

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta
*za gradbeništvo
in geodezijo*



MAGISTRSKO DELO

MAGISTRSKI ŠTUDIJSKI PROGRAM DRUGE STOPNJE VODARSTVO IN OKOLJSKO INŽENIRSTVO

Ljubljana, 2018

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta za
*gradbeništvo in
geodezijo*



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

**MAGISTRSKI ŠTUDIJSKI
PROGRAM DRUGE
STOPNJE VODARSTVO IN
OKOLJSKO INŽENIRSTVO**

Kandidat/-ka:

Mentor/-ica:

Predsednik komisije:

Somentor/-ica:

Član komisije:

STRAN ZA POPRAVKE

Strani z napako	Vrstica z napako	Namesto	Naj bo
------------------------	-------------------------	----------------	---------------

»Ta stran je namenoma prazna.«

BIBLIOGRAFSKO - DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK:	551.577.38(497.4)(043.3)
Avtor:	Lenka Zalokar
Mentor:	izr. prof. dr. Mojca Šraj
Somentor:	asist. dr. Mira Kobold
Naslov:	Izbira sušnega indeksa za razglasitev hidrološke suše površinskih voda v Sloveniji
Tip dokumenta:	Magistrsko delo
Obseg in oprema:	66 str., 9 preg., 42 sl., 2 pril.
Ključne besede:	Suša, hidrološki sušni indeksi, standardizirani padavinski indeks, standardizirani indeks pretoka, sušni indeks pretoka.

Izvleček

Suša predstavlja kompleksen naravni pojav, ki je povezan z razpoložljivostjo vodnih zalog in vpliva na različne ekosisteme. Zaradi njene kompleksnosti jo je težko definirati, kvantificirati ter spremljati. Posebno pozornost smo v magistrski nalogi posvetili hidrološki suši, ki je v primerjavi z meteorološko sušo precej manj raziskana. Tako smo v prvem delu naloge pripravili pregled različnih vrst kazalnikov (indeksov), s pomočjo katerih lahko definiramo hidrološko sušo.

Za študijo hidrološke suše površinskih voda v Sloveniji smo uporabili standardizirani indeks pretoka (SSI) in sušni indeks pretoka (SDI). Oba indeksa smo računali na različnih časovnih skalah, s čimer tudi lažje definiramo začetek, trajanje in intenziteto hidrološke suše. Edini vhodni podatek za izračun omenjenih indeksov predstavljajo podatki o pretokih. Ker je osnovna metoda izračuna obeh indeksov analogna metodologiji izračuna standardiziranega padavinskega indeksa (SPI), smo indekse pretoka za izbrane hidrološke postaje izračunali s pomočjo programskih orodij SPI in DrinC, ki sta sicer namenjena izračunu padavinskega indeksa.

V zadnjem delu naloge smo analizirali rezultate izračunanih indeksov in naredili primerjavo SDI indeksa izračunanega z dvema različnima porazdelitvama, in sicer z gama in logaritemsko normalno porazdelitveno funkcijo. Pri primerjavi indeksov SSI in SDI smo ugotovili, da podajata enake rezultate, zato smo v nadaljevanju analizirali le SSI. Ugotovili smo, da je variabilnost indeksa večja na krajših časovnih skalah kot pa na daljših. Na izbranih hidroloških postajah v Sloveniji, smo prikazali prostorsko porazdelitev vrednosti indeksov za tipično mokro (1965) in suho leto (2003). Rezultate indeksa za suho leto 2003 smo v nadaljevanju z uporabo programskega orodja Orange analizirali tudi s pomočjo t.i. kart jakosti. Za izbrane hidrološke postaje smo dodatno določili število hudih in ekstremnih suš ter postaje razvrstili v skupine glede na podobnost pojavljanja suš s pomočjo metode hierarhičnega razvrščanja. Ugotovili smo, da suša ne zajame vseh območij Slovenije enakomerno, temveč gre za regionalen pojav.

BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

UDC: 551.577.38(497.4)(043.3)
Author: Lenka Zalokar
Supervisor: Assoc. Prof. Mojca Šraj, PhD.
Cosupervisor: Assist. Mira Kobold, PhD.
Title: Choice of a drought index for the announcement of hydrological drought of surface waters in Slovenia
Document type: Master Thesis
Scope and tools: 66 p., 9 tab., 42 fig., 2 ann.
Keywords: Drought, hydrological drought indices, standardized precipitation index, standardized streamflow index, streamflow drought index.

Abstract

Drought is a complex natural hazard, connected with water availability, that affects different ecosystems. Because of its complexity it is hard to define, qualify and monitor. In this master thesis, special attention was given to the hydrological drought, which is less investigated compared to the meteorological drought. In the first part of the master thesis, we did the overview of different indicators (indices) with which we can define hydrological drought.

For study of hydrological drought on surface waters in Slovenia, we used standardized streamflow index (SSI) and streamflow drought index (SDI). We calculated both drought indices on different time scales so it is easier to define the beginning, duration and intensity of hydrological drought. The only input data for the calculation of both indices are time series data of discharges. Because the basic method of calculation of both indices is analogic to the method of calculation of standardized precipitation index (SPI), we used SPI and DrinC software to calculate indices for chosen hydrological stations.

In the final part of the thesis, we analysed results of calculated indices and made comparison of SDI index calculated with two different distributions, namely gama and log normal distribution. Comparison of SSI and SDI indices showed that both methods gave equal results, so further analyses, were made only for SSI index. We discovered that the variability of SSI is higher on longer time scales than on shorter ones. We presented spatial distribution of indices for a typically wet (1965) and a dry year (2003) for chosen hydrological stations in Slovenia. Furthermore, we analysed index results for a dry year of 2003 with Orange software, using heatmaps. For chosen hydrological stations, we defined the number of severe and extreme droughts. We sorted the hydrological stations into groups by similarity of drought events using hierarchical clustering method. We discovered that drought doesn't affect all regions in Slovenia evenly, but is rather a regional phenomenon.

ZAHVALA

Za pomoč pri izdelavi magistrskega dela se zahvaljujem mentorici doc. dr. Mojci Šraj ter somentorici dr. Miri Kobold.

Zahvaljujem se Agenciji RS za okolje za posredovanje podatkov in vso pomoč pri magistrskem delu.

Zahvalila bi se tudi družini, prijateljem ter sošolkam in sošolcem za vso podporo, spodbudo in potrpežljivost v času študija.

KAZALO VSEBINE

STRAN ZA POPRAVKE.....	I
BIBLIOGRAFSKO - DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK	III
BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT	IV
ZAHVALA.....	V
1 UVOD.....	1
2 VRSTE IN DEFINICIJE SUŠ.....	3
3 OBRAVNAVA HIDROLOŠKE SUŠE	5
3.1 Kazalniki nizkih pretokov	7
3.1.1 Percentili iz krivulje trajanja pretokov	7
3.1.2 Najmanjši letni (srednji dnevni) pretok	8
3.1.3 Deficit pretoka	9
3.2 Hidrološki sušni indeksi	10
3.2.1 Opis hidroloških sušnih indeksov	12
3.2.2 Vhodni podatki za izračun hidroloških sušnih indeksov	19
3.2.3 Prednosti in slabosti posameznih indeksov	20
3.2.4 Vrednosti posameznih indeksov za opis stanja (jakosti) suše	22
4 PODATKI IN METODE.....	25
4.1 Podatki.....	25
4.2 SPI/SSI metoda.....	26
4.3 Statistična metoda razvrščanja.....	29
4.4 Programsko orodje DrinC.....	30
4.5 Programsko orodje SPI.....	32
4.6 Programsko orodje R.....	33
4.7 Programsko orodje Orange	34
4.8 Programsko orodje SAGA GIS	35
5 REZULTATI	36
5.1 Standardizirani indeks pretoka (SSI).....	36
5.2 Število hudih in ekstremnih suš.....	38
6 ANALIZA IN RAZPRAVA.....	40
6.1 Primerjava mokrega in suhega leta.....	40
6.1.1 1-mesečni SSI indeks.....	40
6.1.2 3-mesečni SSI indeks.....	41

6.1.3	6-mesečni SSI indeks	42
6.1.4	12-mesečni SSI indeks	43
6.1.5	24-mesečni SSI indeks	44
6.1.6	Analiza SSI s pomočjo kart jakosti	45
6.2	Primerjava rezultatov SSI pridobljenih s programskim orodjem R in SPI	47
6.3	Primerjava izračuna SDI z dvema različnima porazdelitvenima funkcijama s programskim orodjem DrinC	50
6.4	Analiza števila hudih in ekstremnih suš	53
7	ZAKLJUČKI.....	60
VIRI.....		61

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Hidrološki sušni indeksi- terminologija (povzeto po WMO in GWP, 2016; Zargar in sod., 2011)	11
Preglednica 2: Vhodni podatki za izračun posameznih hidroloških sušnih indeksov (povzeto po WMO in GWP, 2016).....	20
Preglednica 3: Prednosti in slabosti posameznih hidroloških sušnih indeksov (povzeto po WMO in GWP, 2016; Zargar in sod., 2011).....	22
Preglednica 4: Klasifikacija suše za pojav sušnega dogodka pri PHDI (povzeto po Hayes in sod., 2007).....	23
Preglednica 5: Klasifikacija suše ter pripadajoča verjetnost za pojav sušnega dogodka pri SPI (povzeto po Ceglar in Kajfež-Bogataj, 2008).....	23
Preglednica 6: Klasifikacija suše ter pripadajoča verjetnost za pojav sušnega dogodka pri SDI (povzeto po Nalbantis, 2008)	24
Preglednica 7: Klasifikacija suše ter pripadajoča verjetnost za pojav sušnega dogodka pri SPI (povzeto po Ceglar in Kajfež-Bogataj, 2008; Šebenik, 2012).....	28
Preglednica 8: Vhodni podatki za izračun posameznih indeksov (povzeto po Tigkas in sod., 2015) ...	30
Preglednica 9: Skupno število dogodkov kadar je SSI indeks manjši od vrednosti -2 in -1,5	38

KAZALO SLIK

Slika 1: Vrste suš (povzeto po GWP CEE, 2015).....	3
Slika 2: Zaporedje vplivov na nastanek suše (povzeto po NDMC, 2017; Kobold, 2003/2004)	4
Slika 3: Prikaz določitve kazalcev malih pretokov (povzeto po Potočnik, 2014).....	6
Slika 4: Primer krivulje trajanja pretokov za reko Bolsko v Dolenji vasi za obdobje 2000-2010 (povzeto po Potočnik, 2014)	7
Slika 5: Prikaz deficita pretoka in njegove splošne značilnosti (povzeto po Fleig, 2004).....	9
Slika 6: Primer prikaza Palmerjevega sušnega indeksa (PDSI) za ZDA za december 2017 (NOAA, 2017)	13
Slika 7: Primer prikaza Palmerjevega hidrološkega sušnega indeksa (PHDI) za ZDA za december 2017 (NOAA, 2017).....	13
Slika 8: Primer indeksa površinske zaloge vode (SWSI) na zemljevidu za oktober 2017 (Monatana data Collection Office, 2017)	18
Slika 9: Izbrane hidrološke postaje za izračun hidroloških sušnih indeksov (ARSO, 2018)	26
Slika 10: Primer pretvorbe vsote padavin v vrednost indeksa SPI za trimesečno vsoto padavin (januar, februar, marec) za Ljubljano (povzeto po Šebenik, 2012)	28
Slika 11: Programsko orodje DrinC	31
Slika 12: Izračunane vrednosti SSI indeksa na petih različnih časovnih skalah za hidrološko postajo Gornja Radgona	32
Slika 13: Primer prikaza zaslona urejevalnika RStudio	34
Slika 14: Programsko orodje Orange (Orange, 2018)	35
Slika 15: Grafični prikaz 1-, 3-, 6-, 12- in 24-mesečnega SSI indeksa izračunanega s programom R za postajo Gornja Radgona	36
Slika 16: Grafični prikaz 1-, 3-, 6-, 12- in 24-mesečnega SSI indeksa izračunanega s programom R za postajo Suha	38
Slika 17: Prostorski prikaz 1-mesečnega SSI za leto 1965 (mokro leto)	40
Slika 18: Prostorski prikaz 1-mesečnega SSI za leto 2003 (suho leto)	41
Slika 19: Prostorski prikaz 3-mesečnega SSI za leto 1965 (mokro leto)	42
Slika 20: Prostorski prikaz 3-mesečnega SSI za leto 2003 (suho leto)	42
Slika 21: Prostorski prikaz 6-mesečnega SSI za leto 1965 (mokro leto)	43
Slika 22: Prostorski prikaz 6-mesečnega SSI za leto 2003 (suho leto)	43
Slika 23: Prostorski prikaz primerjave 12-mesečnega SSI za leto 1965 (mokro leto) in 2003 (suho leto)	44
Slika 24: Prostorski prikaz primerjave 24-mesečnega SSI za leto 1965 (mokro leto) in 2003 (suho leto)	44
Slika 25: Karte jakosti SSI za leto 2003 (suho leto).....	46
Slika 26: Primerjava 1-mesečnega SSI izračunanega z SPI in R programom ter standardiziranega pretoka za postajo Gornja Radgona	47
Slika 27: Primerjava 3-mesečnega SSI izračunanega z SPI in R programom ter standardiziranega pretoka za postajo Gornja Radgona	48
Slika 28: Primerjava 6-mesečnega SSI izračunanega z SPI in R programom ter standardiziranega pretoka za postajo Gornja Radgona	48
Slika 29: Primerjava 120-mesečnega SSI izračunanega z SPI in R programom ter standardiziranega pretoka za postajo Gornja Radgona	49
Slika 30: Primerjava 24-mesečnega SSI izračunanega z SPI in R programom ter standardiziranega pretoka za postajo Gornja Radgona	49

Slika 31: Primerjava 1-mesečnega SDI izračunanega z gama in logaritemsko normalno funkcijo z uporabo programa DrinC za postajo Gornja Radgona	50
Slika 32: Primerjava 12-mesečnega SDI izračunanega z gama in logaritemsko normalno funkcijo z uporabo programa DrinC za postajo Gornja Radgona	51
Slika 33: Primerjava 3-mesečnega SDI izračunanega z gama in logaritemsko normalno funkcijo z uporabo programa DrinC za postajo Gornja Radgona	51
Slika 34: Primerjava 6-mesečnega SDI izračunanega z gama in logaritemsko normalno funkcijo z uporabo programa DrinC za postajo Gornja Radgona	52
Slika 35: Primerjava 12-mesečnega SDI in SSI izračunanega z gama verjetnostno porazdelitveno funkcijo z uporabo programa DrinC za postajo Gornja Radgona	52
Slika 36: Primerjava 12-mesečnega SDI in SSI izračunanega z logaritemsko normalno verjetnostno porazdelitveno funkcijo z uporabo programa DrinC za postajo Gornja Radgona.....	53
Slika 37: Dendogram hierarhičnega razvrščanja SSI manjšega od -2 (ekstremna suša) na 1-mesečni časovni skali ter prostorski prikaz razvrstitve na karti Slovenije	54
Slika 38: Dendogram hierarhičnega razvrščanja SSI manjšega od -1.5 (huda suša) na 1-mesečni časovni skali ter prostorski prikaz razvrstitve na karti Slovenije	55
Slika 39: Dendogram hierarhičnega razvrščanja SSI manjšega od -2 (ekstremna suša) na 6-mesečni časovni skali ter prostorski prikaz razvrstitve na karti Slovenije	56
Slika 40: Dendogram hierarhičnega razvrščanja SSI manjšega od -1.5 (huda suša) na 6-mesečni časovni skali ter prostorski prikaz razvrstitve na karti Slovenije	57
Slika 41: Dendogram hierarhičnega razvrščanja SSI manjšega od -2 (ekstremna suša) na 12-mesečni časovni skali ter prostorski prikaz razvrstitve na karti Slovenije	58
Slika 42: Dendogram hierarhičnega razvrščanja SSI manjšega od -1.5 (huda suša) na 12-mesečni časovni skali ter prostorski prikaz razvrstitve na karti Slovenije	59

1 UVOD

Kljub temu, da Slovenija predstavlja vodnato državo, je vse bolj ranljiva za suše, ki so v zadnjih letih vse bolj pogoste. V zadnjih dvajsetih letih je bilo zabeleženih osem suš, ki so povzročile škodo nacionalnih razsežnosti. Mednje spadata tudi suši v letih 2003 in 2013, ki sodita med najhujši suši v Sloveniji (Sušnik in Gregorič, 2017). Poleg kmetijske suše, ki je v Sloveniji postala stalna spremljevalka kmetijske pridelave pa se soočamo tudi s hidrološko sušo, ki je manj znana ter se posledic še ne zavedamo popolnoma. Od leta 2000 naprej velja za slovenske vodotoke hidrološko sušno obdobje, za katerega je značilno, da imajo vodotoki dolga nizkovodna stanja, ki nastanejo kot posledica pomanjkanja padavin. Predvsem velja to za leto 2003, ko je bila količina padavin v povprečju pod povprečnimi mesečnimi vrednostmi referenčnega obdobja od leta 1971 do 2000 (Kobold in Sušnik, 2003).

