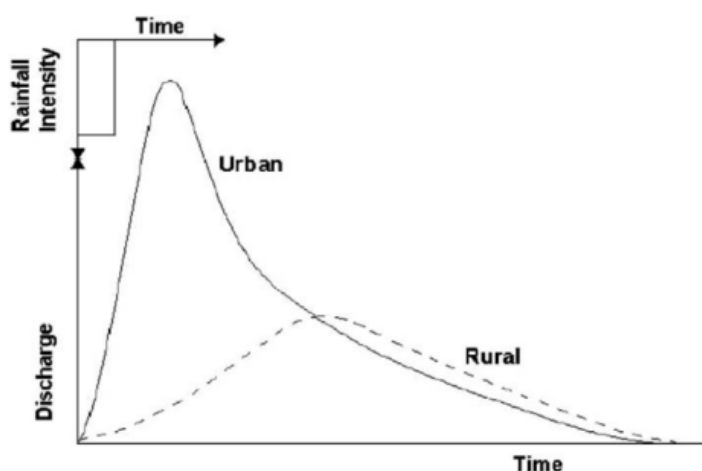
Iz prej navedenega lahko sklepam, da nizke vode postopoma še bolj upadajo, srednji pretok se tako ali tako zmanjšuje, pri visokih vodah pa je mogoče opaziti naraščanje. Naraščanje je mogoče opaziti večinoma pri konicah, kar pomeni, da naraščajo samo trenutni ekstremno visoki pretoki. Če analiziramo iste pretoke visokih voda, nekatere obravnavane kot dnevna povprečja, druge pa kot konice, opazimo, da trend narašča samo pri pretokih, analiziranih kot konice. Pri dnevnem povprečju se sešteje celotna količina pretoka v enem dnevu ter se izračuna povprečno vrednost pretoka za tisti določen dan, pri konicah pa se analizira samo najvišjo doseženo vrednost pretoka tistega določenega dne. Ob takšnih primerih, ko je dnevno povprečje iz leta v leto manjše, istočasno pa konice pretokov za to isto vodomerno mesto naraščajo, se sprašujem, zakaj se to dogaja. Sklepam, da v primeru, ko je povprečna dnevna količina visoke vode v strugi vedno manjša, trenutni pretok visoke vode pa dosega vsakič višje vrednosti, je odgovor lahko zgolj – človeški poseg v prostor.

Človek z regulacijami rek ter z ureditvijo poplavnih površin in povodja drastično vpliva na pretočne lastnosti vodotokov. V našem konkretnem primeru vidim rešitev v zmanjševanju koeficienta zadržka padavin na površinah, preden te odtečejo v strugo. Z urbanih površin meteorne vode odtečejo v zanemarljivem času. Voda s streh stavb, cestišč, večine betonskih in asfaltnih površin je speljana v

odtoke za meteorne vode in posledično v reko. Tudi nekatere pridelovalne površine imajo poleg namakalnih še drenažne sisteme.

Drenažni sistemi so se izvajali predvsem na kmetijskih zemljiščih slabše kakovosti, kjer prevladujejo tla z neugodnimi lastnostmi, ki ne nudijo ustreznih pogojev za intenzivno pridelavo poljščin brez melioracijskih intervencij. Izvajanje drenažnih sistemov je bilo pogojeno predvsem s težnjo po ohranjanju oziroma povečanju površine obdelovalnih zemljišč, ki se je v času po drugi svetovni vojni občutno zmanjševala zaradi intenzivne urbanizacije predvsem na najbolj rodovitnih zemljiščih na obrobjih urbanih naselij. V Sloveniji je tako bilo do leta 1990 izvedenih približno za 72.000 ha oziroma 720 km<sup>2</sup> drenažnih sistemov na kmetijskih površinah (Matičič, 1999). Površina Slovenije znaša 20.273 km<sup>2</sup>, torej drenirana polja predstavljajo kar 3,55 % celotnega slovenskega ozemlja.

Na hitrost odтока padavin s površin vpliva predvsem naklon površine, relief in vrsta oziroma struktura tal ter vegetacija. Večji kot je naklon, hitreje bo deževnica odtekla s pobočja. Ravno tako tudi vrsta zemljine vpliva na odtok oziroma na absorpcijo. Rahla prst ustvarja večji zadržek vode kot kompaktna nabita prst. Prav tako tudi tiste prsti, ki so bolj vodoprepustne, zadržujejo več vode in ne predstavljajo dobrih možnosti za hiter odtok, nasprotno pa velja za glino ali kamnine, ki deževnice ne vsrkajo, ampak prosto odteče. Zemljina, ki je že nasičena z vodo, prav tako predstavlja boljše pogoje za lažji odtok s površine. Tudi poraščenost tal zadržuje vodo, med neporaščenimi in gosto poraščenimi tlemi z različno vegetacijo je velika razlika. Iz slike 29 je lepo razvidno, da se ob enaki količini padavin odtočni hidrogram, torej čas iztekanja, močno razlikuje glede na stopnjo urbaniziranosti povodja.



Slika 29: Spreminjanje odtočnega hidrograma zaradi urbanizacije (povzeto po Ramachandra et al. 2009: str. 53)

Predvidevam lahko, da je človek s širjenjem urbanih območij, z gradnjo raznih drenažnih sistemov ter kanalov za hitrejšo odvajanje odvečne vode in z morebitnim izsekavanjem gozdnih površin, košnjo trave ter z ostalimi gozdarsko-kmetijskimi opravili dosegel, da so posledice vsega prej navedenega

opazne na hidroloških lastnostih vodotokov. Če prištejemo še regulacije rek ali pa v skrajnih primerih celo betoniranje rečnih strug oziroma kanaliziranje, so lahko posledice katastrofalne.