Suša je naravni pojav, katere značilnosti se razlikujejo od regije do regije (NDMC, 2017; Bhuiyan, 2004; Ceglar in Kajfež-Bogataj, 2008; Kobold, 2003/2004). Suša nastane zaradi pomanjkanja padavin v daljšem časovnem obdobju, kar vodi do pomanjkanja vode za okolje in ljudi v katerikoli klimatski coni na svetu. Na pojav suše vplivajo tudi številni drugi dejavniki, kot so kamninska podlaga, relief, pedološke in hidrološke značilnosti, itd. (GWP CEE, 2015). Definicija suše po hidrološkem izrazu je "daljše obdobje brez padavin ali izrazito pomanjkanje padavin" (Mikoš in sod., 2002, str. 84). Zaradi svojega počasnega delovanja suša omogoča kakovosten monitoring, kjer lahko spremljamo spremembe padavin, temperature ter splošno stanje površinskih voda ter zaloge podzemne vode v neki regiji, vendar je težko določiti začetek in konec pojava sušnega obdobja. Pojav suše lahko opišemo glede na intenziteto, lokacijo, trajanje in čas nastopa. Suša lahko s svojimi učinki delovanja negativno vpliva na kmetijstvo, proizvodnjo hidroenergije in industrijo, zdravje ljudi in živali ter varnost preživetja (NDMC, 2017).

Zaradi področij, na katere vpliva suša, geografske raznolikosti pojavljanja ter zahtev po zalogah vode, ki jih določamo sami, suše ne moremo obravnavati zgolj kot fizični fenomen, zato jo običajno opredelimo konceptualno in operativno (NDMC, 2017). Konceptualne definicije pomagajo ljudem razumeti splošne značilnosti suše. Operativne definicije pa pomagajo prepoznati začetek pojava, intenziteto, pogostost pojavljanja ter konec suše. Ker nobena operativna definicija suše ne deluje v vseh možnih okoliščinah, nastanejo večje težave pri prepoznavanju suše ter načrtovanju v primerjavi z drugimi naravnimi nesrečami. Za določitev začetka suše operativne definicije določajo stopnjo odstopanja od povprečja padavin ali katerekoli druge podnebne spremenljivke v določenem časovnem obdobju. To se po navadi naredi tako, da se sedanje stanje primerja z zgodovinskim povprečjem, pogosto na podlagi 30- letnega obdobja podatkov. Prag, ki je opredeljen kot začetek suše (npr. 75 % povprečnih padavin v določenem časovnem obdobju), se po navadi določi poljubno, in ne na podlagi natančnega razmerja s specifičnimi vplivi (NDMC, 2017). Operativne definicije suše se lahko uporabijo za analizo pogostosti, intenzitete in trajanja suše za določeno obdobje. Za to bi bili potrebni urni, dnevni, mesečni vremenski podatki ali drugi podatki o vplivu suše (npr. pridelki), odvisno od uporabe opredelitve. Razvijanje klimatologije suše v regiji omogoča boljše razumevanje njenih značilnosti in verjetnost ponovitve, zato so te informacije zelo pomembne in koristne pri razvoju ukrepov ter načrtov pripravljenosti na sušo (NDMC, 2017).

V Sloveniji so bile že narejene analize z različnimi kazalniki in indeksi za opredelitev suše (Ceglar in Kajfež-Bogataj, 2008; Dornik, 2016; Potočnik, 2014; Šebenik, 2012; Sušnik in Gregorič, 2017). V analizah so bili uporabljeni predvsem indeksi za opredelitev meteorološke suše, v večini primerov so avtorji uporabljali Standardizirani padavinski indeks (SPI). Analiz za opredelitev hidrološke suše v

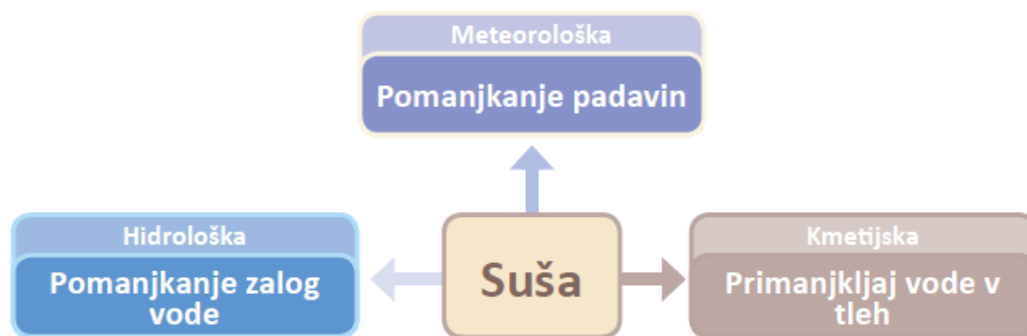
Sloveniji še ni zaslediti, z izjemo poskusa Šebenikove (2012) s standardiziranim indeksom pretoka za eno hidrološko postajo.

Zaradi neraziskanosti področja uporabe hidroloških sušnih indeksov v Sloveniji smo v magistrski nalogi zbrali hidrološke sušne indekse, ki se uporabljajo v praksi drugod po svetu. Podane so osnovne značilnosti indeksov ter osnove za izračun le teh za pomoč pri pristopu k upravljanju s sušo. Omejili smo se na hidrološke sušne indekse za površinske vode ter jih z uporabo različnih programskih orodij izračunali ter grafično in prostorsko prikazali.

Cilj magistrske naloge je analizirati rezultate hidroloških sušnih indeksov, ki smo jih izračunali z različnimi programskimi orodji. Za analizo smo izbrali podatke o pretokih na hidroloških postajah iz mreže merilnih mest državnega hidrološkega monitoringa. Na podlagi podatkov, ki smo jih pridobili na Agenciji RS za okolje ter analiz izračunanih vrednosti indeksov smo izdelali različne grafične in tabelarične prikaze pojavljanja hidroloških suš v Sloveniji, ki prikazujejo tako prostorsko kot časovno spremenljivost.

2 VRSTE IN DEFINICIJE SUŠ

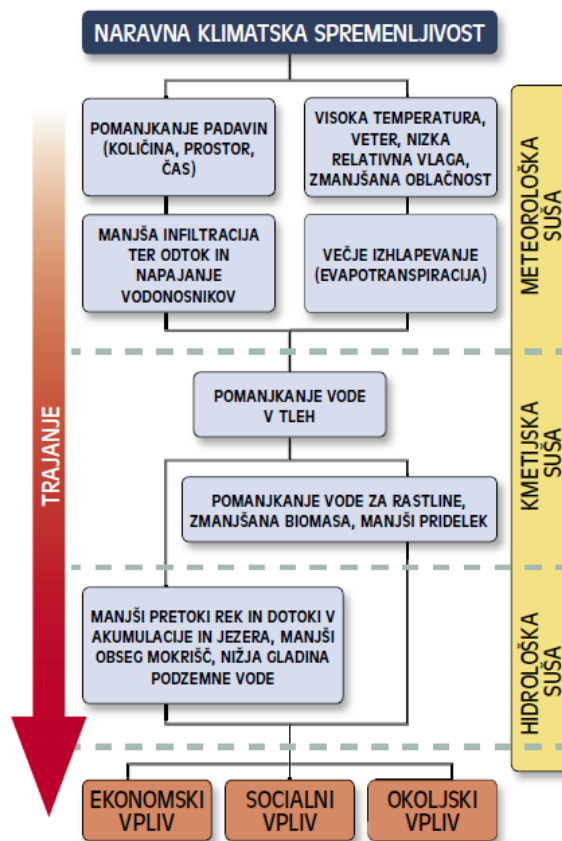
Glede na nastanek govorimo o različnih vrstah suše: meteorološka, kmetijska, hidrološka ter socialno-ekonomska suša (NDMC, 2017; Barker in sod, 2016; Castano, 2012; Ceglar in Kajfež-Bogataj, 2008; Kobold, 2003/2004; Nalbantis, 2008; GWP CEE, 2015; Šebenik, 2012; Potočnik, 2014; Magyar, 2014) (slika 1).



Slika 1: Vrste suš (povzeto po GWP CEE, 2015)

Pri meteorološki suši je značilno pomanjkanje padavin (slika 1). Govorimo o odstopanju padavin od dolgoletnega povprečja, ki pa je povezano z vetrom, nizko relativno vlago ter nadpovprečno visokimi temperaturami zraka. Vse to vodi do večjega izhlapevanje, manjše infiltracije, odtoka in napajanja vodonosnikov (Kobold, 2003/2004, str. 103). Po navadi se meteorološka suša razširi na veliko območje ter traja precejšen čas (Van Loon, 2015). Ker se atmosferski pogoji, ki povzročajo padavine razlikujejo od regije do regije je potrebno meteorološko sušo obravnavati regionalno.

Kmetijska suša je kombinacija meteorološke in hidrološke suše. Nanaša se na pomanjkanje razpoložljive vode za rast rastlin in je ocenjena kot nezadostna vlaga v tleh, ki bi nadomestila izgube nastale zaradi evapotranspiracije (slika 2). Posledica kmetijske suše je manjši pridelek in s tem donos (Keyantash in Dracup, 2004).



Slika 2: Zaporedje vplivov na nastanek suše (povzeto po NDMC, 2017; Kobold, 2003/2004)

Hidrološka suša definira dolgotrajen proces obdobjnega pomanjkanja padavin (vključno s snegom) za napajanje podzemnih ter površinskih voda. Je povezana z zalogami vode v tleh ter vodnimi viri ter se odraža v manjših pretokih rek in dotokih v akumulacije in jezera ter nižjih gladinah podzemnih voda, kot je vidno na sliki 2. Hidrološka suša za kmetijsko in meteorološko sušo zaostaja in je potrebna več časa, da se pomanjkanje padavin pokaže v komponentah hidrološkega sistema (gladina podzemne vode, pretok vode, vlaga v tleh) (Kobold, 2003/2004, str. 103).

Socialno-ekonomska suša je povezana z vplivi vseh zgoraj omenjenih vrst suš. Ta vrsta suše se lahko nanaša na okvare sistemov vodnih virov za izpolnjevanje potreb po vodi in na ekološke posledice suše ali posledice suše povezane z zdravjem (Van Loon, 2015).

V Sloveniji je pojavljanje suše prostorsko in časovno zelo raznovrstno, saj se poleg suše pojavljajo tudi mokra leta s presežki vode. Vzrok za nastanek suše je predvsem neenakomerna razporeditev padavin, ki se odraža v kmetijstvu in razpoložljivih količinah podzemnih in površinskih voda. Po napovedih podnebnih sprememb za Evropo, ki kažejo na spremembo vodne bilance, se bo povečalo tveganje za poletne suše na Mediteranu ter v južni in osrednji Evropi, kamor spada tudi Slovenija (GWP CEE, 2015).

3 OBRAVNAVA HIDROLOŠKE SUŠE

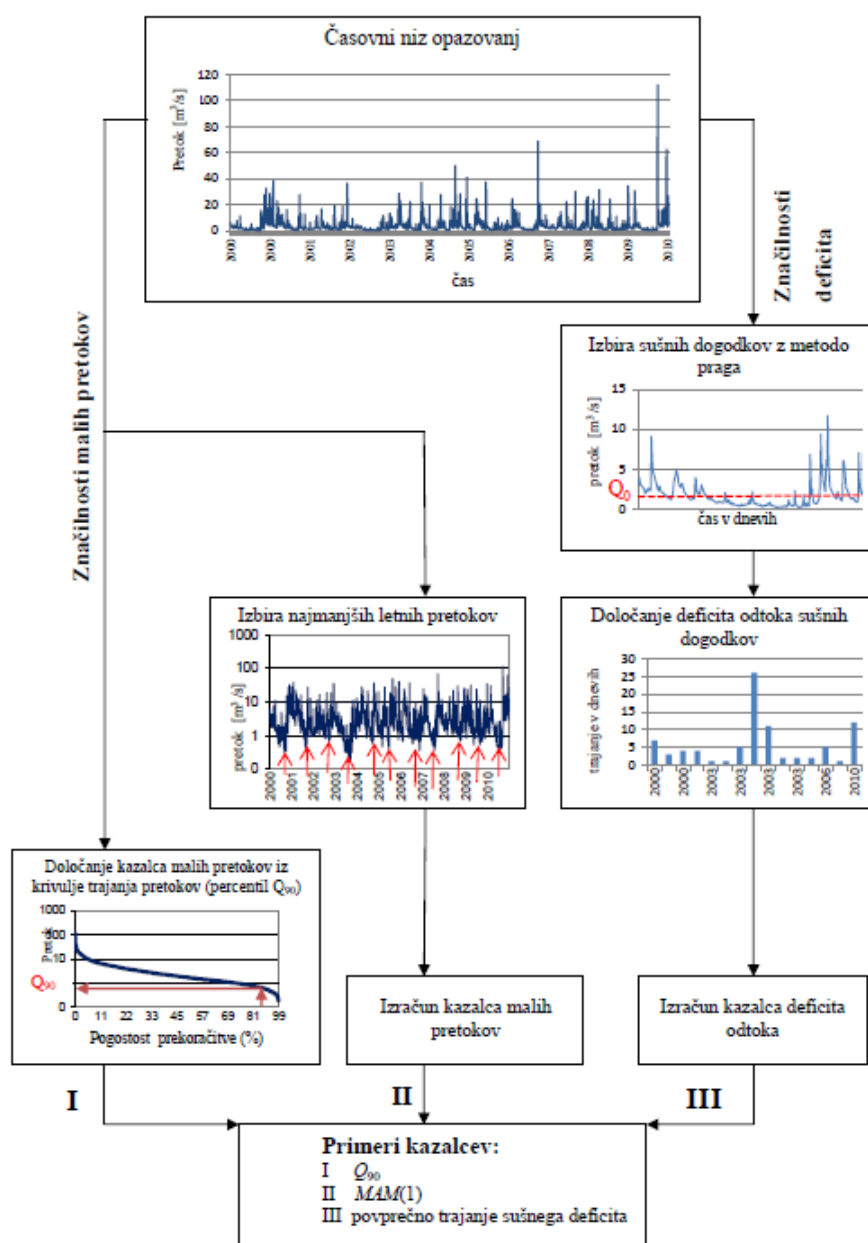
Kadar nastopi hidrološka suša, so pretoki zelo nizki ali celo enaki nič. Sušno obnašanje posameznih vodotokov lahko opišemo s kazalniki nizkih pretokov. Kazalniki nizkih pretokov opisujejo sušo na prej definiranih časovnih obdobjih. Ne zagotavljajo pa celotnega opisa pojava hidrološke suše ter ne podajajo odgovora na vprašanje glede začetka in konca suše, njenega trajanja ter obsega (Tallaksen in Van Lanen, 2004).

Izraza nizki pretoki in suša sta v hidrologiji povezana vendar pa nista enakovredna. Suša predstavlja bolj splošen izraz, ker ima različne pojavne oblike, medtem ko se nizki pretoki lahko pojavijo v različnih obdobjih in trajajo različno dolgo. Suša je povezana z zalogami vode ter vodnimi viri ter s tem predstavlja značilnost daljšega obdobja (lahko tudi več let) (Kobold, 2003/2004, str. 103).

Izraz "obdobje nizkih pretokov" se po navadi nanaša na režim toka, ki predstavlja povprečni letni cikel pretoka ter se ga uporablja za opis normalnih letnih nihanj pretoka. Nizki pretoki so sezonski pojavi ter predstavljajo pomemben sestavni del pretočnega režima katerekoli reke (Potočnik, 2014). Poleg nizkih pretokov se pojavljajo tudi obdobja visokih pretokov. V odvisnosti od regionalnega podnebja pa se lahko pojavi eno ali več obdobij nizkih ter visokih pretokov. Kot primer lahko podamo ekvatorialno podnebje, kjer sta značilni dve mokri ter dve suhi obdobji, katerim ustrezata dve obdobji nizkih ter dve obdobji visokih pretokov, medtem ko monsunsko podnebje povzroči le eno obdobje nizkih pretokov in eno obdobje visokih pretokov (Fleig, 2004).

Suše na drugi strani ni nujno, da predstavljajo sezonske značilnosti režima pretoka. Hidrološke suše površinskih voda so daljša obdobja z neobičajno nizkimi pretoki, ki se ne pojavijo vsako leto. Sušo opisujemo z vrednostmi nizkih pretokov (Potočnik, 2014). Na primer v sredozemskih oziroma mediteranskih regijah so poletni meseci od junija do oktobra. Takrat se lahko pojavi obdobje nizkih pretokov. Le v suhih in vročih poletjih pa bi pretoki lahko izkazovali sušo. Torej lahko mine več let brez pojava sušnih dogodkov, lahko pa pride leto, ko se pojavi eden ali več sušnih dogodkov. Obstajajo suše, ki lahko trajajo le nekaj dni ter suše, ki lahko trajajo nekaj mesecev ali let. Običajno mora obdobje z neobičajno nizkimi pretoki trajati neko določeno obdobje, da ga lahko obravnavamo kot sušo (Fleig, 2004).

Študije suše lahko temeljijo na številnih konceptih. Slika 3 predstavlja dva različna načina pristopa k ovrednotenju suše za primer pretokov.



Slika 3: Prikaz določitve kazalcev malih pretokov (povzeto po Potočnik, 2014)

Prvi način je preučevanje suše na podlagi lastnosti nizkih pretokov, kot na primer percentili iz krivulje trajanja pretokov (stolpec I), ki opisujejo nizke pretoke kot del režima ali časovna serija letnih minimalnih pretokov za n -ti dan (stolpec II) - srednji letni minimum (MAM). Za preučevanje suše se izberejo ekstremne vrednosti nizkih pretokov. Ti pristopi se uporabljajo za preučevanje in opisovanje suše glede na eno izmed statističnih lastnosti, kot je npr. magnituda izražena s pretokom (Tallaksen in Van Lanen, 2004).