#### 5.4 Primerjava pretokov z globalnimi podnebnimi vplivi

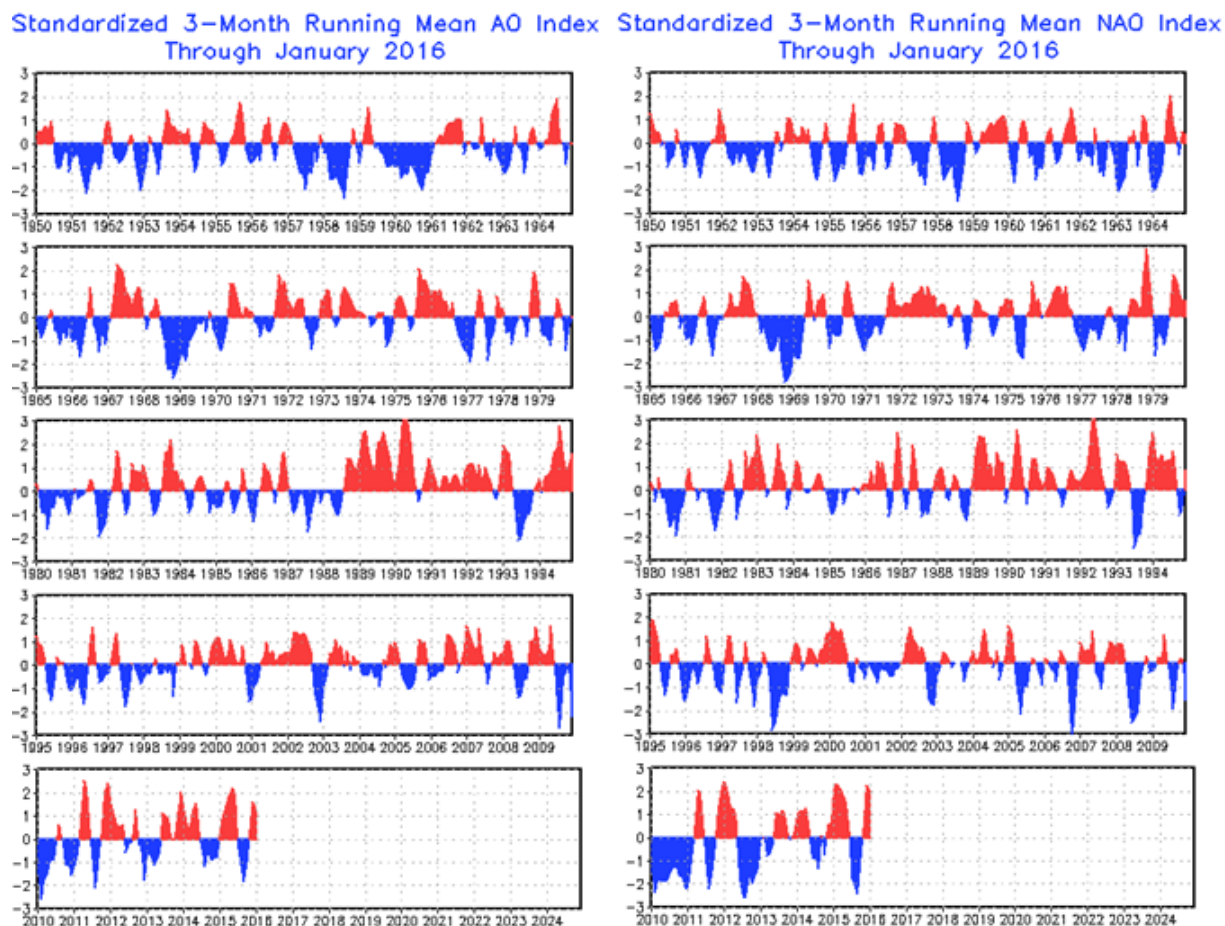
Pri opazovanju pretočnih podatkov rek ni mogoče zaznati morebitnega odstopanja od povprečja oziroma izjemnih singularnih vrednosti, ki drastično presegajo ali pa so izrazito manjše od normalnih številčnejših podatkov. Ko se te podatke vstavi v graf, je veliko lažje opaziti izjeme. Tako sem podatke rečnih pretokov izrisal v grafih in jih podrobno preučil. Enako sem napravil tudi s podatki o severnoatlantskem in arktičnem nihanju. Iskal sem morebitne specifike, ki bi istočasno veljale tako za pretoke kot tudi za podnebne vplive. Za dodatno analizo medsebojnega ujemanja sem izračunal tudi Pearsonov korelacijski koeficient med severnoatlantskim oziroma arktičnim nihanjem in vrednostmi pretokov na različnih vodomernih postajah, kot je prikazano na preglednici 9. Rezultati kažejo večinoma negativno in izjemno majhno linearno povezanost. Vrednost linearne povezanosti, izračunane po Pearsonovem korelacijskem koeficientu, med severnoatlantskim in arktičnim nihanjem je 0,661.

Po podrobnem analiziranju in preučevanju podatkov sem ugotovil, da so povečani pretoki večinoma v jesenskem obdobju. Tako je povprečno gledano obdobje od septembra do januarja tisto z najvišjimi pretoki v strugi. Pri severnoatlantskem in arktičnem nihanju lahko opazimo občutno povezanost. Skoraj simultano se nahajata oba v negativni oziroma pozitivni fazi, kar je vidno tudi na sliki 30. So tudi redke izjeme, pri katerih je en vpliv v eni fazi, drugi pa v nasprotni, ampak še takrat so vrednosti minimalne in samo malo odstopajo od nevtralnega stanja. Večinoma, ko sta oba vpliva izrazito visoka, se nahajata oba v negativni ali oba v pozitivni fazi.

Preglednica 9: Pearsonov koeficient korelacije pretokov z vrednostmi podnebnih vplivov

	Mura - Gornja Radgona	Sava - Radovljica	Sava - Šentjakob	Sava - Litija	Sava - Čatež	Sava Dolinka - Jesenice	Sava Bohinjka - Sveti Janez	Ljubljanica - Vrhnika	Radovna - Podhom	Kolpa - Melika	Savinja - Nazarje	Savinja - Laško	Krka - Podbočje	Soča - Log Čezsoški	Soča - Solkan	Ištrijca - Hotešk	Reka - Cerkevnikov mlin	Rišana - Kubeč	Drava - HE Dravograd	Vipava - Dornberk	Ščavnica - Pristava
NAO	-0,049	-0,177	-0,159	-0,150	-0,125	-0,131	-0,190	-0,140	-0,173	-0,098	-0,121	-0,061	-0,048	-0,207	-0,191	-0,172	-0,100	-0,130	-0,163	-0,178	0,020
AO	0,010	-0,115	-0,166	-0,200	-0,210	-0,068	-0,085	-0,250	-0,088	-0,219	-0,122	-0,102	-0,168	-0,110	-0,204	-0,246	-0,206	-0,267	-0,048	-0,283	-0,097

Za negativno fazo severnoatlantskega in arktičnega nihanja velja, da na območju Sredozemlja in Evrope prevladuje deževje in nizek zračni tlak. Tako sem primerjal nekatere poplavne dogodke na območju Slovenije z vrednostmi severnoatlantskega in arktičnega nihanja.