Drugi način za preučevanje suše je pregled serije pretokov, kot časovno odvisnega procesa ter ugotavljanje celotnega obdobja trajanja suše od prvega do zadnjega dne. Sušna obdobja lahko definiramo kot pretok, ki pada pod določen prag Q_0 . Pod tem pragom je pretok v deficitu, ki ga lahko

opišemo z različnimi značilnostmi, kot so intenziteta, trajanje, čas nastopa ter prostorski obseg. Za računanje deficitnih značilnosti potrebujemo kazalnike nizkih pretokov iz stolpca I in II (slika 3) (Potočnik, 2014).

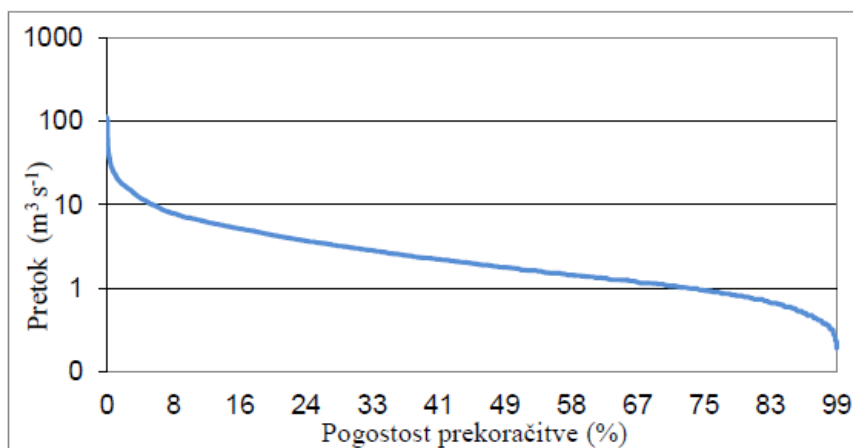
Izbira ustreznega koncepta za preučevanje suše je odvisna tudi od časovne razpoložljivosti podatkov. Pri izbiri ustrezne časovne ločljivosti podatkov je potrebno upoštevati trajanje preučevanih sušnih dogodkov. V polsušnem podnebju se lahko suho obdobje šteje kot suša, če obdobje traja več kot leto dni, medtem ko v vlažnem podnebju nekateri potoki morda nikoli ne bodo izkusili večletne suše. V prvem primeru bi za statistični opis dolgih večletnih suš bili najprimernejši letni podatki, medtem ko v drugem primeru letni podatki morda ne bi prikazali niti najhujših suš (Fleig, 2004). Na primer, če nenavadnemu suhemu poletju sledi nenevadno mokra zima, srednji letni pretok morda ne kaže nobenega odstopanja od normalnega pretoka. Problem pri letnih podatkih je, da ni mogoče identificirati časa pojava suše ter s tem končnih učinkov delovanja suše, na primer ni mogoče ugotoviti ali je prišlo do suše med rastno sezono ali ne. Kot časovni interval uporabljen za študije vpliva suše na kmetijstvo, oskrbo z vodo ter nivo podtalnice je priporočljiv mesec. Mesečni podatki vsebujejo bolj podrobne informacije kot letni podatki, hkrati pa lahko izločijo manj pomembne dogodke (manjše suše), ki bi jih zaznali, če bi uporabili dnevne podatke (Fleig, 2004).

3.1 Kazalniki nizkih pretokov

Pri definiranju hidrološke suše vodotokov se uporabljajo različni pristopi, ki načeloma temeljijo na analizah časovnih nizov podatkov dnevnih vrednosti pretokov (Kobold, 2003/2004).

3.1.1 Percentili iz krivulje trajanja pretokov

Krivulja trajanja pretokov voda (ang. *flow duration curve*, FDC) je "krivulja, ki kaže odstotek časa, v katerem je tok vode v strugi enak ali večji od izbrane velikosti ne glede na časovno zaporedje opazovanj" (Mikoš in sod., 2002, str. 107).



Slika 4: Primer krivulje trajanja pretokov za reko Bolsko v Dolenji vasi za obdobje 2000-2010 (povzeto po Potočnik, 2014)

Krivulja trajanja pretokov predstavlja eno izmed najbolj informativnih metod prikaza celotnega razpona pretoka reke, od nizkih pretokov pa vse do poplavnih dogodkov (Smakhtin, 2001).

Krivulja trajanja pretokov opisuje spremenljivost pretoka reke in omogoča enostavno vizualno primerjavo spremenljivosti pretokov vodotoka z uporabo grafa, na katerem so standardizirane krivulje trajanj pretokov (slika 4). Vrednost pretoka, ki je presežena v x odstotkih časa se imenuje x -ti percentil krivulje trajanja pretokov. Percentili predstavljajo obliko prekoračitve pretokov, ki prikazuje razmerje časa, v katerem je nek določen srednji dnevni pretok prekoračen glede na celoten časovni niz podatkov (Potočnik, 2014). Najpogosteje uporabljeni percentili kot kazalniki nizkih pretokov so 95-, 90- in 70-percentil, to je Q_{95} , Q_{90} in Q_{70} (Fleig, 2004). Na primer 95-percentil oziroma Q_{95} je pretok, ki je presežen 95 % časa glede na cel niz podatkov. Za stalne pretoke rek se največkrat uporabljata Q_{90} in Q_{95} . Prav tako so ti percentili pogosto izbrani kot mejne vrednosti pri definicijah suše. Krivulja trajanja pretokov se lahko izračuna za katerikoli časovni interval (WMO, 2009).

Krivulja trajanja pretokov se izračuna oziroma konstruira tako, da podatke o vrednostih pretoka razvrstimo v ranžirno vrsto (rangiranje podatkov dnevnega pretoka), kjer je največja vrednost pretoka prva, ostale pa se razvrstijo po padajočem vrstnem redu do i . Nato sledi izračun porazdelitvene funkcije (PF) za vsako od vrednosti. Funkcija prikazuje razmerje med mestom v ranžirni vrsti ter številom vseh podatkov o izmerjenih pretokih (Petek, 2014):

$$PF_{Qi} = \frac{i}{N}, \quad (1)$$

kjer N predstavlja skupno število vrednosti.

Časovna dolžina podatkov, potrebnih za določitev krivulje trajanja pretokov, je odvisna od naravnih spremenljivosti vodotoka. V zmernih podnebjih je priporočljiva uporaba 10 -letnih zaporednih nizov podatkov, saj več kot je let-teh, večja je zanesljivost krivulje trajanja pretokov. Krivuljo trajanja pretokov prikazujemo na grafu, kjer je na abscisni osi podana porazdelitvena funkcija v odstotkih, na ordinatni osi pa je podan pretok (m^3/s). Pretok podajamo v logaritmičnem merilu za lažjo čitljivost krivulje (WMO, 2009).

3.1.2 Najmanjši letni (srednji dnevni) pretok

Najmanjši letni (dnevni) pretok (ang. *annual minimum n-day discharge*, AM(n-day)) predstavlja najmanjši povprečni pretok n zaporednih dni v letu. Najbolj pogosto uporabljeni minimumi so za obdobja 1, 7, 10, 30 in 90 dni. Najmanjši letni (dnevni) pretok se zlahka določi s filtriranjem nizov podatkov o dnevni pretokih, kjer se določi minimum podatkov (Fleig, 2004). Pogosto uporabljen kazalnik nizkih pretokov, to je najmanjši letni (srednji dnevni) pretok (ang. *mean annual minimum n-day discharge*, MAM(n-day)) se oceni iz podatkov o dnevni pretokih, kjer izločimo najmanjši vsakoletni pretok in izračunamo srednje vrednosti vseh minimalnih letnih vrednosti (Petek, 2014). Najpogosteje uporabljen kazalnik nizkih pretokov v Združenih državah je MAM(7)₁₀, to je 10-letni 7 -dnevni minimalni pretok (Potočnik, 2014).

3.1.3 Deficit pretoka

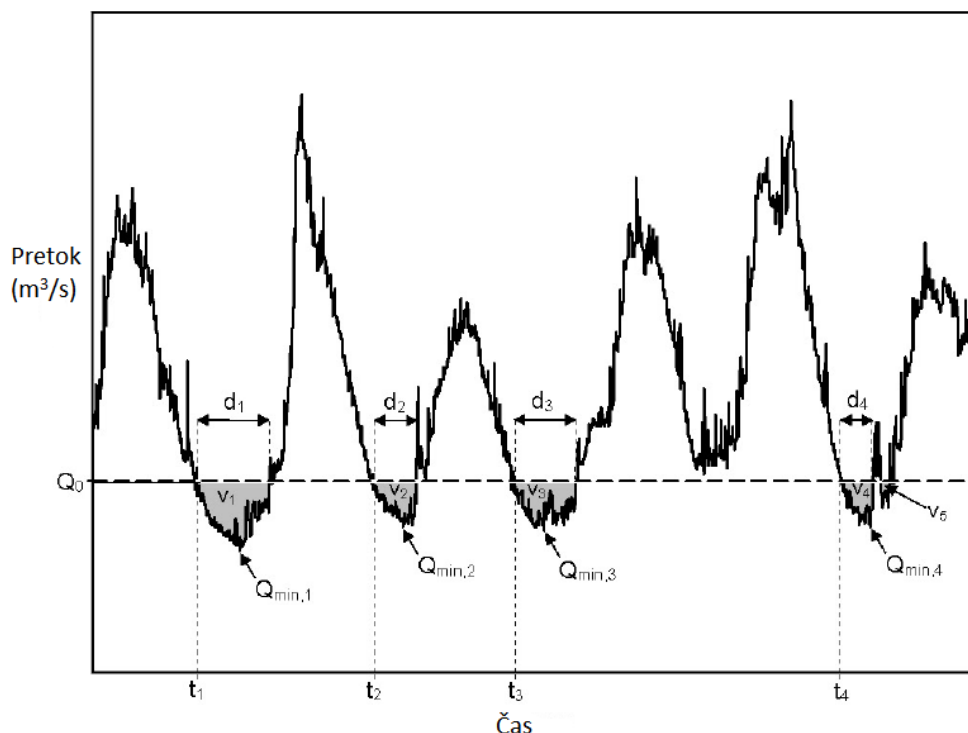
Deficit pretoka predstavlja obdobje, ko ima pretok v vodotoku vrednost pod neko določeno mejo, ki definira sušo ali kritični deficit pretoka. Za določitev in definiranje deficita obstajata dve glavni metodi: metoda mejne vrednosti oziroma metoda praga (ang. *threshold level method*) ter algoritem zaporednih konic (ang. *sequent peak algorithm*) (WMO, 2009).

Metoda mejne vrednosti oziroma metoda praga

Metoda praga Q_0 se uporablja za določitev dejstva ali je pretok v vodotoku v deficitu. Deficit se začne kadar je pretok pod mejno vrednostjo, in konča, kadar je nad njo. Tako se lahko določi začetek ter konec obdobja deficita (WMO, 2009). Metoda praga omogoča osnovo za ovrednotenje regionalnih suš ter se lahko uporablja pri analizah nizkih pretokov na osnovi podatkov dnevni vrednosti pretokov (Kobold, 2003/2004).

V povezavi z vodnim deficitom lahko določimo več karakteristik oziroma kazalnikov (WMO, 2009) (slika 5):

- trajanje (d_i), ki predstavlja obdobje kadar je pretok pod mejno vrednostjo,
- volumen oziroma jakost (v_i),
- intenziteta oziroma sušna magnituda (m_i), ki predstavlja razmerje med volumnom in trajanjem deficita,
- minimalni pretok deficita ($Q_{\min}$)
- čas nastopa dogodka, na primer datum začetka, srednje vrednosti, datum minimalnega pretoka.



Slika 5: Prikaz deficita pretoka in njegove splošne značilnosti (povzeto po Fleig, 2004)

Uporaba metode praga omogoča določitev sušnih dogodkov kot obdobij, ko je pretok pod normalno vrednostjo ter obdobje z nezadostnimi zalogami vode glede na takratne potrebe po vodi. Pogosto uporabljene mejne vrednosti so Q_{95} , Q_{90} in Q_{70} . Za pretoke z visokim odstotkom pojavljanja ničelnega pretoka pa se običajno uporablja srednji pretok, MQ in percentili kot so Q_{30} in Q_{10} (Fleig, 2004).

Glede ne izbran hidrološki režim izberemo razpoložljive podatke o letnih, mesečnih ali dnevni pretokih. V suhem in polsuhem podnebnju je priporočljiva uporaba mesečnih podatkov o pretoku, saj lahko vodni deficit traja tudi več let (WMO, 2009). Najpogosteje uporabljeni podatki za izračun so dnevni podatki o pretokih. Njihova pomanjkljivost je ta, da lahko povzročijo medsebojno odvisnost med sušnimi obdobji ter pojav manjših sušnih obdobij. Med daljšimi sušnimi obdobji pretok lahko za krajši čas preseže prag, ki ga določa deficit, kar povzroči nastanek večjega števila manjših sušnih obdobij, ki so medsebojno odvisni (Petek, 2014).

V izogib pomanjkljivostim, ki nastanejo pri uporabi dnevni podatkov o pretokih pa lahko uporabimo različne postopke (Fleig, 2004):

- postopek volumskega kriterija (ang. interevent criterion, IC),
- postopek drsečega povprečja (ang. moving average filter, MA),
- algoritem zaporedni konic (ang. sequent peak algorithm, SPA).

3.2 Hidrološki sušni indeksi

Meteorološko, kmetijsko ter hidrološko sušo pogosto opišemo s sušnimi indeksi, ki so zelo priročni in preprosti za uporabo, hkrati pa zajemajo ogromne količine podatkov o količini padavin, snežni odeji, vodnemu režimu v tleh itd. (Ceglar in Kajfež-Bogataj, 2008). Obstaja mnogo različni indeksov, od katerih se v Sloveniji na Agenciji RS za okolje operativno uporablja standardiziran padavinski indeks SPI (ARSO, 2018).

Sušni indeksi so indeksi, ki se jih pogosto uporablja za opisovanje hidrološke, meteorološke in kmetijske suše (Ceglar in Kajfež-Bogataj, 2008; WMO in GWP, 2016). Kazalec suše (Mikoš in sod., 2002) je izračunana količina, vezana na nekatere kumulativne posledice daljšega in nenormalnega pomanjkanja vlage. Cilj sušni indeksov je spremljanje suše v določeni regiji: začetek sušnega dogodka, intenziteta, trajanje ter konec sušnega dogodka, zgodnje opozarjanje ter zagotavljanje informacij za nadaljnje načrtovalne ukrepe. Za spremljanje različni vidikov hidrološkega kroga se uporablja več različni sušni indeksov.

Kriteriji, ki naj bi jim sušni indeksi zadostili so (Khanna, 2009):

- enostavni za razumevanje,
- preprosti za uporabo,
- imajo fizični pomen,
- občutljivi na širok razpon sušni pogojev,
- neodvisni glede na področje uporabe,
- prikazujejo sušo s kratkim zaostankom glede na dogodek,
- temeljijo na podatkih, ki so zlahka na voljo.

V literaturi so že zbrani različni kazalniki in indeksi suše (WMO in GWP, 2016; Zargar in sod., 2011). Ni enega samega indeksa, ki bi bil uporaben za vse vrste suše in sektorje, ki jih suša prizadene. Indeksi

so različni za posamezna področja. V publikaciji Handbook of Drought Indicators and Indices (WMO in GWP, 2016) so indeksi združeni v naslednje kategorije:

- meteorologija,
- vlaga v tleh,
- hidrologija,
- daljinsko zaznavanje,
- sestavljeni ali modelirani.

V preglednici 1 so navedeni hidrološki indeksi oziroma kazalniki za ugotavljanje in vrednotenje hidrološke suše za površinske in podzemne vode, ki so bili zbrani po priročniku WMO in GWP (2016) in ostali literaturi (Bhuiyan, 2004; Keyantash in Dracup, 2002; Tigkas in sod., 2003; Nalbantis, 2008; Jacobi in sod., 2013; Castano, 2012; Zargar in sod., 2011; Ceglar in Kajfež-Bogataj, 2008; Van Loon, 2015; Barker in sod., 2016; Hayes in sod., 2007; Vicente- Serrano in sod., 2012; Khanna, 2009). Navedene hidrološke indekse delimo po kriteriju enostavnosti uporabe indeksov. Vsi hidrološki sušni indeksi, ki so zbrani v preglednici 1, spadajo med indekse, ki so enostavni za uporabo, razen ADI in SMRI indeksa, ki spadata med indekse, ki so za uporabo bolj zahtevni. Za izračun le teh se običajno zahteva več vhodnih spremenljivk, pa tudi programske kode običajno niso na voljo (WMO in GWP, 2016). Pri pregledu smo prišli do ugotovitve, da večino hidroloških sušnih indeksov v slovenski literaturi ni zaslediti, saj se v hidrološki stroki v Sloveniji hidrološki sušni indeksi večinoma še ne uporabljajo, zato smo nekatere prevode naredili sami.

Preglednica 1: Hidrološki sušni indeksi- terminologija (povzeto po WMO in GWP, 2016; Zargar in sod., 2011)

Hidrološki sušni indeksi - originalen zapis	Hidrološki sušni indeks - slovenski prevod	Področje uporabe
Palmer Hydrological Drought Severity Index (PHDI)	Palmerjev hidrološki sušni indeks (PHDI)	površinske vode
Standardized Streamflow Index (SSI ali SSFI)	Standardiziran indeks pretoka (SSI ali SSFI)	površinske vode
Streamflow Drought Index (SDI)	Sušni indeks pretoka (SDI)	površinske vode
Standardized Reservoir Supply index (SRSI)	Standardiziran indeks zaloge vode (SRSI)	podzemne vode
Standardized Water - level Index (SWI)	Standardiziran indeks vodne gladine (SWI)	podzemne vode
Surface Water supply Index (SWSI)	Indeks površinske zaloge vode (SWSI)	podzemne vode
Aggregate Dryness Index (ADI)	Agregiran indeks sušnosti (ADI)	podzemne vode
Standardized Snowmelt and Rain Index (SMRI)	Standardiziran indeks dežja in taljenja snega (SMRI)	podzemne vode

Le trije od indeksov v preglednici 1, PHDI, SSI/SSFI in SDI se uporabljajo za obravnavo hidrološke suše površinskih voda, vsi ostali so za podzemne vode.