Slika 30: Trimesečno povprečje arktičnega in severnoatlantskega nihanja (vir: [http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/CWlink/daily\\_ao\\_index/month\\_ao\\_index.shtml](http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/CWlink/daily_ao_index/month_ao_index.shtml), [http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/CWlink/pna/month\\_ao\\_index.shtml](http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/CWlink/pna/month_ao_index.shtml), pridobljeno 21. 1. 2016)

Poplave na območju Slovenije in vrednosti severnoatlantskega ter arktičnega nihanja so naslednje:

- december 1966 – nao: 0,72; ao: -1,401,
- november 1990 – nao: -0,24; ao: 0,521,
- oktober in november 1998 – nao: -0,29; -0,28; ao: 0,294; -1,449,
- 17. november 2000 – nao: -0,92; ao: -1,581,
- 10. oktober 2004 – nao: -1,1; ao: -0,515,
- 18. september 2007 – nao: 0,72; ao 0,179,
- 19. september 2010 – nao: -0,76; ao -0,865,
- november 2012 – nao: -0,58; ao -0,111.

Rezultati kažejo predvsem na to, da so vrednosti severnoatlantskega in arktičnega nihanja minimalno v negativni stopnji in nikjer ni mogoče opaziti neke drastične težnje vrednosti skrajno v negativno smer. Prav tako je zanimanja vredno, da je poplava v Železnikih novembra 2007 nastala, ko sta bila oba

vpliva v pozitivni fazi. Z gotovostjo lahko trdimo, da so slovenske reke občutljive na poplavne dogodke predvsem v jesenskem času, nihanja podnebnih vplivov pa se neprekinjeno spreminjajo ne glede na mesec ali letni čas.

## **5.5 Podnebne interakcije na območju Evrope**

V evropskem prostoru sta dva glavna tvorca podnebja, severnoatlantsko in arktično nihanje. Izpeljane so bile številne študije in analizirani vremenski pogoji so bili definirani kot rezultat enega oziroma drugega podnebnega vpliva. Postavlja pa se vprašanje, ali morda oba podnebna vpliva istočasno delujeta na vremenske lastnosti Evrope in kako se v tem primeru njun vpliv odraža v naravi? Tako se severnoatlantsko nihanje primerja z arktičnim nihanjem ter se ugotavljajo razlike in podobnosti ter medsebojna delovanja na evropsko podnebje. Oba vpliva sta močno povezana med sabo in odigrata pomembno vlogo pri oblikovanju podnebnih razmer za severno poloblo.

Pri severnoatlantskem nihanju sovpadata območje nizkega zračnega tlaka in območje delovanja, medtem ko pri arktičnem nihanju ni tako. Severnoatlantsko nihanje je prav tako mogoče opredeliti kot glavnega tvorca analiznih modelov, vsestransko uporabnih na različnih področjih evroatlantskega območja, pri arktičnem nihanju pa to ni mogoče. Pri arktičnem nihanju je mogoče zaznati močno težnjo na conske vetrove med 35° in 55° severne geografske širne. Rezultati kažejo, da je severnoatlantsko nihanje lahko veliko bolj občutno in močno kot arktično nihanje, vendar ti rezultati ne izključujejo možnosti, da je za dejanski mehanizem obstoja severnoatlantskega nihanja ključna povezava s krožnim arktičnim vrtenjem zračnih mas, ki je istočasno glavno gonilo za arktično nihanje (Ambaum et al., 2001).

### **5.5.1 Povezava med visokimi vodami in podnebni vplivi v Nemčiji**

Številne študije analizirajo trende podnebnih vplivov, kot so severnoatlantsko nihanje, arktično nihanje ter El Niño v povezavi s padavinami in temperaturo. Za obdobje od 1881 do 1989 so izvedli analize ter spoznali pomembne spremembe v dnevni, sezonski ter letni frekvenci podnebnih vplivov, kar vodi v blažje in bolj deževne zime za celotno Evropo. Na območju jugozahodne Nemčije se pokaže, da se povezava med podnebnimi vplivi in velikimi količinami padavin močno razlikuje glede na sezonske in območne pogoje. Odkrili so tudi, da je večina analiziranih obilnih padavin sprožena samo z nekaterimi vremenskimi vplivi. Prav tako so se problematiki posvetili tudi na porečju reke Labe in analizirali podnebne vplive ter padavine za obdobje od 1951 do 2003. Njihovi rezultati kažejo, da se število deževnih dni v zimskem času potroji, prav tako pa se povečata pogostost in trajanje vremenskih vplivov z zahoda in severozahoda. Nekateri strokovni objave pišejo o povečanju ekstremnih padavin v zimskem času za zadnjih 300 let po celotni Evropi. Odkrijejo tudi tesno povezavo med severnoatlantskim nihanjem ter temperaturo in padavinami v Alpah zadnjih 500 let. Jasno razmerje med severnoatlantskim nihanjem in padavinami so zaznali na območju Grčije v

obdobju od 1955 do 2001. Večina strokovnjakov poroča o močni povezanosti med severnoatlantskim nihanjem in padavinskimi dogodki nad Evropo.