3.2.1 Opis hidroloških sušnih indeksov

3.2.1.1 Palmerjev hidrološki sušni indeks (PHDI)

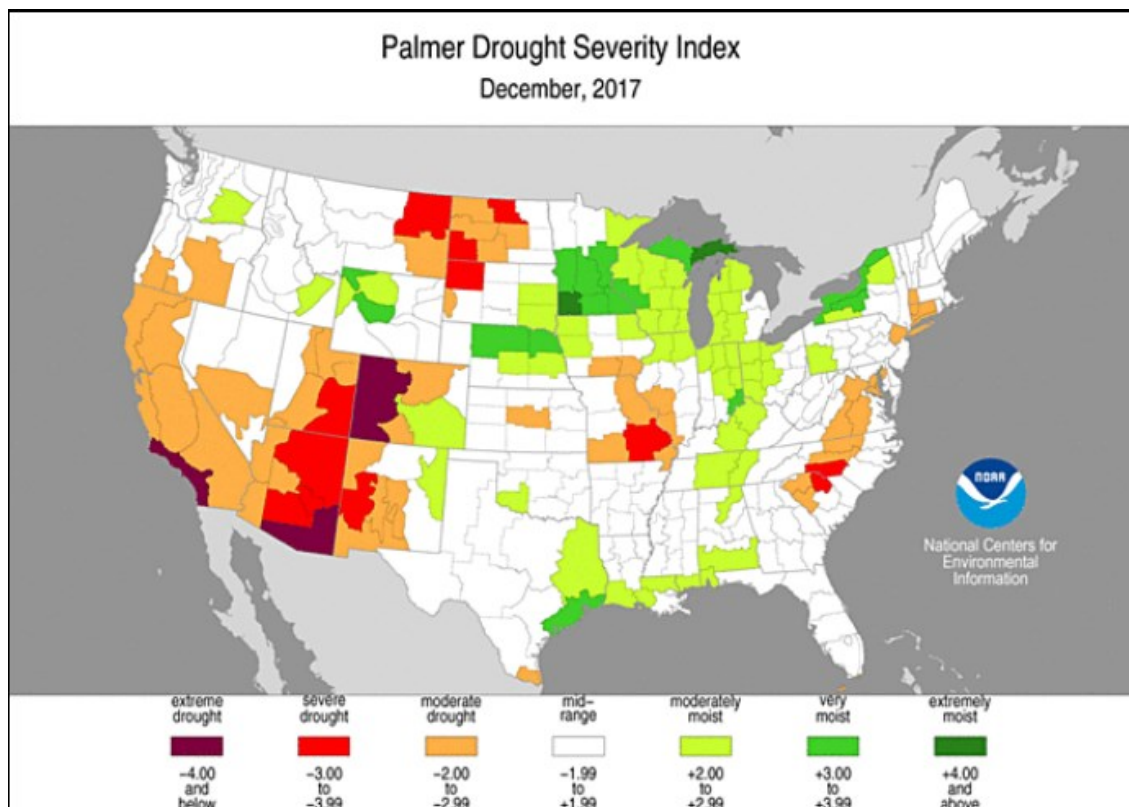
Palmerjev hidrološki sušni indeks (PHDI) izhaja iz meteorološkega Palmerjevega sušnega indeksa (PDSI), zato sta si ta dva indeksa podobna. PHDI določa, kdaj se bo suša končala in sicer na podlagi podatkov o potrebnih padavinah, pridobljenih iz razmerja med prejeto vlago in vlago, ki je potrebna, da se suša konča. Oba indeksa, tako PDSI kot PHDI temeljita na modelu vodne bilance, ki upošteva, dve plasti tal ter Thornthwaitovo metodo za oceno potencialne evapotranspiracije (Castano, 2012).

Glede na vrednost indeksa PHDI obstajajo štiri kategorije suše. Pri vsaki kategoriji suše je podana pripadajoča verjetnost za pojav sušnega dogodka (WMO in GWP, 2016):

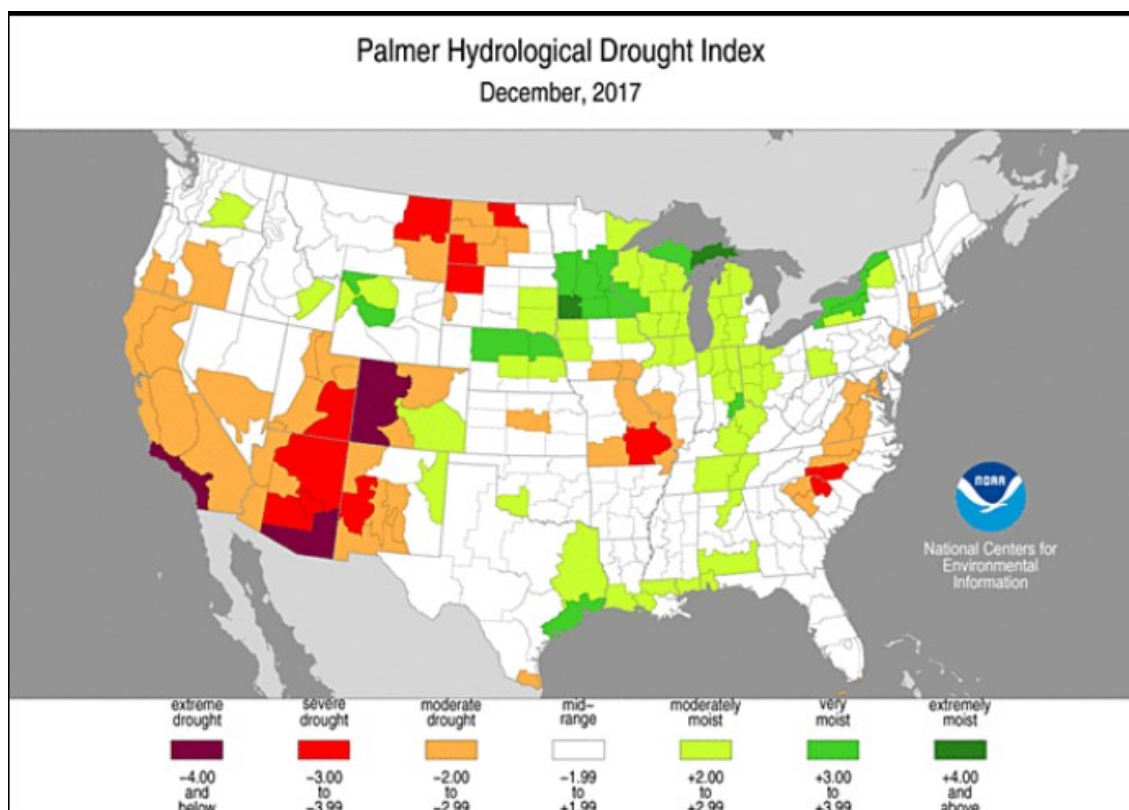
- blizu normalnim razmeram, ki se pojavi približno v 28 % - 50 %,
- blaga do zmerna suša, ki se pojavi približno v 11 % - 27 %,
- huda suša, ki se pojavi v 5 % - 10 % ter
- ekstremna suša, ki se pojavi približno v 4 % primerov.

Primer uporabe

Palmerjev sušni indeks operativno uporablja NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*) za prikaz sušnega stanja v ZDA. NOAA na svoji spletni strani (NOAA, 2017) objavlja mesečne karte sušnih razmer v ZDA s Palmerjevim sušnim indeksom (PDSI) ter Palmerjevim hidrološkim sušnim indeksom (PHDI). Poleg teh dveh indeksov objavlja še druge meteorološke sušne indekse (SPI, PDI, Palmer Z-index). Na voljo je prikaz trenutnih razmer, pa tudi zgodovinskih, od leta 1900 dalje. Prav tako je možno določiti datum začetka in konca izbranega želenega obdobja ter s tem animacijo zemljevidov (sliki 6 in 7).



Slika 6: Primer prikaza Palmerjevega sušnega indeksa (PDSI) za ZDA za december 2017 (NOAA, 2017)



Slika 7: Primer prikaza Palmerjevega hidrološkega sušnega indeksa (PHDI) za ZDA za december 2017 (NOAA, 2017)

Izračun indeksa

Vsi Palmerjevi sušni indeksi PDSI, PHDI in Z-indeks so izračunani na podlagi algoritma, ki ga je leta 1965 razvil Palmer, zato se bo izraz PDSI pri izračunu nanašal na vse tri navedene indekse (Castano, 2012). PDSI je pogosto uporabljen indeks, kljub temu, da je izračun zelo kompleksen in zapleten. Raziskovalci pogosto uporabljajo vrednosti indeksa PSDI, ki jih podaja NCDC (*National Climatic Data Center*). PDSI omogoča določitev in primerjavo suše v različnih regijah. Za izračun so potrebni štirje vhodni podatki, in sicer: temperatura, padavine, zemljepisna širina izbranega območja ter vodna kapaciteta tal, ki je konstanta in znana kot poljska kapaciteta tal. Ti vhodni podatki se uporabijo za izračun vodne bilance na izbranem območju, ki potem služi kot podlaga za izračun PDSI (Hayes in sod., 2007).

PDSI indeks predstavlja vsoto indikatorja trenutnega stanja vlažnosti in vrednosti indeksa v prejšnjem časovnem koraku. Indikator izračunamo po naslednji enačbi (Ceglar in Kajfež-Bogataj, 2008):

$$d = P - \hat{P}, \quad (2)$$

kjer je P mesečna vsota padavin in $\hat{P}$ klimatsko utežena vsota mesečnih padavin. Nato lahko zapišemo vodno bilančno enačbo:

$$\hat{P} = \overline{ET} + \bar{R} + \overline{RO} - \bar{L}. \quad (3)$$

Členi v enačbi predstavljajo povprečne vrednosti evapotranspiracije $\overline{ET}$, višine talnega vodnega rezervoarja $\bar{R}$, površinskega odtoka $\overline{RO}$ in izgube vode iz tal $\bar{L}$. S pomočjo indikatorja izračunamo Palmerjev indeks stanja vlažnosti Z :

$$Z = K \cdot d. \quad (4)$$

Parameter K se uporablja za primerljivost indeksa v prostoru in času ter upošteva vlogo klime. Vrednost PDSI za i -ti mesec se izračuna kot (Ceglar in Kajfež-Bogataj, 2008):

$$PDSI_i = 0.897 \cdot PDSI_{i-1} + \frac{Z_i}{3} \quad (5)$$

PHDI indeks pri izračunu uporablja isto kodo ter vhodne podatke kot PDSI indeks, zato so vrednosti obeh indeksov znotraj sušnega dogodka identične. Te vrednosti se razlikujejo le pri definiranju pričetka in konca dogodka, kar je glavna razlika med indeksoma. PDSI indeks upošteva konec suše, ko se vzpostavijo vlažni pogoji, ki se v tleh neprekinjeno povečujejo ter s tem zmanjšujejo deficit vlažnosti tal, PHDI indeks pa definira konec suše takrat, ko v tleh popolnoma izgine deficit vlažnosti tal. Zato PHDI indeks predstavlja počasno ter modificirano različico PDSI indeksa. Zaradi krajšega odziva na spremembe padavin je PHDI indeks bolj primeren za spremljanje hidrološke suše kot PDSI indeks (Castano, 2012).

Pri iskanju prosto dostopnega programskega orodja oziroma kode za izračun PHDI indeksa na spletu nismo našli nobenega, zato smo vzpostavili stik z zaposlenimi pri NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*). Poslali so kodo za izračun PHDI indeksa v programskem jeziku Fortran. Pri pregledu kode smo ugotovili, da je izračun PHDI indeksa bolj zapleten in dolgotrajen od izračuna SSI ali SDI indeksa. Za izračun je potrebno večje število vhodnih podatkov: mesečne padavine, mesečna temperatura ter dodatni podatki o lokaciji, kot so poljska kapaciteta, dve toplotni konstanti, ki se uporabljata pri izračunu evapotranspiracije ter negativna tangenta zemljepisne širine. Ker bi bil

izračun PHDI indeksa preobsežen in dolgotrajen za magistrsko delo, smo se odločili, da indeksa ne bomo računali. Kljub temu bi bilo potrebno v prihodnosti preučiti kodo za izračun indeksa ter indeks izračunati, da bi videli kakšne rezultate dobimo ter jih po potrebi primerjati z rezultati pridobljenimi v tem magistrskem delu.

3.2.1.2 Standardizirani indeks pretoka (SSI/SSFI)

WMO in GWP (2016) sta standardizirani indeks pretoka (ang. *Standardized Streamflow Index*) označila s kratico SSFI. Po pregledu ostale literature (Castano, 2012; Barker in sod., 2016; Vicente-Serrano in sod., 2012), smo ugotovili, da se isti indeks označuje tudi s kratico SSI. V nadaljevanju bomo standardizirani indeks pretoka označevali s kratico SSI.

Indeks SSI je analogen padavinskemu indeksu SPI (standardizirani padavinski indeks). Za izračun se uporabljajo mesečne vrednosti pretoka ter metode normalizacije, podobno kot pri indeksu SPI. Indeks se lahko računa za opazovane podatke kot tudi za napovedi oziroma modelske prognostične podatke. Omogoča vpogled v nizke in visoke pretoke, to je pretoke, ki so povezani s sušo in poplavami. Uporablja se ga za spremljanje hidroloških razmer v vseh časovnih obdobjih (Castano, 2012).

Metodologija izračuna indeksa SPI in s tem tudi SSI je podrobneje predstavljena v poglavju o metodah 4.2 in v Šebenik (2012).

3.2.1.3 Sušni indeks pretoka (SDI)

Sušni indeks pretoka je hidrološki indeks, ki temelji na podatkih o pretoku. Uporablja mesečne podatke o pretokih in metode normalizacije kot pri izračunu SPI (standardizirani padavinski indeks). S pomočjo indeksa je mogoče poiskati mokra in suha obdobja kot tudi intenziteto oziroma resnost dogodkov. Uporablja se za spremljanje in prepoznavanje sušnih dogodkov za določene lokacije meritev, za katere ni nujno, da predstavljajo večja porečja (WMO in GWP, 2016).

Izračun indeksa

Če je na voljo niz mesečnih volumnov pretoka $Q_{i,j}$, v katerem i predstavlja hidrološko leto in j mesec v tem hidrološkem letu (npr. $j=1$ za oktober in $j=12$ za september), potem lahko izračunamo $V_{i,k}$ po naslednji enačbi (Nalbantis, 2008; Tigkas in sod., 2003):

$$V_{i,k} = \sum_{j=1}^{3k} Q_{i,j} \quad (6)$$

$$i = 1, 2, \dots j = 1, 2, \dots, 12 \quad k = 1, 2, 3, 4$$

$V_{i,k}$ predstavlja kumulativne volumne pretoka za i -to hidrološko leto in k -to referenčno obdobje. $k = 1$ od oktobra do decembra, $k = 2$ od oktobra do marca, $k = 3$ od oktobra do junija in $k = 4$ od oktobra do septembra. Referenčno obdobje predstavlja obdobje, ki se ga izbere kot reprezentativno ter se

uporablja za primerjanje rezultatov pred in po vstavljanju podatkov. Na podlagi kumulativnih volumnov pretoka $V_{i,k}$ je SDI indeks definiran za vsako referenčno obdobje k , i -tega hidrološkega leta (Nalbantis, 2008; Tigkas in sod., 2003):

$$SDI_{i,k} = \frac{V_{i,k} - \bar{V}_k}{s_k} \quad (7)$$

$$i = 1, 2, \dots k = 1, 2, 3, 4$$

kjer sta $\bar{V}_k$ totalni povprečni volumen pretoka in s_k standardni odklon kumulativnih volumnov pretoka referenčnega obdobja k .

Za majhna porečja na splošno velja, da pretok sledi verjetnostni porazdelitvi, ki se najbolj ujemata s porazdelitvijo gama (Tigkas in sod., 2003). Porazdelitev se nato transformira v normalno.

Z uporabo dvoparameterske logaritemsko normalne porazdelitve lahko definiramo indeks SDI (Nalbantis, 2008; Tigkas in sod., 2003):

$$SDI_{i,k} = \frac{y_{i,k} - \bar{y}_k}{s_{y,k}} \quad (8)$$

$$i = 1, 2, \dots k = 1, 2, 3, 4$$

$$y_{i,k} = \ln(v_{i,k}) \quad (9)$$

$$i = 1, 2, \dots k = 1, 2, 3, 4,$$

kjer $y_{i,k}$ predstavlja naravne logaritme kumulativnega pretoka s povprečjem $\bar{y}_k$ in standardno deviacijo $s_{y,k}$.

3.2.1.4 Standardiziran indeks zaloge vode (SRSI)

Za izračun verjetnostne porazdelitvene funkcije ali podatkov o zalogi vode se uporabijo mesečni podatki podobno kot pri indeksu SPI, ki zagotavljajo informacije o oskrbi z vodo za regijo ali porečje znotraj razpona med -3 (ekstremno suho) do +3 (ekstremno mokro) (WMO in GWP, 2016).

3.2.1.5 Standardiziran indeks vodne gladine (SWI)

SWI indeks je bil razvit kot merilo za polnjenje primanjkljaja podzemne vode. Za raziskave vpliva suše na napajanje podtalnice indeks uporablja podatke iz vodnjakov. Rezultate je mogoče interpolirati med točkami (WMO in GWP, 2016).

Izračun indeksa

Izračun SWI indeksa je podan z naslednjo enačbo (Bhuiyan, 2004):

$$SWI = (W_{ij} - W_{im}) / \sigma, \quad (10)$$

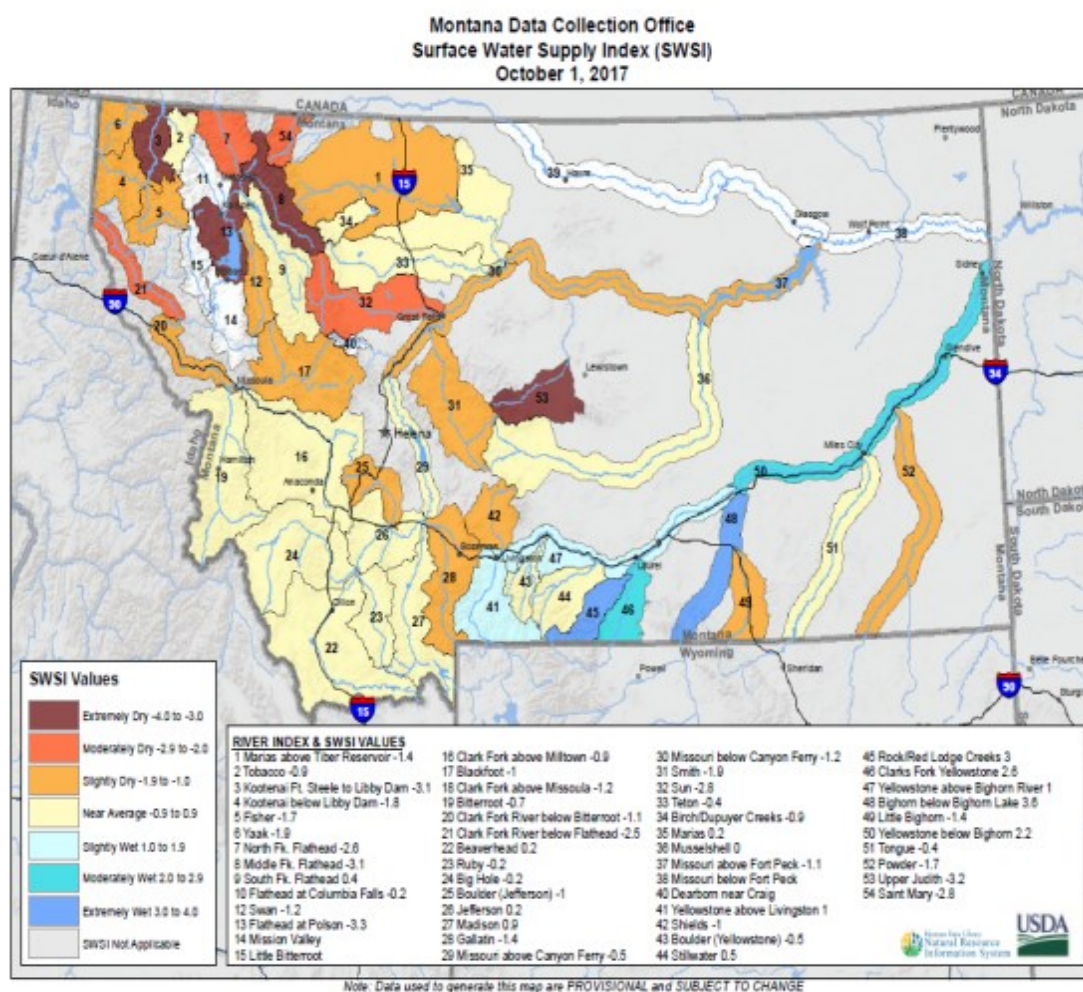
kjer W_{ij} predstavlja sezonske vrednosti vodne gladine za i -ti vodnjak in j -to opazovanje, W_{im} predstavlja dolgoročno sezonsko povprečje ter σ , ki predstavlja standardno deviacijo.

3.2.1.6 Indeks površinske zaloge vode (SWSI)

SWSI indeks se izračuna na ravni porečja ter pri izračunu upošteva nekatere značilnosti PDSI indeksa, vključno z dodatnimi informacijami kot so kopičenje snega, taljenje snega in odtok, podatki o zalogi vode. SWSI indeks se največkrat uporablja v gorskih regijah, kjer sneg prispeva velik delež k letnemu pretoku (WMO in GWP, 2016).

Primer uporabe

USDA (*United States Department of Agriculture*) skupaj z NRCS (*Natural Resources Conservation Service*) na uradni spletni strani zvezne države Montana (Montana data Collection Office, 2017) objavlja mesečne vrednosti Indeksa površinske zaloge vode SWSI. Na sliki 8 je prikazan primer SWSI indeksa za Montano za oktober 2017.



Slika 8: Primer indeksa površinske zaloge vode (SWSI) na zemljevidu za oktober 2017 (Montana data Collection Office, 2017)

Izračun indeksa

SWSI indeks se izračuna po naslednji enačbi (Khanna, 2009):

$$SWSI = \frac{aP_{snow} + bP_{prec} + cP_{stream} + dP_{resv} - 50}{12} \quad (11)$$

Koeficienti a, b, c, d predstavljajo sneg, padavine, pretok in zalogo vode ($a + b + c + d = 1$), P pa predstavlja verjetnost pojava teh štirih komponent vodne bilance. V zimskem času se SWSI indeks računa z uporabo podatkov o snežni odeji, padavinah in zalogah vode, poleti pa z uporabo podatkov o pretoku, padavinah in zalogah vode.

SWSI indeks opredeljuje sušo z naslednjimi kategorijami ter pripadajočimi verjetnostmi za pojav suše (WMO in GWP, 2016):

- blaga suša, ki se pojavi približno v 26 % - 50 %,
- zmerena suša, ki se pojavi približno v 14 % - 26 %,
- huda suša, ki se pojavi približno v 2 % - 14 % primerov.

3.2.1.7 Agregiran indeks sušnosti (ADI)

Agregiran indeks sušnosti (ADI) je večnamenski regionalni indeks suše, ki upošteva vse vplive in vodne vire v različnih časovnih obdobjih. Razvit je bil za uporabo v enotnih klimatskih razmerah. Uporablja se ga v kontekstu več vrst vplivov suše (WMO in GWP, 2016).

3.2.1.8 Standardiziran indeks dežja in taljenja snega (SMRI)

Indeks uporablja podobne metode kot indeks SPI ter upošteva primanjkljaje padavin ter snega vključno s padavinami, ki so shranjene kot sneg. Največkrat se ga uporablja kot dopolnilo SPI indeksu (WMO in GWP, 2016).

3.2.2 Vhodni podatki za izračun hidroloških sušnih indeksov

Vhodni podatki za izračun hidroloških indeksov suše so predstavljeni v preglednici 2. Težnja je, da se indekse čim lažje izračuna, zato je potrebna razumna izbira vhodnih podatkov. Meteorološki sušni indeksi običajno pomenijo odnos med količino padavin, temperaturo in vsebnostjo vode v tleh (Ceglar in Kajfež-Bogataj, 2008). Najlažja je izbira tistih indeksov, katerih vhodni parametri so padavine, saj za podatke o padavinah običajno obstajajo dolgi nizi meritev. Podobno velja za podatke o pretokih.

Preglednica 2: Vhodni podatki za izračun posameznih hidroloških sušnih indeksov (povzeto po WMO in GWP, 2016)

Hidrološki sušni indeksi	Vhodni podatki
Palmerjev hidrološki sušni indeks (PHDI)	Mesečni podatki o temperaturi in padavinah ter po potrebi podatki o kapaciteti tal za zadrževanje rastlinam dostopne vode.
Standardiziran indeks pretoka (SSFI/SSI)	Dnevni ali mesečni podatki o pretoku.
Sušni indeks pretoka (SDI)	Mesečni podatki o pretoku.
Standardiziran indeks zaloge vode (SRSI)	Mesečni dotok v zadrževalnik in povprečni volumen zadrževalnika.
Standardiziran indeks vodne gladine (SWI)	Podatki o nivoju gladine podzemne vode v vodnjakih.
Indeks površinske zaloge vode (SWSI)	Podatki o zalogah vode v zadrževalniku, pretoku, snežni odeji ter padavinah.
Agregiran indeks sušnosti (ADI)	Podatki o padavinah, evapotranspiraciji, pretoku, zalogi vode v zadrževalniku, vsebnosti vlage v tleh ter o količini vode iz snega. Vhodni podatki se uporabljajo le, če regija, za katero se indeks računa, razpolaga s spremenljivko.
Standardiziran indeks dežja in taljenja snega (SMRI)	Podatki o pretoku, dnevnih padavinah ter dnevnih temperaturah zraka.

Ker smo se v magistrski nalogi omejili le na obravnavo hidrološke suše površinskih voda, bomo v naslednjih poglavjih obravnavali le naslednje tri indekse: Palmerjev hidrološki sušni indeks, Standardiziran indeks pretoka ter Sušni indeks pretoka.

3.2.3 Prednosti in slabosti posameznih indeksov

Prednosti in slabosti posameznih indeksov smo povzeli iz WMO in GWP (2016) in Zargar in sod. (2011).

3.2.3.1 Palmerjev hidrološki sušni indeks (PHDI)

Prednosti: Pristop na osnovi vodne bilance omogoča, da se upošteva celoten vodni krog.

Slabosti: Pogostosti se razlikujejo glede na regijo in čas v letu, kjer ekstremne suše niso redke dogodek v nekaterih mesecih leta. Pri izračunih se ne upoštevajo človeški vplivi, kot je namakanje.

3.2.3.2 Standardizirani indeks pretoka (SSI/SSFI)

Prednosti: Preprosto računanje z SPI programom. Vhodni podatek je ena spremenljivka, ki omogoča kljub manjkajočim podatkom enostavno uporabo. Lahko se ga uporablja za monitoring kratkoročne, srednje dolge ter dolgoročne hidrološke suše, ker pri izračunu upošteva širok časovni razpon.

Slabosti: Velja samo za pretok v okviru monitoringa suše, kjer se ne upoštevajo vplivi rabe vode. Pri izračunu indeksa lahko pride do napak, ker je potrebno surove podatke transformirati v verjetnostno porazdelitev. Kljub transformaciji pa ni nujno, da podatki ustrezajo normalni porazdelitvi, predvsem med obdobji nizkih pretokov ter časovnimi razponi kratkih akumulacij.

3.2.3.3 Sušni indeks pretoka (SDI)

Prednosti: Program za izračun je javno dostopen ter enostaven za uporabo. Za izračun je potrebno relativno majhno število podatkov, rezultate pa je mogoče enostavno interpretirati ter jih uporabiti pri strateškem načrtovanju. Dovoljeno je, da manjkajo nekateri podatki. Več ko je podatkov o pretokih, boljši so rezultati.

Slabosti: En sam vhodni podatek (pretok) ne more vplivati na upravljalne odločitve. Obdobja brez podatkov o pretoku lahko izkrivijo rezultate.

V preglednici 3 je povzetek obravnavanih prednosti in slabosti posameznih hidroloških sušnih indeksov za površinske vode.

Preglednica 3: Prednosti in slabosti posameznih hidroloških sušnih indeksov (povzeto po WMO in GWP, 2016; Zargar in sod., 2011)

Hidrološki sušni indeksi za površinske vode	Prednosti	Slabosti
Palmerjev hidrološki sušni indeks (PHDI)	• upoštevanje celotnega vodnega kroga • prostorska in časovna predstavitev zgodovinskih suš • prikaz anomalij nedavnih vremenskih dogodkov v regiji	• ne upoštevajo se umetni vplivi (npr. človeški vpliv - namakanje) • predpostavke za izračun vodne bilance • sneg ter snežna odeja nista vključeni • počasen odziv na sušo
Standardizirani indeks pretoka (SSFI/SSI)	• preprosto računanje z SPI programom • vhodni podatek je ena spremenljivka • za monitoring kratkoročne kot tudi dolgoročne hidrološke suše	• ne upoštevajo se vplivi rabe vode • pri računanju lahko pride do napak zaradi izbire neustrezne verjetnostne porazdelitve
Sušni indeks pretoka (SDI)	• program za izračun je enostaven in javno dostopen • potrebno je relativno majhno število vhodnih podatkov • rezultate je mogoče enostavno interpretirati ter jih uporabiti pri strateškem načrtovanju • nekateri podatki lahko manjkajo	• en vhodni podatek ne more vplivati na upravljalne odločitve • obdobja brez podatkov o pretoku lahko izkrivijo rezultate

3.2.4 Vrednosti posameznih indeksov za opis stanja (jakosti) suše

S sušnimi indeksi je določena operativna definicija suše. Iz preglednic 4 do 6 je razvidno, da se sušni dogodek začne takrat, kadar vrednosti indeksov padejo pod vrednost nič in traja toliko časa, dokler se vrednosti ne dvignejo nad vrednost nič. Z vrednostmi indeksa lahko definiramo intenziteto sušnega dogodka. Vrednosti indeksov podajamo v nalogi tabelarično samo za površinske vode.

3.2.4.1 Palmerjev hidrološki sušni indeks (PHDI)

Vrednosti indeksa PHDI so podane v preglednici 4. Ker se indeks računa po istem postopku kot meteorološki PSDI indeks, so vrednosti za klasifikacijo suše enake (Hayes in sod., 2007).

Preglednica 4: Klasifikacija suše za pojav sušnega dogodka pri PHDI (povzeto po Hayes in sod., 2007)

PHDI	Klasifikacija
4,00 ali več	ekstremno mokro
3,00 do 3,99	zelo mokro
2,00 do 2,99	zmerno mokro
1,00 do 1,99	neznatno mokro
0,50 do 0,99	začetek mokrega obdobja
0,49 do -0,49	normalno
-0,50 do -0,99	začetek suhega obdobja
-1,00 do -1,99	mila suša
-2,00 do -2,99	zmerna suša
-3,00 do -3,99	huda suša
-4,00 ali manj	ekstremna suša

3.2.4.2 Standardizirani indeks pretoka (SSI/SSFI)

SSI indeks se računa na enak način kot SPI indeks, le da namesto padavin upoštevamo pretok. Ker v literaturi ni posebne klasifikacije samo za SSI indeks, podajamo vrednosti klasifikacije enake kot pri SPI indeksu.

Preglednica 5: Klasifikacija suše ter pripadajoča verjetnost za pojav sušnega dogodka pri SPI (povzeto po Ceglar in Kajfež-Bogataj, 2008)

SPI	Klasifikacija	Verjetnost (%)
2,00 ali več	ekstremno mokro	2,3
1,50 do 1,99	zelo mokro	4,4
1,00 do 1,49	zmerno mokro	9,2
0 do 0,99	normalno	34,1
0 do -0,99	normalno	34,1
-1 do -1,49	zmerna suša	9,2
-1,50 do -1,99	huda suša	4,4
-2,00 ali manj	ekstremna suša	2,3

3.2.4.3 Sušni indeks pretoka (SDI)

V preglednici 6 so podane vrednosti indeksa SDI (Nalbantis, 2008).