Ampak samo nekateri strokovnjaki so analizirali povezavo med podnebnimi vplivi in poplavami. Predlagali so študijo o povezavi med podnebjem, pretokom in kroženjem zračnih mas ter poročajo o povezavi med trendi severnoatlantskega nihanja in poplavami na področju Evrope. Določili so širok spekter podnebnih vplivov za zgodovinske poplave s pomočjo ponovno analiziranih podatkov. Ugotovili so točno, kateri podnebni vplivi so najnevarnejši za nastanek poplav v Evropi. Najpomembnejši podnebni vplivi za sprožitev visokih pretokov rek so (1) za poletne mesece: ciklon z zahoda z južnimi komponentami in (2) za zimo: zahodni veter z izmenjavo severnih in južnih komponent. Študija na območjih brez snega v Franciji in Španiji je pokazala podnebne vplive za nastajanje poplav s pomočjo obsežnih območij zračnega tlaka na morski gladini. Izračunali so medsebojno povezavo štirih podnebnih vplivov: severnoatlantskega nihanja, arktičnega nihanja, ciklonov z zahoda ter sprememb zračnega tlaka na morski gladini z zimskimi padavinami. Ugotovili so, da so letni visoki pretoki bolj občutljivi na podnebne spremembe, kot pa srednji letni pretoki. Analizirali so poplavne pretoke, podnebne vplive in padavine na porečju reke Ren ter odkrili naraščajoči trend vlažnih podnebnih vplivov, zlasti ciklonov z zahoda za obdobje od 1951 do 2000. Še značilnejši trend naraščanja je bil odkrit na zimskih visokih odtokih v primerjavi z letnimi visokimi odtoki. Za ta pojav zahodnih ciklonov so zaznali naraščanje, ki vodi v poplavne dogodke za območje jugozahodne Nemčije. Medtem pa so preučevali poplavne trende na porečju Labe in Odre ter odkrili upadajoče trende v zimskem času in zanemarljive spremembe v poletnih mesecih.

Dokler je študija omejena samo na določeno regijo, ne bo mogoče izpeljati zaključkov o podnebnih vplivih, poplavah in njihovih trendih na državnem nivoju. Rezultati analize trendov poplavnih dogodkov in poplav, spodbujenih zaradi podnebnih vplivov, kažejo regijsko in sezonsko raznolikost Nemčije. Zanimanja vredno je značilno povečanje (1) modela poplav zaradi podnebnih vplivov in tudi (2) povečanje pogostosti podnebnih vplivov. Odkrita je bila korelacija med pogostostjo podnebnih vplivov in sezonskih poplav. Odkrili so tudi trend s posplošitvijo raznolikosti podnebnih vplivov in s tem manj vzorcev z daljšim trajanjem ter vztrajanjem tvorjenja vremena nad Evropo. To kaže na spremembe v dinamiki podnebnih nihanj, ki so v neposredni zvezi z ogroženostjo poplav. Daljša obstojnost podnebnih vplivov lahko povzroči zaporedje padavinskih dogodkov, kar je še posebej pomembno za zimske visoke pretoke, saj so v večini primerov sproženi od zahodnih ali severozahodnih ciklonov. Obojna vremenska vzorca ne prinašata ekstremnih padavin, vendar pa zelo vlažne predhodne razmere lahko že ob zmernih padavinah povzročijo velike odtoke in idealne razmere za poplave. Za obdobje od 1891 do 1990 so odkrili naraščajoče trende zimskih padavin na širšem območju južne in zahodne Nemčije. Ti rezultati se ujemajo z rezultati, dobljenimi na porečju Rena, ki kažejo značilno naraščanje padavinskih ekstremov in ogroženost s poplavljanjem (Petrov et al, 2009).



### 5.5.2 Padavinske značilnosti Mediterana

Na območju Sredozemlja so izpeljali študijo o trendih in spremenljivostih padavin. Baza padavinskih podatkov od leta 1900 do leta 2010 je služila za izpeljavo analize, pri kateri so določili mediteranske padavine v odvisnosti od severnoatlantskega nihanja. Izdelali so tudi simulacijo, pri kateri so na podlagi režima padavin v referenčnem obdobju od 1961 do 1990 napovedali razmere od leta 2071 do 2100. Za Evropo se trendi padavin kažejo kot naraščajoči na severu in padajoči na jugu. Sredozemsko območje obsega pokrajine okrog Sredozemskega morja, ki imajo mediteransko podnebje, ki je del subtropskega podnebja, opredeljenega s suhimi in vročimi poletji ter deževnimi zimami. To je načeloma ravno nasprotno od monsunskega podnebja ter je bolj občutljivo na podnebne spremembe in na globalno segrevanje z znatnim vplivom na spreminjanje padavin. Analiza ciklonske klimatologije v Sredozemlju prikazuje težnjo in zmeren odziv na bodočo emisijsko problematiko. Zmanjšanje ciklonov v zimskem času na zahodnem Mediteranu je domnevno povezano s premikanjem nevihtnih poti proti severu in vztrajno visoko fazo severnoatlantskega nihanja. Verjetnost nadaljevanja upada ciklonske pogostosti je povezana s povečanjem izpustov toplogrednih plinov. Po rezultatih sodeč je velika verjetnost, da se bodo v obdobju od 2080 do 2099 padavine premaknile severneje, kar bo predstavljalo 20 % upad padavin na območju južnega Sredozemlja glede na referenčno obdobje 1980–1999. Ciklonska aktivnost predstavlja veliko sezonsko in prostorsko variabilnost z velikimi razlikami med zahodnim in vzhodnim Sredozemljem ter med hladno in toplo sezono. V zadnjih desetletjih se pri večini sredozemskih regij občuti trend upadanja zimskih padavin. Pojav upadanja se je začel predvidoma okrog leta 1970 ter se nadaljuje s kopičenjem sušnih let tudi leta 1980 in 1990. Trendi niso enotni in desetletna variabilnost je velika. Območje zahodno-osrednjega Sredozemlja se spoprijema z zmanjševanjem padavin že zadnjih 50 let. Prav tako se v tem obdobju kaže znatno zmanjšanje ciklonov na zahodu in povečanje na vzhodu. Posvetili so se predvsem analiziranju trendov in variabilnosti padavin ter vplivu severnoatlantskega nihanja nanje.

Rezultati kažejo, da je padajoč trend letnih padavin bolj značilen v obdobju od 1951 do 2009, kot pa v obdobju od 1901 do 2009. Izjema sta samo severna Afrika in zahod Iberskega polotoka. Trend zmanjševanja števila deževnih dni je značilno padajoč na vzhodu Sredozemlja, medtem ko na osrednjem in zahodnem Sredozemlju ni mogoče zaznati drastičnih sprememb. Severnoatlantsko nihanje negativno vpliva na količino padavin ter na število deževnih dni v Španiji, južni Franciji, Italiji in Grčiji. Ta odvisnost je večja v deževnem obdobju od oktobra do marca kot v celem letu. Na podlagi rezultatov se bodo padavine v Sredozemlju zelo verjetno zmanjšale za skoraj 20 % v obdobju od 2071 do 2100 v primerjavi z obdobjem od 1961 do 1990 (Philandras et al., 2011).