Preglednica 6: Klasifikacija suše ter pripadajoča verjetnost za pojav sušnega dogodka pri SDI (povzeto po Nalbantis, 2008)

Kriteriji SDI	Opis	Verjetnost (%)
$SDI \geq 0,0$	Brez suše	50,0
$-1,0 \leq SDI < 0,0$	Blaga suša	34,1
$-1,5 \leq SDI < -1,0$	Zmerna suša	9,2
$-2,0 \leq SDI < -1,5$	Huda suša	4,4
$SDI < -2,0$	Ekstremna suša	2,3

4 PODATKI IN METODE

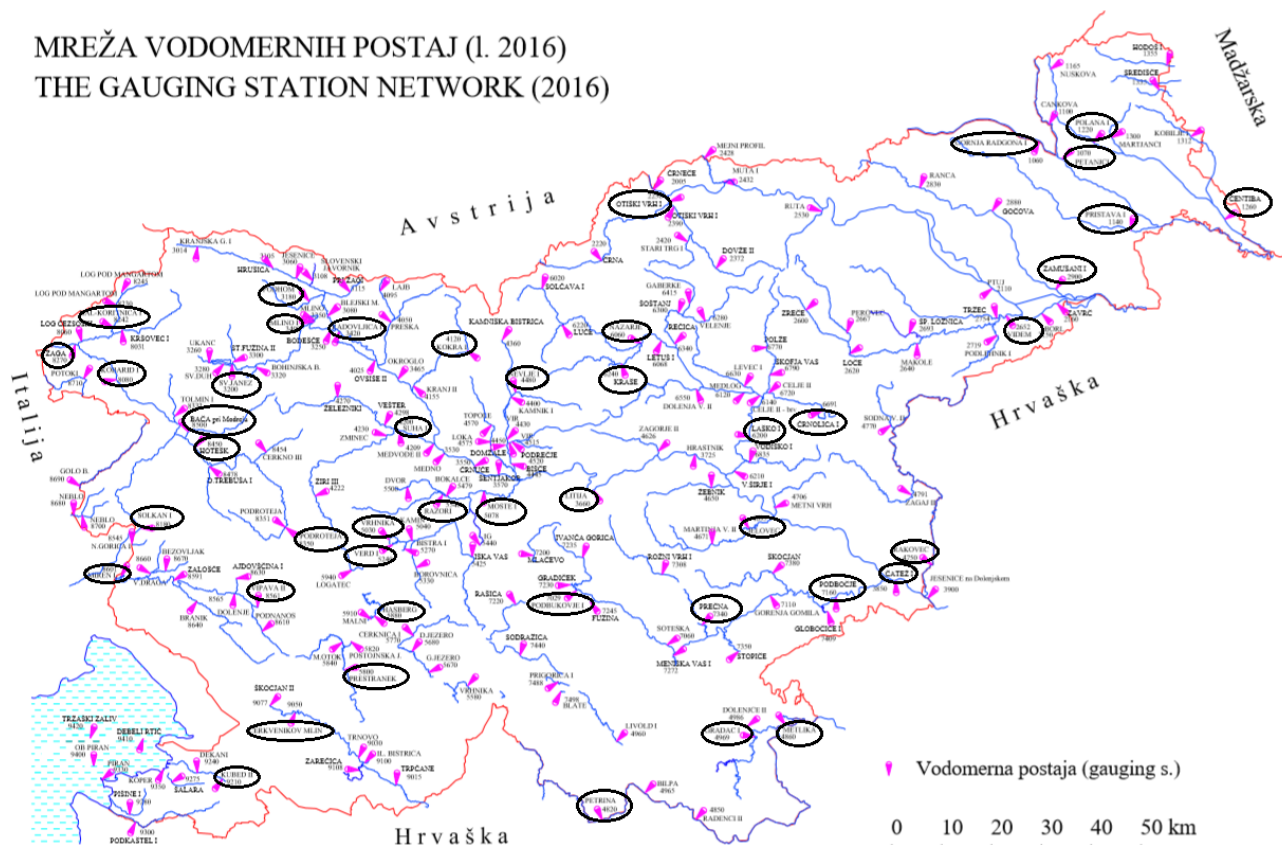
4.1 Podatki

Pri izbiri ter pripravi podatkov smo uporabili programsko orodje Agencije RS za okolje Hidrolog. Orodje Hidrolog predstavlja informacijski sistem državne hidrološke službe ter združuje podsisteme državne merilne mreže za površinske vode, podzemne vode ter izvire in morja (Bat in Miklavčič, 2011). Omogoča celotno obdelavo ter upravljanje hidroloških podatkov. Sestavlja ga zbirka surovih vrednosti ter delovnih vrednosti merjenih hidroloških podatkov. Surovo zbirko sestavljajo vrednosti, ki so odčitane s poljubnega merilnika, vrednosti, ki jih zapišejo merilne naprave z merilniki ter vrednosti, ki so določene z laboratorijsko analizo zajetih vzorcev. Surove vrednosti so prostorsko in časovno določene ter do določene mere kontrolirane in pripravljene za nadaljnje obdelave, ki se izvajajo v grafični ali tabelarni obliki (Bat in Miklavčič, 2011).

Časovni niz podatkov predstavlja enega izmed pomembnih faktorjev pri izbiri podatkov. Enoletni ali dvoletni podatki o pretokih zagotavljajo le malo informacij o hidrološkem režimu vodotoka, kakšen je bil v preteklosti ter kakšen bo mogoče v prihodnosti. V splošnem velja, da daljša kot je serija časovnih podatkov, boljši so rezultati. Pri časovno zelo dolgih nizih podatkov lahko pride do pomanjkljivosti zaradi sprememb pri metodah merjenja podatkov ali sprememb pri namembnosti zemljišča in upravljanja z vodami. V študijah, ki se navezujejo na podnebne vplive, je priporočljiva uporaba običajne periode oziroma obdobja podatkov, to so podatki 30-letnega časovnega niza (Tallaksen in Van Lanen, 2004).

V magistrskem delu smo se odločili za niz podatkov o srednjih mesečnih pretokih od leta 1960 do leta 2016 (56 let). Pri tem smo pregledali vse hidrološke postaje iz mreže merilnih mest državnega hidrološkega monitoringa, kjer smo upoštevali začetek njihovega delovanja ter manjkajoče nize podatkov. Pri izbiri hidroloških postaj smo upoštevali čim daljši časovni niz podatkov s čim manjšim številom manjkajočih podatkov. Zaradi boljše prostorske pokritosti ozemlja Slovenije smo dodali nekatere hidrološke postaje, ki pa imajo krajši časovni niz podatkov oziroma manjkajoče podatke o pretokih. Podatkovne nize o pretokih smo na nekaterih hidroloških postajah združili, če se površina zaledja ni bistveno spremenila in med lokacijami postaj ni omembe vrednih pritokov (primer Pristava in Pristava I v prilogi A). Poseben primer združitve hidroloških postaj predstavljata postavi Jelovec in Gabrje, ki smo jih sami združili pod skupnim imenom postaja Jelovec, saj se nahajata na istem vodotoku na podobni lokaciji. Skupno je bilo izbranih 46 hidroloških postaj, kot je vidno na sliki 9.

MREŽA VODOMERNIH POSTAJ (I. 2016) THE GAUGING STATION NETWORK (2016)



Slika 9: Izbrane hidrološke postaje za izračun hidroloških sušnih indeksov (ARSO, 2018)

Osnovne podatke obravnavanih hidroloških postaj smo pridobili na spletni strani Agencije RS za okolje. V prilogi A so razvidne obravnavane hidrološke postaje, podatki o vodotoku, koordinate lokacije postaje, podatki o zaledju in stacionaži ter nadmorska višina zadnje kote "0" vodomera. V zadnjem stolpcu je označena aktivnost postaje. Vrednost 1 pomeni, da je hidrološka postaja še vedno aktivna, vrednost 0 pa, da je končala z delovanjem. Hidrološke postaje Pristava, Polana, Videm, Litija, Rakovec, Čatež, Kokra, Gradac, Moste, Črnlolica, Podbukovje, Solkan, Kal-Koritnica, Podroteja, Vipava, Miren in Kubed ukinjene, vendar so bile v bližini obstoječih merilnih mest vzpostavljene nove merilne postaje.

4.2 SPI/SSI metoda

Indeks SSI je analogen padavinskemu indeksu SPI (standardizirani padavinski indeks), zato za izračun SSI lahko uporabljamo metodologijo izračuna SPI.

SPI/SSI predstavlja prilagodljiv indeks, ki se ga enostavno izračuna za analizo meteorološke/hidrološke suše. Edini vhodni parameter za izračun indeksa predstavljajo padavine/pretok. Indeks računa tako suhe kot mokre dogodke (WMO, 2012).

SPI/SSI indeks določa pomen posamezne količine padavin, ki je padla v določenem časovnem obdobju glede na normalno oziroma pričakovano količino padavin za to obdobje (Šebenik, 2012, str. 23).

Prednosti indeksa (Ceglar in Kajfež-Bogataj, 2008; Hayes in sod., 1999):

- enostavnost uporabe indeksa,
- edini vhodni podatek predstavlja padavine,
- indeks se lahko računa za različne časovne skale, kar omogoča primerljivost frekvenc sušnih dogodkov na katerikoli lokaciji ter kakršnikoli časovni skali,
- topografija ne vpliva na indeks,
- uporaba indeksa v zimskem in poletnem času (ni odvisen od parametrov vlažnosti v tleh).

Slabosti indeksa (Ceglar in Kajfež-Bogataj, 2008; Hayes in sod., 1999):

- teoretična verjetnostna porazdelitev padavin, ki zahteva določeno količino kvalitetnih podatkov (vsaj 30 letni padavinski niz podatkov za določitev parametrov gama porazdelitve),
- SPI indeks ni zmožen identificirati področij, ki so bolj nagnjena k ekstremnim sušam (ekstremne suše z daljšim časovnim delovanjem se bodo pojavile z isto frekvenco na vseh lokacijah),
- visoke pozitivne ali negativne vrednosti SPI indeksa na krajših časovnih skalah na območjih, kjer je sezonska količina padavin majhna.

Pri izračunu indeksa najprej določimo gostoto verjetnosti, s katero opišemo niz padavin oz. pretokov. Gostota verjetnosti opiše verjetnostno porazdelitev zvezne slučajne spremenljivke, ki pripada določeni populaciji. Ko je ta določena se lahko izračuna porazdelitvena funkcija za merjeno vsoto padavin, ki se na to normalizira. Rezultat je vrednost indeksa (Šebenik, 2012, str. 23).

Porazdelitev gama se dobro ujema s porazdelitvijo padavin/pretokov v kalibracijskem obdobju, kar je ugotovil Thom (1966). Gama porazdelitev definiramo s pomočjo gostote verjetnosti ali njene frekvence kot (Šebenik, 2012, str. 23) :

$$g(x) = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-x/\beta} \quad (12)$$

kjer je:

$$\alpha > 0$$

α je oblikovni parameter

$$\beta > 0$$

β parameter definira časovno skalo

$$x > 0$$

x predstavlja količino padavin

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^\infty y^{\alpha-1} e^{-y} dy$$

$\Gamma(\alpha)$ je funkcija gama.

Funkcija $\Gamma(\alpha)$ je vključena v funkciji gostote verjetnosti. Parametra α in β ustrezno poiščemo tako, da se gostota verjetnosti najbolje ujema s porazdelitvijo padavin/pretokov (Šebenik, 2012).

Ko imamo izračunane parametre, lahko določimo kumulativno verjetnost za opazovan dogodek za določeno časovno skalo in mesec v letu. Kumulativno verjetnost nato izračunamo kot (Ceglar in Kajfež-Bogataj, 2008).

$$G(x) = \int_0^x g(x)dx = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} \int_0^x x^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{\beta}} dx. \quad (13)$$

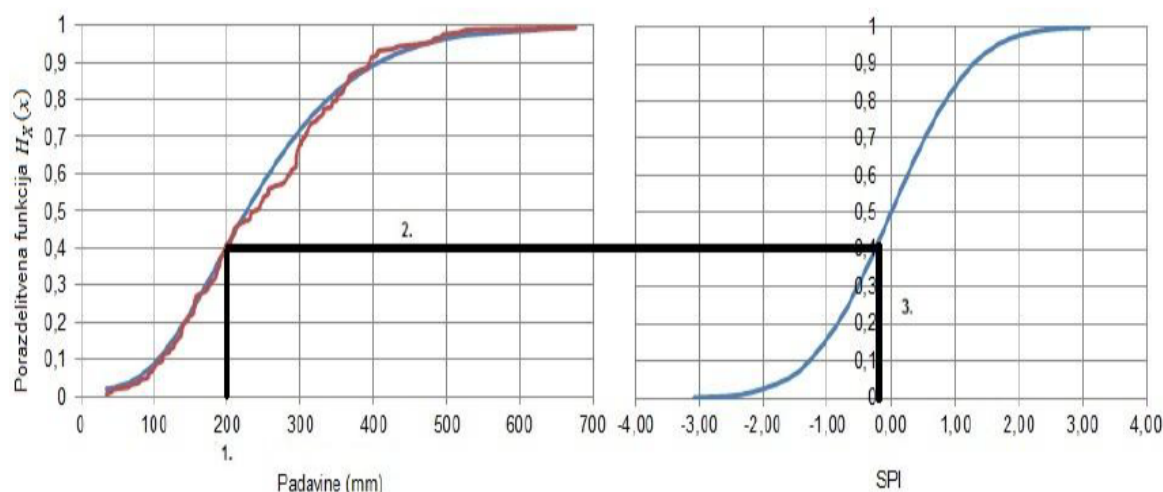
Ker pri $x=0$ porazdelitev gama ni definirana, pomeni, da ni definirana za dogodke, ko ni padavin oz. je pretok enak nič, kar je pri identifikaciji sušnih dogodkov čisto mogoče. Porazdelitveno funkcijo lahko zapišemo kot (Šebenik, 2012):

$$H(x) = q + (1-q)G(x), \quad (14)$$

kjer je q verjetnost, da ni padavin ($x=0$).

Kumulativno verjetnost $H(x)$ je potrebno nato pretvoriti v standardizirano normalno slučajno spremenljivko Z oziroma uporabiti inverzno funkcijo standardizirane normalne (Gaussove) porazdelitve, kar predstavlja vrednost indeksa (Šebenik, 2012).

Uporaba metode je prikazana na sliki 10 s primerom transformacije porazdelitve trimesečne vsote padavin.



Slika 10: Primer pretvorbe vsote padavin v vrednost indeksa SPI za trimesečno vsoto padavin (januar, februar, marec) za Ljubljano (povzeto po Šebenik, 2012)

Na levem grafu slike 10 predstavlja lomljena črta empirično porazdelitveno funkcijo za trimesečno vsoto padavin. Gladka krivulja na levem grafu predstavlja kumulativno verjetnostno porazdelitev $G(x)$, krivulja na desnem grafu pa porazdelitveno funkcijo standardizirane normalne porazdelitve. Vrednost SPI indeksa odčitamo na desnem grafu na x-osi. V podanem primeru je za 200 mm padavin vrednost indeksa -0.26 (Šebenik, 2012).

Z indeksom SPI/SSI je tako določena operativna definicija suše. Sušni dogodek se začne, ko je vrednost indeksa neprekinjeno negativna ter pade pod vrednost -1 in traja toliko časa, dokler se vrednost indeksa ne dvigne nad vrednost 0 (Ceglar in Kajfež-Bogataj, 2008).

V preglednici 7 je podana klasifikacija suše ter pripadajoča verjetnost za pojav sušnega dogodka pri različnih vrednostih SPI.

Preglednica 7: Klasifikacija suše ter pripadajoča verjetnost za pojav sušnega dogodka pri SPI (povzeto po Ceglar in Kajfež-Bogataj, 2008; Šebenik, 2012)

SPI	Klasifikacija	Verjetnost (%)
2,00 ali več	ekstremno mokro	2,3
1,50 do 1,99	zelo mokro	4,4
1,00 do 1,49	zmerno mokro	9,2
0 do 0,99	normalno	34,1
0 do -0,99	normalno	34,1
-1 do -1,49	zmerna suša	9,2
-1,50 do -1,99	huda suša	4,4
-2,00 ali manj	ekstremna suša	2,3

4.3 Statistična metoda razvrščanja

Metoda razvrščanja (ang. *cluster analysis*) predstavlja standardno metodo statistične multivariatne analize za razvrščanje podatkov v skupine, glede na njihovo podobnost enega ali več izbranih kriterijev. Metoda je najbolj priporočljiva ob uporabi večjega števila podatkov (Kavčič, 2013).

Pri metodi razvrščanja je potrebno upoštevati naslednje korake (Kavčič, 2013, str. 20):

- izbira objektov za razvrščanje,
- izbira množice spremenljivk, ki definirajo lastnosti objektov,
- računanje podobnosti med enotami,
- uporaba ustrezne metode za razvrščanje v skupine,
- analiza dobljenih rezultatov.

V splošnem govorimo o treh skupinah metod razvrščanja: hierarhične in nehierarhične ter geometrijske metode. Najpogostejše hierarhične metode delimo na metode cepitve in metode združevanja. Pri metodah cepitve se začetna velika skupina, ki vsebuje vse elemente deli. Pri tej metodi ni potrebno predhodno opredeliti končnega števila skupin, prav tako lahko rezultate prikažemo z dendrogramom. Pri metodi združevanja pa začnemo s takšnim številom skupin kot je elementov ter pri vsakem koraku skupine združujemo (Kavčič, 2013).

Ker velja poljubna izbira objektov za razvrščanje, smo v magistrski nalogi izbrali hidrološke postaje kot objekte za razvrščanje. Ker so spremenljivke oziroma vrednosti SSI indeksov podane s številčnimi vrednostmi, smo v programskem orodju Orange (Orange- Data Mining Fruitful & Fun, 2018) uporabili priporočljivo evklidsko razdaljo.

Enoti X in Y imata m številskih spremenljivk (Kavčič, 2013):

$$X = (x_1, x_2, \dots, x_m) \quad (15)$$

$$Y = (y_1, y_2, \dots, y_m), \quad (16)$$

zato je evklidska razdalja med njima definirana kot:

$$d(X, Y) = \sqrt{\sum_{i=1}^m (x_i - y_i)^2}. \quad (17)$$

Pri številčnih izbirah metod razvrščanja (Wardova, maksimalna, minimalna, metoda voditeljev, metoda prestavljanj...) smo v magistrskem delu izbrali Wardovo metodo razvrščanja, ki predstavlja najpogostejše uporabljeno metodo in se jo uporablja predvsem pri skupinah, ki imajo primerljivo spremenljivost. Wardova metoda temelji na tako imenovani izgubi informacij, ki jo povzroča

združitve dveh skupin v novo skupino. Zaradi tega se poveča vsota kvadriranih odklonov znotraj skupin (VKO) (Kavčič, 2013; Košmelj in Breskvar-Žaucer, 2006).

Za skupino S se odklon oziroma ta količina izračuna kot vsota kvadriranih odklonov od povprečja skupine S (Kavčič, 2013; Košmelj in Breskvar-Žaucer, 2006):

$$VKO(S) = \sum_{i \in S} (x_i - \bar{x}_S)^2. \quad (18)$$

Ward upošteva VKO za vrednotenje posamezne razvrstitve.