### 5.5.3 Podnebne lastnosti mediteranskih območij severozahodne Afrike

Na drugi strani Mediterana je območje severozahodne Afrike, ki je zelo občutljivo na skrajne hidrološke dogodke, kot so suše in poplave. Študija je zavzemala predvsem območja severne Afrike, in sicer Alžirije, Maroka in Tunizije. Tako kot ostali del Evrope in Sredozemlja tudi na ta območja vpliva severnoatlantsko nihanje, arktično nihanje, El Niño ter mediteransko nihanje. Rezultati kažejo močno težnjo k zmanjševanju padavin ter povečevanje trajanja sušnih obdobj predvsem za območja Maroka in zahodne Alžirije. Za intenzivne in močne padavine ni mogoče opaziti večje težnje k zmanjševanju oziroma k naraščanju ter hipoteza o ohranjanju stanja ostaja nespremenjena. Zgolj na nekaterih območjih Tunizije je mogoče opaziti rahlo odstopanje od dolgoletnih vrednosti. Vremenska vzorca severnoatlantskega in mediteranskega nihanja sta dobro povezana s padavinskimi indeksi. Količine padavin, število sušnih dni in dolžina pretežno deževnih oziroma suhih obdobj se dobro ujemajo z vzorci in tudi večinoma ne odstopajo od predhodnih meritev. Močnejši nalivi so nekaj posebnega, saj kažejo močno prostorsko spremenljivost in jih ni mogoče povezati s severnoatlantskim ali mediteranskim nihanjem, ampak nanje vplivajo predvsem lokalni vremenski dejavniki ter topografija območja (Tramblay et al., 2013).

### 5.5.4 Zimsko deževje na Balkanu

Ta raziskava obravnava nekatere fizikalne mehanizme in povezave z zimskimi padavinami na Balkanu. Analiza je osnovana na podlagi dnevnikih časovnih okvirov za določitev atmosferskega kroženja zračnih mas in vlažnosti, pa tudi na morebitnih povezavah s severnoatlantskim in arktičnim nihanjem. Znanstveniki so poročali, da so do leta 1993 na določenih bolgarskih merilnih postajah zabeležili že 11 neprekinjenih let podpovprečnih letnih padavin. Navajajo, da je ta vse pogostejša sušnost posledica sprememb podnebnih vplivov. Podobno so zaznali na celotnem Balkanu, in sicer upad letnih padavin v obdobju od 1982 do 1991, zlasti zimske padavine so bile za 20 % nižje od normale. Zimske suše v osemdesetih in na začetku devetdesetih let niso bile zaznane samo na Balkanskem polotoku. Od leta 1980 se poroča o izjemno suhih pogojih nad južno Evropo in Sredozemljem ter o vlažnejših razmerah, kot so normalno, za sever Evrope in dele Skandinavije. To velja pripisati predvsem pozitivni fazi severnoatlantskega nihanja, pri zelo močni negativni fazi severnoatlantskega nihanja pa je situacija popolnoma nasprotna. Ponavljajoče pozitivne faze severnoatlantskega nihanja so tipične za močan tok prek Atlantika in Evrope, kar se je zgodilo v zimi iz leta 1979 v 1980, pa vse do zimske sezone 1994/95. Med tem 15-letnim intervalom se je negativna faza severnoatlantskega nihanja pojavila samo dvakrat, in sicer v zimi 1984/85 in 1985/86. Vsakoletne sezonske zimske padavine na območju Bolgarije imajo negativen trend, vendar ni zaznati, da bi bile občutno povezane s severnoatlantskim nihanjem. To pomeni, da so zimske padavine na tem območju Evrope povezane tudi z ostalimi podnebnimi vplivi.

Za zime v osrednjem in vzhodnem Mediteranu je značilno večinoma izmenjevanje med ciklonskim nizkim zračnim tlakom nad Sredozemljem ter med visokim zračnim tlakom z vzhoda, to je sibirsko območje visokega zračnega tlaka. Strokovnjaki s področja meteorologije pišejo, da je za nastajanje ciklonov v Mediteranu ključnega pomena ravno Genovski zaliv. Ti padavinski pojavi se tvorijo v zavetju Alp, kjer orografski (dvigovanje zračnih mas ob pobočjih gora) učinki z Ligurskega ali Jadranskega morja igrajo pomembno vlogo. Nekatere študije so dokazale, da so mediteranski cikloni na poti iz Atlantika proti Egejskemu morju postali redkejši, zato lahko v januarju zasledimo bolj sušne in toplejše razmere na osrednjem Balkanu, predvsem v obdobju od 1982 do 1993. Dokumentira se tudi postopna rast zimskih temperatur za zadnjih 30 let na območjih Evrazije, kar je domnevno povezano s pozitivno fazo severnoatlantskega nihanja ter s povečevanjem polarnega kroženja zračnih mas. Arktično nihanje je močnejše povezano z nihanjem površinske temperature zraka nad Evrazijo kot severnoatlantsko nihanje. Arktično nihanje je seveda možno razlagati kot širjenje vplivov glede na spreminjanje moči polarnega vrtinčenja zračnih mas. Vsekakor je možno tudi, da spremembe nad Arktiko vplivajo na zimske vremenske motnje nad Sredozemljem ter posledično tudi na zimske suše in otoplitve Balkanskega polotoka.