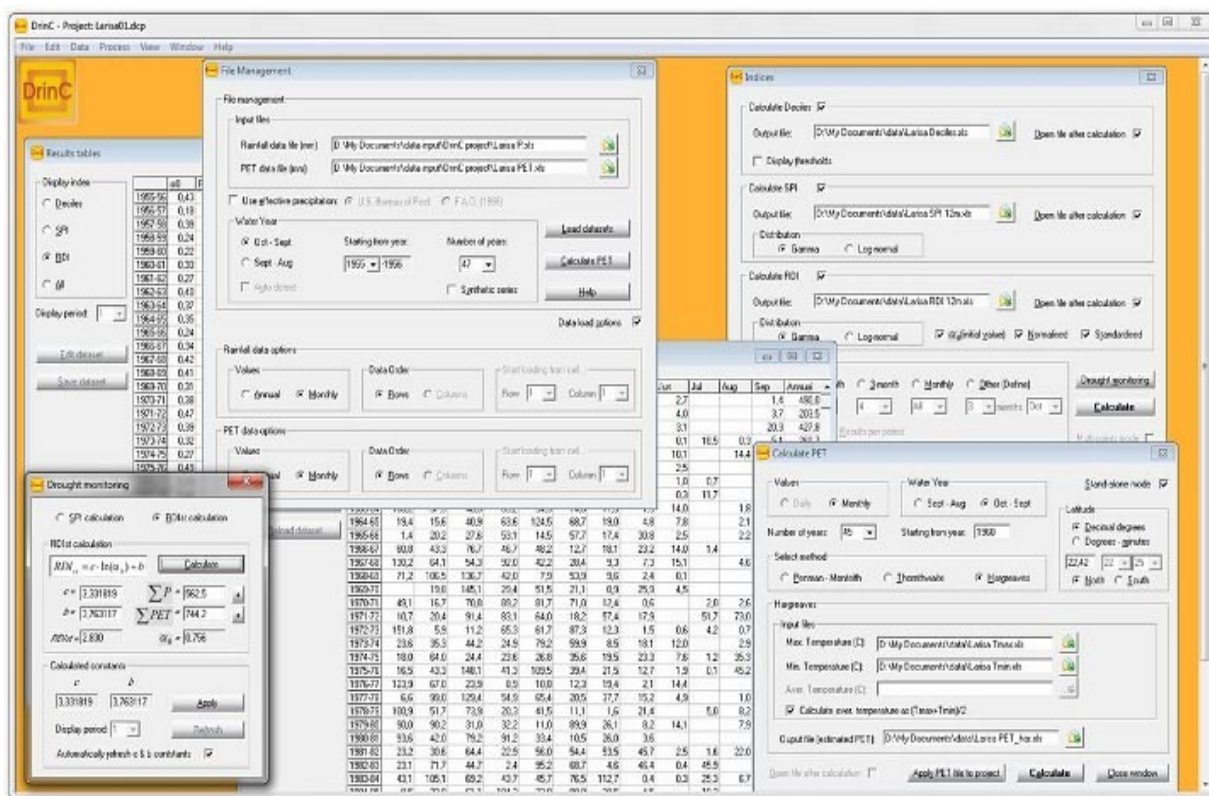
4.4 Programsko orodje DrinC

Programsko orodje DrinC (DrinC software, 2018) je bilo izdelano na Centru za ocenjevanje naravnih nesreč in proaktivnega načrtovanja (*Centre for the Assessment of Natural Hazards and Proactive Planing*) ter Nacionalne tehniške univerze v Atenah (*Laboratory of Reclamation Works and Water Resources Management of the National Technical University of Athens*). Namen programa je zagotavljanje uporabniku prijaznega orodja za računanje več sušnih indeksov, s poudarkom na dveh nedavno razvitih indeksih: RDI (ang. *Reconnaissance Drought Index*) in SDI (sušni indeks pretoka). Prav tako se programsko orodje uporablja za izračun SPI indeksa (standardizirani padavinski indeks) ter decilno analizo padavin. Skupna značilnost vsem izbranim indeksom je majhno število podatkov za njihov izračun, rezultati pa se lahko enostavno interpretirajo in uporabljajo pri strateškem načrtovanju ter operativni uporabi (Tigkas in sod., 2015). DrinC vsebuje grafični uporabniški vmesnik (GUI) ter deluje v operacijskem sistemu MS Windows (slika 11).

Za izračun posameznega indeksa so potrebni vhodni podatki, ki so prikazani v preglednici 8. Podatke lahko uvozimo v program preko MS Excel datotek, ročno ali avtomatsko. Vhodni podatki so lahko mesečni, sezonski ali letni. V programsko orodje lahko vstavimo realni niz podatkov (do 150 let podatkov) ali sintetični niz (do 1500 let) podatkov. Programsko orodje omogoča določitev verjetnostne porazdelitve, ki je lahko gama ali normalna. Primarna referenčna osnova v programskem orodju DrinC je hidrološko leto (oktober-september). Privzeto računsko obdobje se začne oktobra z izbiro več časovnih korakov: mesečni, 3-mesečni, 6-mesečni ter letni.

Preglednica 8: Vhodni podatki za izračun posameznih indeksov (povzeto po Tigkas in sod., 2015)

Indeks	Vhodni podatki
Decilna analiza padavin	podatki o padavinah
RDI indeks	podatki o padavinah, o potencialni evapotranspiraciji (ali podatki o temperaturi)
SPI indeks	podatki o padavinah
SDI indeks	podatki o pretokih



Slika 11: Programsko orodje DrinC

Na podlagi lastnih izkušenj in ugotovitev avtorjev (Tigkas in sod., 2013) so prednosti programskega orodja DrinC naslednje:

- edini vhodni podatek predstavljajo podatki o pretokih,
- SDI indeks se lahko računa za različne časovne skale,
- enostavna uporaba programskega orodja,
- uporabniku prijazno programsko orodje,
- prosto dostopno programsko orodje.

Slabosti orodja pa so:

- možno dolgotrajno urejanje vhodnih podatkov,
- upoštevanje hidrološkega leta, ki traja od oktobra do septembra (hidrološka leta se v različnih državah razlikujejo, v Sloveniji traja hidrološko leto od 1. novembra do 31. oktobra),
- vrednosti indeksov so za določena obdobja in se izračunajo le za določene intervale in ne kontinuirano ("drseče povprečje").

4.5 Programsko orodje SPI

Prosto dostopno programsko orodje SPI (NDMC, 2018) potrebuje za izračun SPI indeksa vsaj 20-30 let mesečnih podatkov o padavinah, najbolj učinkoviti in primerni pa so 50-60 ali več letni podatki. Program lahko računa tudi z manjkajočimi podatki, vendar lahko to vpliva na končne rezultate, odvisno od porazdelitve manjkajočih podatkov v povezavi s časovno dolžino vhodnih podatkov. Program pri izračunu uporablja dvoparametersko gama porazdelitev (WMO, 2012).

Ker je indeks SSI analogen padavinskemu indeksu SPI, smo ga v nalogi izračunali s pomočjo SPI programskega orodja. Pri izračunu se uporabljajo mesečne vrednosti pretokov ter metode normalizacije, ki so podobne kot pri izračunu SPI. Namesto podatkov o padavinah smo vstavili srednje mesečne podatke o pretokih za vsako posamezno hidrološko postajo.

Vhodne podatke smo zapisali v predpisani obliki, v treh stolpcih (leto, mesec in srednji mesečni pretoki). V glavi datoteke smo zapisali obravnavano hidrološko postajo. Srednji mesečni pretoki morajo biti zapisani kot cela števila (brez decimalnih vejic). Kadar so bili srednji mesečni pretoki majhni (pod vrednostjo 1) smo vse vrednosti srednjih mesečnih pretokov pomnožili s 100, da smo se izognili zaokroževanju majhnih pretokov na vrednost 0.

Pri vhodni datoteki je potrebno biti pazljiv na manjkajoče podatke. Kadar manjkajo podatki je potrebno na manjkajoče mesto zapisati vrednost -99, ne pa pustiti prazno mesto ali zapisati vrednost 0. Vrednost 0 pomeni, da je bila vrednost padavin oziroma pretokov dejansko enaka 0 (WMO, 2012).

Na začetku izračuna je potrebno izbrati število časovnih skal ter navesti izbrane časovne skale. Nato izberemo ime vhodne in izhodne datoteke, kjer se izogibamo šumnikov, saj jih program ne dovoljuje.

Gornja Radgona I, SI						
1960	1	-0.21	-99.00	-99.00	-99.00	-99.00
1960	2	-0.41	-99.00	-99.00	-99.00	-99.00
1960	3	0.31	-0.14	-99.00	-99.00	-99.00
1960	4	-0.29	-0.22	-99.00	-99.00	-99.00
1960	5	-0.92	-0.52	-99.00	-99.00	-99.00
1960	6	-1.26	-1.01	-0.89	-99.00	-99.00
1960	7	0.10	-0.78	-0.68	-99.00	-99.00
1960	8	-0.09	-0.46	-0.59	-99.00	-99.00
1960	9	0.74	0.23	-0.43	-99.00	-99.00
1960	10	1.38	0.77	-0.09	-99.00	-99.00
1960	11	0.78	1.21	0.28	-99.00	-99.00
1960	12	1.95	1.55	0.93	0.17	-99.00
1961	1	0.92	1.32	1.17	0.24	-99.00
1961	2	0.34	1.44	1.43	0.29	-99.00
1961	3	-0.11	0.40	1.34	0.26	-99.00
1961	4	-0.42	-0.22	0.81	0.25	-99.00
1961	5	-1.07	-0.76	0.08	0.23	-99.00
1961	6	-0.23	-0.69	-0.46	0.42	-99.00
1961	7	-0.95	-0.92	-0.78	0.19	-99.00
1961	8	-0.96	-0.88	-0.98	0.01	-99.00
1961	9	-1.66	-1.38	-1.23	-0.36	-99.00
1961	10	-0.79	-1.55	-1.43	-0.75	-99.00
1961	11	0.53	-0.85	-1.10	-0.77	-99.00
1961	12	1.34	0.35	-0.82	-0.85	-0.50

Slika 12: Izračunane vrednosti SSI indeksa na petih različnih časovnih skalah za hidrološko postajo Gornja Radgona

Na sliki 12 je prikazan primer izhodne datoteke. Prvi stolpec prikazuje leto, drugi stolpec pa mesec, ko je bila meritev zabeležena. Ostali stolpci pa prikazujejo vrednosti SSI indeksa za različne časovne skale. V primeru, ki je prikazan na sliki 12, so zabeležene vrednosti SSI indeksa na 1-, 3-, 6-, 12- in 24- mesečni časovni skali. Vrednost -99 pomeni, da se izračun ni dal izvesti. Na primeru 3- mesečne časovne skale je v prvih dveh mesecih vrednost enaka -99, saj se izračun SSI indeksa začne šele z tretjim mesecem. Enako velja tudi za ostale indekse na drugih časovnih skalah.

4.6 Programsko orodje R

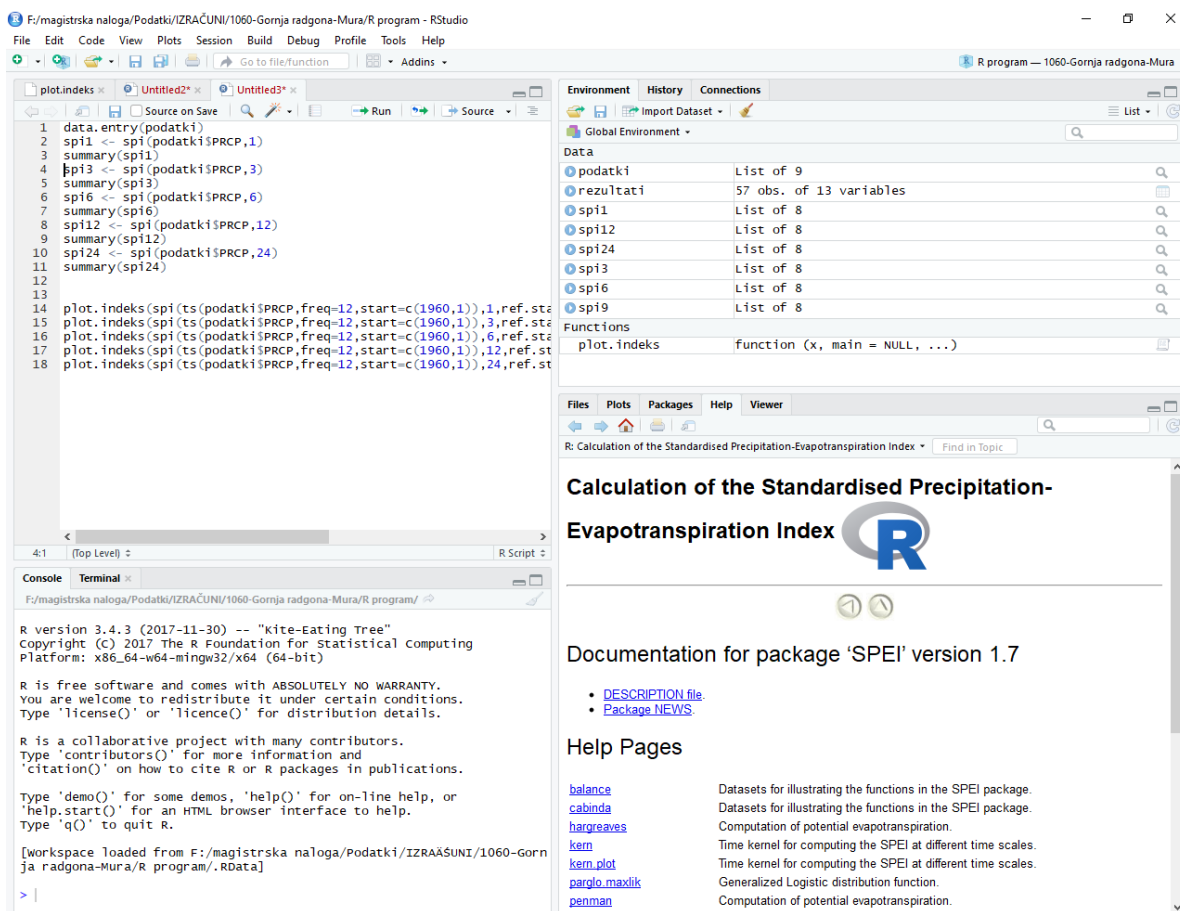
Programsko orodje R (The R Project for Statistical Computing, 2018) je odprto dostopni računalniški program, ki se ga uporablja za statistične analize in grafično predstavitev rezultatov. Ponuja veliko različnih statističnih operacij (linearno in nelinearno modeliranje, standardne statistične teste,...) in grafičnih tehnik. Program je zelo fleksibilen in omogoča razširjanje.

Program vsebuje in omogoča (Kohne, 2014):

- efektivno ravnanje in shranjevanje podatkov,
- veliko število operatorjev za izračune,
- veliko, integrirano in koherentno kolekcijo orodij za podatkovno analizo,
- grafične funkcije za podatkovno analizo in prikaz na zaslonu ali pa na fizičnem sredstvu,
- dobro razvit, preprost in učinkovit programski jezik, ki vključuje logične pogoje, zanke in uporabniško definirane vzhodne in izhodne funkcije.

Programsko orodje R se da hitro in preprosto razširiti s t.i. "paketi", ki so večinoma brezplačni in dostopni vsakemu uporabniku na CRAN in podobnih spletnih straneh. Namestitev paketov je preprosta ter prijazna uporabniku (Kohne, 2014).

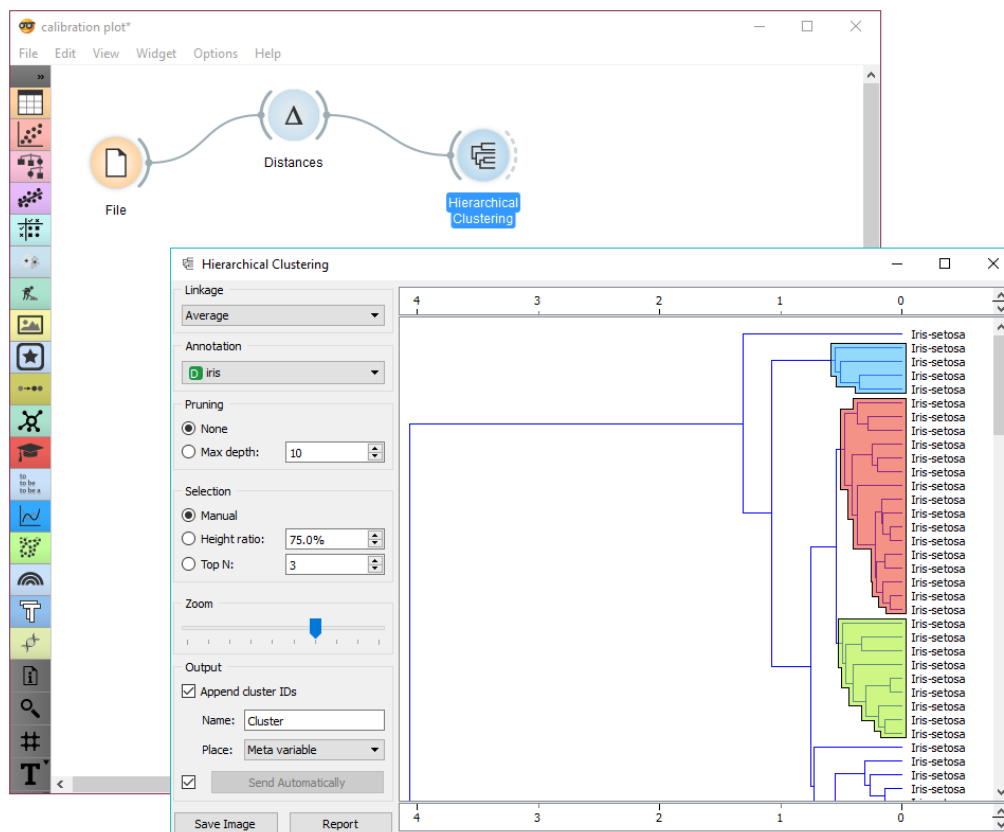
Pri izračunu SSI indeksa smo v programu R uporabili paket SPEI (slika 13) (SPEI: Calculation of the Standardised Precipitation-Evapotranspiration Index, 2018), ki vsebuje funkcije za izračun potencialne evapotranspiracije, SPEI indeksa (ang. *Standardized Precipitation- Evapotranspiration Index*-Standardizirani padavinski evapotranspiracijski indeks) ter SPI indeksa.