Podnebni izjemni dogodki, ki so se zgodili v Evropi, so bili samodejno povezani z delovanjem severnoatlantskega nihanja. Ampak ne zato ker bi severnoatlantsko nihanje igralo glavno vlogo pri tvorbi padavinskih lastnosti nad jugovzhodno Evropo, temveč zato ker je severnoatlantsko nihanje najboljše analizirano od vseh podnebnih dejavnikov, ki vplivajo na Evropo. Ugotovljeno je, da je za variabilnost padavin v zimskem času nad Balkanom pomembnejši vpliv arktičnega nihanja, kot pa severnoatlantskega nihanja. Pretekle študije so predstavile, da atmosferska vlažnost, še posebno nad vzhodnim Sredozemljem, igra pomembno vlogo pri krepitvi padavin ter pri preprečevanju sušnih obdobj. Za Mediteran je značilno, da se zmanjša vlažnost med pozitivno fazo severnoatlantskega nihanja oziroma da se zviša pri negativni fazi. Analiza je pokazala naraščajoč trend suhih razmer v decembru in januarju za obravnavano obdobje, od 1980 do 1993. Sušne razmere na osrednjem Balkanu so prevladovale skoraj polovico obdobja med 1988 in 1992, ko sta bila severnoatlantsko in arktično nihanje v vztrajajoči pozitivni fazi, vendar je imelo severnoatlantsko nihanje majhen vpliv na zimske padavine. Tudi za obdobje od 1968 do 1996 poročajo o negativnem trendu zimskih padavin ter sklepajo, da je to povezano z razmeroma visoko fazo arktičnega nihanja. Strokovnjaki trdijo, da severnoatlantsko nihanje bolj vpliva na lokalna območja, medtem ko ima arktično nihanje širši vpliv. Poročajo tudi, da so izjemne padavinske razmere slabše povezane z arktičnim nihanjem, kot pa sušne razmere (Cavazos, 2000).

V analizah, opravljenih na različnih območjih Evrope, je vsekakor mogoče opaziti določene podobnosti tudi z rezultati, dobljenimi na pretokih slovenskih rek. Postopno upadanje letnih količin padavin ter izrazito naraščanje visokih voda v jesenskem in zimskem času je problematika, ki zajema obsežnejši del osrednje Evrope. Tako kot nekatere evropske države se tudi pri nas spoprijemamo s

postopnim spreminjanjem rečnih režimov. Znanstveniki ta pojav pripisujejo predvsem podnebnim spremembam kot posledici kopičenja toplogrednih plinov v ozračju. Nihanja hidroloških lastnosti niso nič drugega kot odraz podnebnih sprememb (Petrow et al., 2009).

## 6 ZAKLJUČEK

V diplomski nalogi sem se posvetil podnebnim vplivom, hidrološki analizi slovenskih rek ter zaznavanju trenda pretokov. Predstavil sem glavne podnebne vplive, ki delujejo predvsem na območju Evrope, saj je le s poznavanjem ter razumevanjem podnebja možno določiti hidrološko stanje rek. Z dobrim predpostavljanjem razvoja podnebja bi bilo torej načeloma enostavno napovedati morebitne spremembe naših domačih rek. Kljub temu da se že nekaj let opaža globalno spreminjanje podnebnih razmer, je človek s svojim fizičnim poseganjem v prostor vseeno poglavitni dejavnik pri spremembi predvsem pretočnosti rek. Že res, da podnebje vpliva na količino padavin, ki se bo zlila v strugo, ampak človek je tisti, ki za svoje potrebe regulira reko, betonira rečno dno in brežine ter zožuje strugo in pozida poplavne ravnice vse do bregov.

Iz podatkov, zbranih v arhivih ARSO, sem izpeljal grafični prikaz poteka pretokov na nekaterih slovenskih vodotokih. Rezultati so rahlo zaskrbljujoči, saj je trendna linija srednjih pretokov vseh obravnavanih rek negativna. Kljub temu da trendna črta ne napoveduje točno določenega stanja v prihodnosti, je še vedno odličen prikaz smeri razvoja pretoka vodotoka. Čeprav trendni črti ne moremo zaupati pri simuliranju stanja v daljni prihodnosti, poskus napovedi kaže, da se našim rekam postopoma manjša pretok. Če težnja razvoja ostane ista, bi to lahko v prihodnjih sto letih predstavljalo veliko težavo. Prav tako je mogoče opaziti upadajoč trend na vseh rekah pri najmanjšem pretoku, dnevnem povprečju in konicah. Najnižji pretoki v poletnih mesecih, ko je suša, se torej še dodatno znižujejo. Pri večini rek je padajoč trend tudi na največjih pretokih (dnevno povprečje), kar kaže na zmanjševanje vode v strugi tudi ob obilnih padavinah. Nasprotno pa ima naraščajoč trend več kot polovica analiziranih rek na največjem pretoku konice. Konice predstavljajo največjo vrednost, ki jo doseže pretok tistega dne. Sunkovit trenuten visok pretok v strugi je na nekaterih slovenskih rekah torej postal stalnica, ki se še stopnjuje in narašča.

Kljub temu da padavine niso več tako intenzivne, se povečuje največji izmerjen pretok v strugi. Predstavljamo si lahko, da prihaja do pojava vse hitrejšega izlivanja velike količine padavin v strugo, ki tako dosega zelo visoke pretoke. Odtočnost rek se prikazuje z odtočnim količnikom, ki pa predstavlja delež padavin, ki odtečejo po strugi. Največji odtočni količnik je na območju zgornje Soče, kjer je vrednost med 90 in 95 %. Najmanjše odtočne količnike imajo potoki v vzhodni Sloveniji zaradi malo padavin ter velike evapotranspiracije. Odtočni količnik, tipičen za Prekmurje, ima Lendava z vrednostjo okrog 22 % (Kolbezen, 1998).

Kljub odtočnim količnikom, specifičnim za vsako regijo posebej, vzrok visokih rečnih pretokov vidim predvsem v okolici rek, kjer padavine hitro odtečejo v rečno strugo, namesto da bi se zadržale v okolici. Opisana problematika je prisotna predvsem na urbanih področjih in območjih, kjer je človek s svojim posegom drastično spremenil lastnosti terena: ali z drenažnimi sistemi, odvodnimi jarki ali pa enostavno z asfaltnimi in betonskimi ter ostalimi vodoneprepustnimi površinami.

Pri pretočnih režimih je mogoče zaslediti tudi že omenjeno upadanje količine vode v strugi, po drugi strani pa naraščanje in večanje pretokov v poznojesenskem ter zimskem času. Kot posledica globalnega segrevanja in višanja temperatur verjetno še tiste padavine, ki bi morale biti v zimskem času v obliki snega, sedaj padajo kot dež. Ta dež hitro odteče s pobočij v reko in povečuje pretok tudi pozimi, kljub dolgoletnim lastnostim, ko se je ta količina padavin obdržala do spomladanskih otoplitev kot sneg in led.

Kar se tiče povezovanja ugotovitev trendov pretokov slovenskih vodotokov z globalnimi podnebnimi vplivi, sem spoznal, da sta severnoatlantsko in arktično nihanje izjemno soodvisna in skupno delujeta na ustvarjanje vremena nad Evropo. Poudariti pa velja, da nista edina tvorca evropskega vremena, saj so prisotni tudi drugi vplivi, ki v razmeroma manjši intenziteti ter svojevrstno pripomorejo k vremenskim lastnostim Evrope. Tako tudi navaja Cavazos (2000), in sicer, da severnoatlantsko in arktično nihanje nista edina podnebna vpliva, ki delujeta na območju Evrope, ampak sta samo najboljše dokumentirana. Izpostavim naj, da trenutno v evropskem prostoru ravno zaradi pomanjkanja kvalitetnejših dolgoročnih podatkov ter zaradi skromne usmerjenosti samo v določen dejavnik vsa dognanja ostajajo na ravni okvirne hipoteze, ki pa odpira problematiko, vredno zanimanja in nadaljnega preučevanja s kvalitetnejšimi analitičnimi postopki in pristopi.

**VIRI**

Agencija Republike Slovenije za okolje, ARSO. 2.1 Vode. Ljubljana: 1-8.  
<http://www.arso.gov.si/varstvo%20okolja/poro%C4%8Dila/poro%C4%8Dila%20o%20stanju%20okolja%20v%20Sloveniji/vode.pdf> (pridobljeno 27. 2. 2016)

Ambaum, M. H. P., Hoskins, B. J., Stephenson, D. B., 2001. Arctic Oscillation or North Atlantic Oscillation? American Meteorological Society, Journal of climate, 14: 3495-3507.

Arnell, N. 1996. Global warming, river flows and water resources. John Wiley & Sons. Chichester, New York, Brisbane, Toronto, Singapore: 1-224.

ARSO, 2006. Podnebne razmere v Sloveniji (obdobje 1971-2000). Ljubljana: 1-28.

Bartolini, E., Claps, P., D'Odorico, P. 2009. Interannual variability of winter precipitation in the European Alps: relations with the North Atlantic Oscillation. Hydrology and Earth System Sciences, 13: 17-25.

Birsan, M. V., Molnar, P., Burlando, P., Pfaundler, M. 2005. Streamflow trends in Switzerland. Journal of Hydrology 314: 312-329.

Brilly, M., Šraj, M. 2000. Osnove hidrologije. Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Ljubljana: 169-171.

Brolley, J. M., O'Brien, J. J., Schoof, J., Zierden, D. 2007. Experimental drought threat forecast for Florida. Agricultural and Forest Meteorology 145: 84-96.

Cavazos, T. 2000. Using self-organizing maps to investigate extreme climate events: An application to wintertime precipitation in the Balkans. Journal of climate, 13: 1718-1732.

Chylek, P., Lesins, G. 2008. Multidecadal variability of Atlantic hurricane activity: 1851-2007. Journal of geophysical research, 113, D22106: 1-9.

Claps, P., Giordano, P., Laguardia, G. 2008. Spatial distribution of the average air temperatures in Italy: quantitative analysis. Journal of Hydrologic engineering ASCE: 242-249.

Dolinar, M., Frantar, P., Hrvatin, M. 2008. Vpliv podnebne spremenljivosti na pretočne in padavinske režime Slovenije. V: Mišičev vodarski dan, Zbornik referatov, 19: 1-8.

Enfield, D. B., Cid-Serrano, L. 2010. Secular and multidecadal warmings in the North Atlantic and their relationships with major hurricane activity. International journal of climatology, 30: 174-184.

- Feliks, Y., Ghil, M., Robertson, A. W. 2010. Oscillatory Climate Modes in the Eastern Mediterranean and Their Synchronization with the North Atlantic Oscillation. *Journal of climate*, 23: 4060-4079.
- Frantar, P. 2003. Pretočni režimi na reki Savi in njihove spremembe med obdobjem 1961 - 1990 in 1991 - 2000. *Mišičev vodarski dan*, 14: 1-9.
- Frantar, P. 2005. Pretočni režimi slovenskih rek in njihova spremenljivost. *Ujma* 19: 145-153.
- Frantar, P. 2009. Značilnosti vodnega cikla v Pomurju. *Zbornik 20. Zborovanja slovenskih geografov*. Ljutomer, Murska Sobota: 71-83.
- Frantar, P., Hrvatin, M. 2005. Pretočni režimi v Sloveniji med letoma 1971–2000. *Geografski vestnik* 77–2: 115–127.
- Glaser, R.. 2001. *Klimageschichte Mitteleuropas: 1000 Jahre Wetter, Klima, Katastrophen*. Primus Verlag. Darmstadt: 1-227.
- Gravetter, F. J., Wallnau, L. B. 2008. *Essentials of statistics for the behavioral sciences*. Thomson Wadsworth, Belmont, CA USA: 427-440.
- Globevnik, L. 2007. Hidroekološke lastnosti prostora reke Mure v Sloveniji - stanje, trendi. 1-9.
- Hansen, J., Ruedy, R., Sato, M. in Lo, K. 2010. If it's that warm, how it's so damned cold? *Columbia.edu*, 1-10.
- Hrvatin, M. 1998. Pretočni režimi v Sloveniji. *Geografski zbornik* 38. Ljubljana.
- Hurrell, J. W., Deser, C. 2010. North Atlantic climate variability: The role of the North Atlantic Oscillation. *Journal of Marine System* 79: 231-244.
- Hurrell, J. W., Kushnir, Y., Visbeck, M. 2001. North Atlantic Oscillation. *Science* 291: 603-605.
- Jurko, M., Kobold, M., Mikoš, M. 2009. Statistical analysis of streamflow trends in Slovenia. *Geophysical Research Abstracts*. 11, EGU General Assembly
- Khaled H. Hamed. 2008. Trend detection in hydrologic data: The Mann-Kendall trend test under the scaling hypothesis. *Journal of hydrology*: 350-362.
- Kiehl, J. T., Trenberth, E. 1997. Earth's Annual Global Mean Energy Budget. *Bulletin of American Meteorological Society*, Boulder, Colorado, 78, No. 2: 197-208.
- Kiladis, G. N., Diaz, H. F. 1989. Global Climate Anomalies Associated with Extremes in the Southern Oscillation. *American Meteorological Society, Journal of climate*, 2: 1069-1090.



- Kolbezen, M. 1998. Geografski atlas Slovenije: država v prostoru in času. Kopenske vode. Ljubljana: 94-95.
- Kompare, B. 1991. Modeliranje deževnega odtoka iz urbaniziranih povodji. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, FGG: 459-483.
- Košmelj, K. 2007, Uporabna statistika, druga dopolnjena izdaja. Ljubljana: 162-166.
- Kraner Šumenjak, T. in Šuštar, V. 2011. Parametrični in neparametrični pristop za odkrivanje trenda v časovnih vrstah. *Acta agriculturae Slovenica*, 97: 306-307.
- Kundzewicz, Z. W. in Robson, A. J. 2004. Change detection in hydrological records – a review of the methodology. *Hydrological Sciences-Journal-des Sciences Hydrologiques*, 49(1): 7-18.
- Lopez Bustins, J. A. 2015. El hallazgo de una teleconexión climática en la cuenca del Mediterráneo Occidental. *GeocritiQ*. 121: 1-2.
- Makor, S. 2014. Hidrološki režim vodotoka in analiza trenda. Seminarska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba S. Makor): 1-85.
- Martin Vide, J., Lopez Bustins, J. A. 2005. The Western Mediterranean Oscillation and Rainfall in the Iberian Peninsula. *International Journal of Climatology*, 26: 1455-1475.
- Matičič, B. 1999. Drenažni sistemi v Sloveniji – stanje in vzroki. *Mišičev vodarski dan*: 32-37.
- Matul, N. 2015. Analiza temperaturnega režima vodotokov v Sloveniji. Diplomatska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba N. Matul): 16-17.
- Mitchell, T. 2004. Arctic Oscillation (AO) time series, 1899 - June 2002. Joint Institute for the Study of the Atmosphere and Ocean. University of Washington.
- NOAA I, Climate Monitoring, El Niño/Southern Oscillation (ENSO), Technical Discussion. <http://www.ncdc.noaa.gov/teleconnections/enso/enso-tech.php> (pridobljeno 11. 03. 2016)
- NOAA II, El Niño/Southern Oscillation (ENSO), Historical El Niño/La Niña episodes (1950-present) [http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis\\_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml](http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml) (pridobljeno 14. 03. 2016)
- NOAA III, Climate Monitoring, North Atlantic Oscillation (NAO) <http://www.ncdc.noaa.gov/teleconnections/nao/> in Monitoring and Data, Oceanic & Atmosphere Data, North Hemisphere Teleconnection Patterns, North Atlantic Oscillation (NAO) <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/teledoc/nao.shtml> (pridobljeno 12. 03. 2016)

NOAA IV, Frequently Asked Questions About the Atlantic Multidecadal Oscillation (AMO)

[http://www.aoml.noaa.gov/phod/amo\\_faq.php#faq\\_1](http://www.aoml.noaa.gov/phod/amo_faq.php#faq_1) (pridobljeno 20. 03. 2016)

Ogrin, D. 1998. Geografski atlas Slovenije: država v prostoru in času. Podnebje. Ljubljana: 110-111.

OSS - Open Source System, Science, Solution. Atlantic Multidecadal Oscillation (AMO)

<http://ossfoundation.us/projects/environment/global-warming/atlantic-multidecadal-oscillation-amo#>

[http://gcmd.nasa.gov/records/GCMD\\_NOAA\\_NWS\\_CPC\\_AMO.html](http://gcmd.nasa.gov/records/GCMD_NOAA_NWS_CPC_AMO.html) (pridobljeno 22. 03. 2016)

Ould Cherif Ahmed, A., Yasuda, H., Hattori K., Nagasawa, R. 2008. Analysis of rainfall records (1923-2004) in Atar-Mauritania. *Geofizika*, 25 no. 1: 53-64.

Petrow, T., Zimmer, J., Merz, B. 2009. Changes in the flood hazard in Germany through changing frequency and persistence of circulation patterns. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 9: 1409-1423.

Pfister, C. 1999. *Wetternachhersage: 500 Jahre Klimavariationen und Naturkatastrophen (1496-1995)*. Verlag Paul Haupt. Bern, Stuttgart, Wien: 1-304.

Philandras, C. M., Nastos, P. T., Kapsomenakis, J., Douvis, K. C., Tselioudis, G. in Zerefos, C. S. 2011. Long term precipitation trends and variability within the Mediterranean region. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 11: 3235-3250.

Ramachandra, T. V., Mujumdar, P. P. 2009. Disaster and Development. *Journal of the National institute of Disaster Management*, 3: 1-97.

Rasmusson, E. M. in Carpenter, T. H. 1981. Variations in tropical sea surface temperature and surface wind fields associated with the Southern Oscillation/El Niño. *Monthly weather review*, 110: 354-384.

Ripesi, P., Ciciulla, F., Maimone, F., Pelino, V. 2012. The February 2010 Arctic Oscillation Index and its stratospheric connection. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*. 1-9.

Saravanan, R. in Cang, P. 2000. Interaction between Tropical Atlantic Variability and El Niño-Southern Oscillation. *American Meteorological Society, Journal of Climate*, 13: 2177-2194.

Sherwood Rowland, F. 2007. *Stratospheric Ozone Depletion by Chlorofluorocarbons (Nobel Lecture)*

Sušelj, K., Bergant, K. 2006. Mediterranean Oscillation Index. *Geophysical Research Abstracts*. 8, 02145.

Tramblay, Y., El Adlouni, S., Servat, E. 2013. Trends and variability in extreme precipitation indices over Maghreb countries. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 13: 3235-3248.

Trenberth, K. E., Fasullo, J. T., Kiehl, J. 2009. Earth's Global Energy Budget. American Meteorological Society, 311-323.

Uhan, J. 2007. Trendi velikih in malih pretokov rek v Sloveniji. Ujma 21: 164-166.

Uлага, F. 2002. Trendi spreminjanja pretokov slovenskih rek. Dela 18: 93-114.

Uлага, F., Kobold, M., Frantar, P. 2008a. Analiza časovnih sprememb vodnih količin slovenskih rek. Mišičev vodarski dan 2008: 9-18.

Uлага, F., Kobold, M., Frantar, P. 2008b. Trends of river discharges in Slovenia. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 4 (2008). XXIVth Conference of the Danubian Countries: 1-13.

**PRILOGE**

Priloga A – zgoščenska

Podatki, izračuni, preglednice in grafi so na zgoščenci