Slika 13: Primer prikaza zaslona urejevalnika RStudio

4.7 Programsko orodje Orange

Programsko orodje Orange (Orange- Data Mining Fruitful & Fun, 2018) je orodje, ki se ga uporablja za vizualizacijo podatkov, za podatkovno rudarjenje ter podatkovne analize. Sestavljajo ga komponente, ki omogočajo osnovne funkcije, kot je branje podatkov, prikaz podatkovnih tabel, izbiranje funkcij, primerjava učnih algoritmov ter vizualizacijo podatkovnih elementov (slika 14). Razvili so ga na Fakulteti za računalništvo in informatiko v Ljubljani (Demšar in sod., 2013).



Slika 14: Programsko orodje Orange (Orange, 2018)

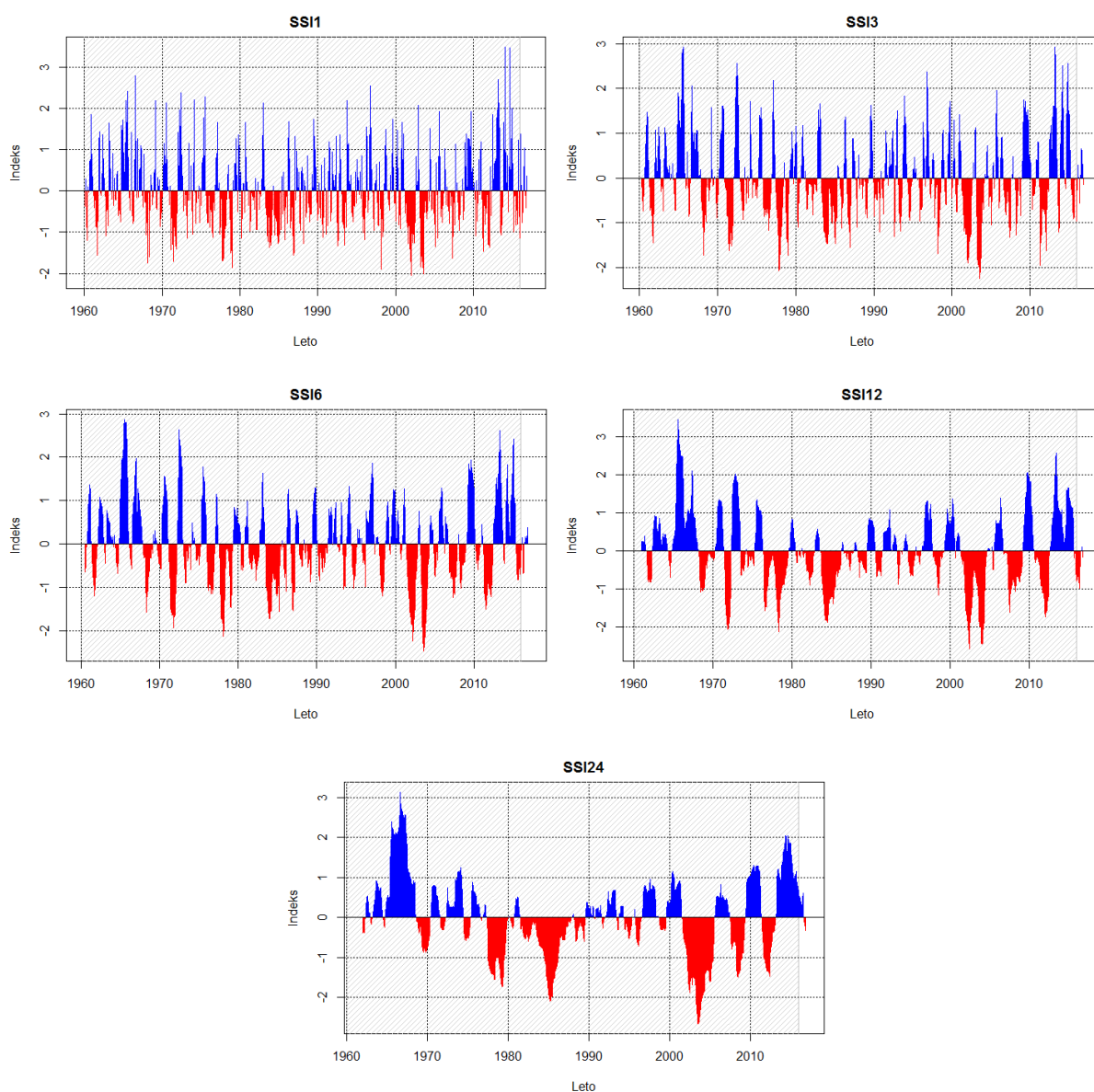
4.8 Programsko orodje SAGA GIS

SAGA GIS (*System for Automated Geoscientific Analyses*) predstavlja programsko orodje geografsko informacijskega sistema za urejanje prostorskih podatkov. Programsko orodje je prosto dostopno na spletu (SAGA- Analysis and Modelling Applications, 2006). S pomočjo programskega orodja smo grafično prikazali rezultate SSI indeksov na različnih časovnih skalah za vse obravnavane hidrološke postaje. Končni rezultat je prikaz hidrološke suše, ki temelji na izračunanih vrednostih SSI indeksov na kartah, iz katerih je razvidna prostorska spremenljivost hidrološke suše.

5 REZULTATI

5.1 Standardizirani indeks pretoka (SSI)

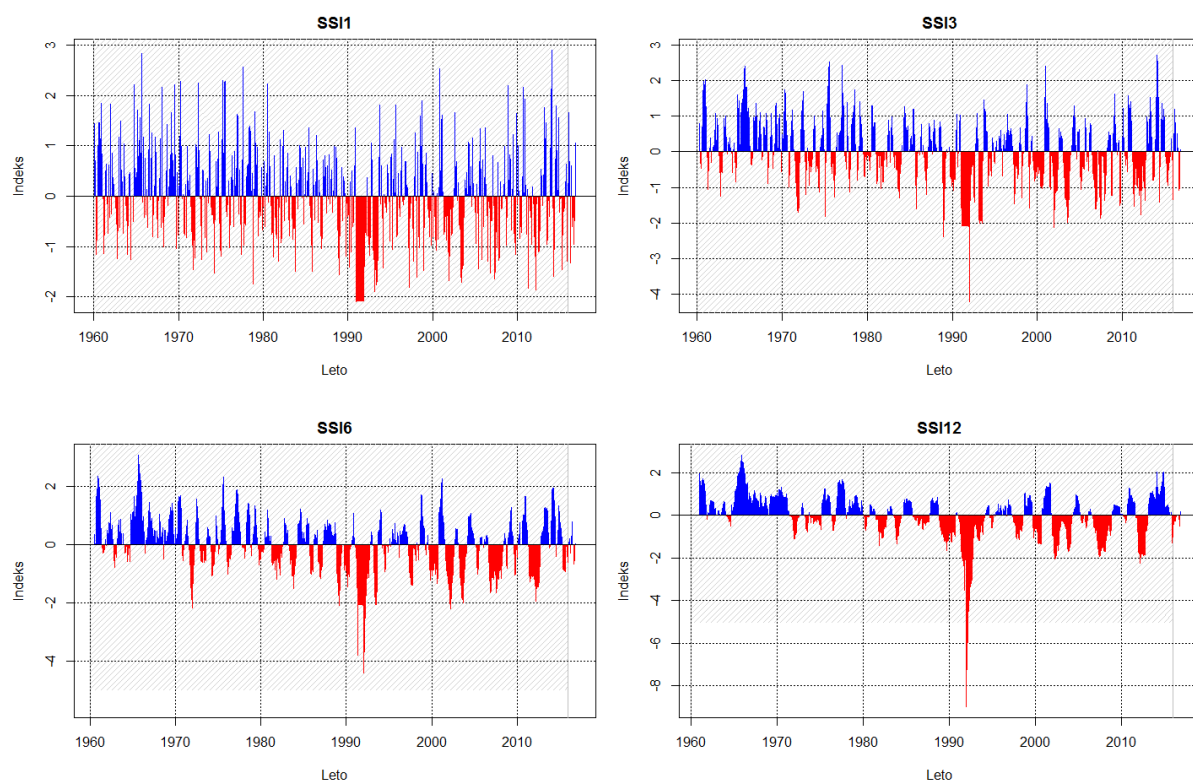
V programu R smo SSI indeks izračunali preko SPI indeksa, ki je na voljo v programskem paketu SPEI (SPEI: Calculation of the Standardised Precipitation-Evapotranspiration Index, 2018). Programski paket poleg izračuna indeksa omogoča tudi grafični prikaz indeksa na različnih časovnih skalah. Modra barva na grafih označuje pozitivne vrednosti SSI indeksa (mokri dogodki), rdeča barva pa negativne vrednosti indeksa (sušni dogodki). Na sliki 15 so prikazani SSI indeksi za hidrološko postajo Gornja Radgona za obdobje od leta 1960 do leta 2016 na petih različnih časovnih skalah.

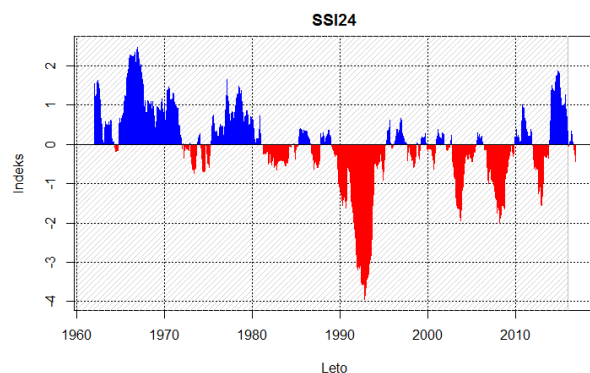


Slika 15: Grafični prikaz 1-, 3-, 6-, 12- in 24-mesečnega SSI indeksa izračunanega s programom R za postajo Gornja Radgona

Iz grafičnega prikaza SSI indeksov je razvidno, da je na krajših časovnih skalah večja variabilnost indeksa kot pa na daljših časovnih skalah. Na daljših časovnih skalah je suša manj pogosta, vendar je trajanje daljše in bolj intenzivno, na krajših časovnih skalah pa ima hidrološka suša manjše trajanje in nižjo intenziteto, vendar se pojavlja bolj pogosto. Če bi na istem grafu prikazali vrednosti SSI indeksa na 1-mesečni časovni skali in 24-mesečni časovni skali, bi bila črta 24-mesečnih vrednosti analogna 1-mesečnim vrednostim, le da bi bila zglajena. Iz rezultatov SSI indeksa na 24-mesečni časovni skali lahko razberemo, da je bil v obdobju od leta 1960 do leta 2016 v Gornji Radgoni največji sušni dogodek leta 2003, najbolj mokro leto pa 1965/1966. Rezultati kažejo, da so se najnižje vrednosti SSI indeksa pojavljale v zadnjih 15 letih, kar kaže, da se pogostost in jakost suš v zadnjih letih v Gornji Radgoni povečuje.

Kot primer nepopolnih nizov podatkov, so na sliki 16 prikazani rezultati SSI indeksa na petih različnih časovnih skalah za hidrološko postajo Suha za obdobje od leta 1960 do leta 2016, za katero manjkajo mesečni podatki o pretokih v letu 1991. Ker mesečnih podatkov o pretoku za leto 1991 ni bilo podanih ter v programu ni bilo navodil glede manjkajočih podatkov, smo v vhodne podatke zapisali vrednosti -99 in 0. Ob uporabi vrednosti -99 za manjkajoče podatke je program izračunal neskončne (-Inf) vrednosti SSI indeksa, z vrednostmi 0 pa je program izračunal vrednosti SSI indeksa na 1-mesečni časovni skali za celo leto 1991 enako -2.107. Za ostale hidrološke postaje, kjer manjkajo podatki o pretokih, smo prav tako vstavili vrednost 0 in dobili enake vrednosti izračunanih indeksov (-2.107). Zaradi manjkajočih podatkov rezultati oziroma vrednosti SSI indeksov za manjkajoče leto niso pravilni, kar je razvidno tudi na grafih na sliki 16, kjer prihaja do napačnih rezultatov. Pri vrednotenju rezultatov s programom R je torej zelo pomembno, da poleg rezultatov dobro poznamo tudi vhodne podatke.





Slika 16: Grafični prikaz 1-, 3-, 6-, 12- in 24-mesečnega SSI indeksa izračunanega s programom R za postajo Suha

Vsi ostali grafični prikazi SSI indeksov za posamezne hidrološke postaje na različnih časovnih skalah so podani v prilogi B.

5.2 Število hudih in ekstremnih suš

Sušni dogodki se pričnejo takrat, kadar je vrednost sušnih indeksov manjša od vrednosti -1 (Ceglar in Kajfež-Bogataj, 2008). Glede na klasifikacijo suše za pojav sušnega dogodka se huda suša pojavi, ko je vrednost SSI indeksa med -1.5 in -2, ekstremna suša pa takrat, kadar je vrednost indeksa manjša od -2. Za pridobitev informacije, na katerih lokacijah oziroma hidroloških postajah v Sloveniji je pojavljanje hude in ekstremne suše najpogostejše smo se odločili, da bomo uporabili postaje s popolnim nizom vhodnih podatkov. Skupno število izbranih hidroloških postaj v izbranem obdobju od leta 1960 do leta 2014 je 34, kot je razvidno v preglednici 9.

V preglednici 9 je prikazano število sušnih dogodkov, kjer je SSI indeks pod vrednostjo -2 oz. -1.5 za obdobje od leta 1960 do 2014 na treh časovnih skalah, in sicer 1-, 6- in 12-mesečni.

Preglednica 9: Skupno število dogodkov kadar je SSI indeks manjši od vrednosti -2 in -1,5

Postaja	Skupno število dogodkov					
	1-mesečna časovna skala		6-mesečna časovna skala		12-mesečna časovna skala	
	SSI < -2	SSI < -1.5	SSI < -2	SSI < -1.5	SSI < -2	SSI < -1.5
Gornja Radgona	3	19	10	42	15	47
Pristava	0	7	22	50	23	44
Polana	1	12	18	43	20	46
Otiški vrh	1	23	14	41	22	46
Podhom	1	15	7	25	1	29
Sveti Janez	5	25	10	30	17	44

se nadaljuje...

...nadaljevanje preglednice 9

Radovljica	5	29	11	32	2	48
Litija	11	31	17	48	19	48
Čatež	10	35	23	52	22	51
Kokra	4	19	8	20	1	25
Nevlje	7	26	22	46	23	36
Jelovec	2	21	21	59	26	49
Rakovec	0	16	21	53	23	52
Petrina	6	31	12	39	12	20
Metlika	14	35	27	56	11	47
Gradac	11	34	30	61	25	64
Vrhnika	22	45	34	54	26	50
Moste	11	41	28	52	25	51
Razori	4	31	23	59	22	55
Prestranek	0	0	40	67	30	56
Hasberg	8	43	26	59	15	49
Nazarje	9	31	19	39	26	48
Laško	5	29	24	56	31	51
Kraše	2	22	15	34	19	40
Podbukovje	1	15	18	58	17	53
Prečna	0	23	19	48	15	62
Kobarid	7	27	11	33	12	37
Žaga	4	31	11	35	8	39
Podroteja	7	20	11	41	4	39
Hotešk	6	20	16	39	22	61
Bača pri Modreju	7	28	12	41	19	50
Vipava	12	42	25	50	15	60
Miren	1	26	13	35	14	30
Cerkvenikov mlin	6	25	23	59	15	45

Iz preglednice 9 je razvidno, da se je od leta 1960 do leta 2014 v Sloveniji pojavilo kar nekaj hudih in ekstremnih sušnih dogodkov. Za vsako hidrološko postajo na različnih časovnih skalah se je zgodil najmanj en dogodek, ko je območje prizadela ekstremna suša, razen pri postajah Pristava, Rakovec in Prečna. Prav tako je bilo seveda število pojavov hudih suš večje od pojavov ekstremnih suš. Večje število sušnih dogodkov je značilno za daljše časovne skale, ko se prag bliža vrednosti 0. Ko se časovna skala zmanjša in se prag oddalji od vrednosti 0, se število sušnih dogodkov zmanjša. Ker je značilno, da je suša na daljših časovnih skalah bolj intenzivna in je njeno trajanje daljše, se zato število hudih in ekstremnih suš pri vseh hidroloških postajah z večanjem časovnih skal poveča v primerjavi s krajšimi časovnimi skalami.

V primeru SSI indeksa na 1-mesečni časovni skali od leta 1960 do leta 2014 sta ekstremna in huda suša največkrat prizadela območje Vrhnike. Območje Prestranka je bilo največkrat prizadeto zaradi suše v primeru SSI indeksa na 3-mesečni časovni skali. V primeru 12-mesečnega SSI indeksa je ekstremna suša najbolj prizadela območje hidrološke postaje Gradac.

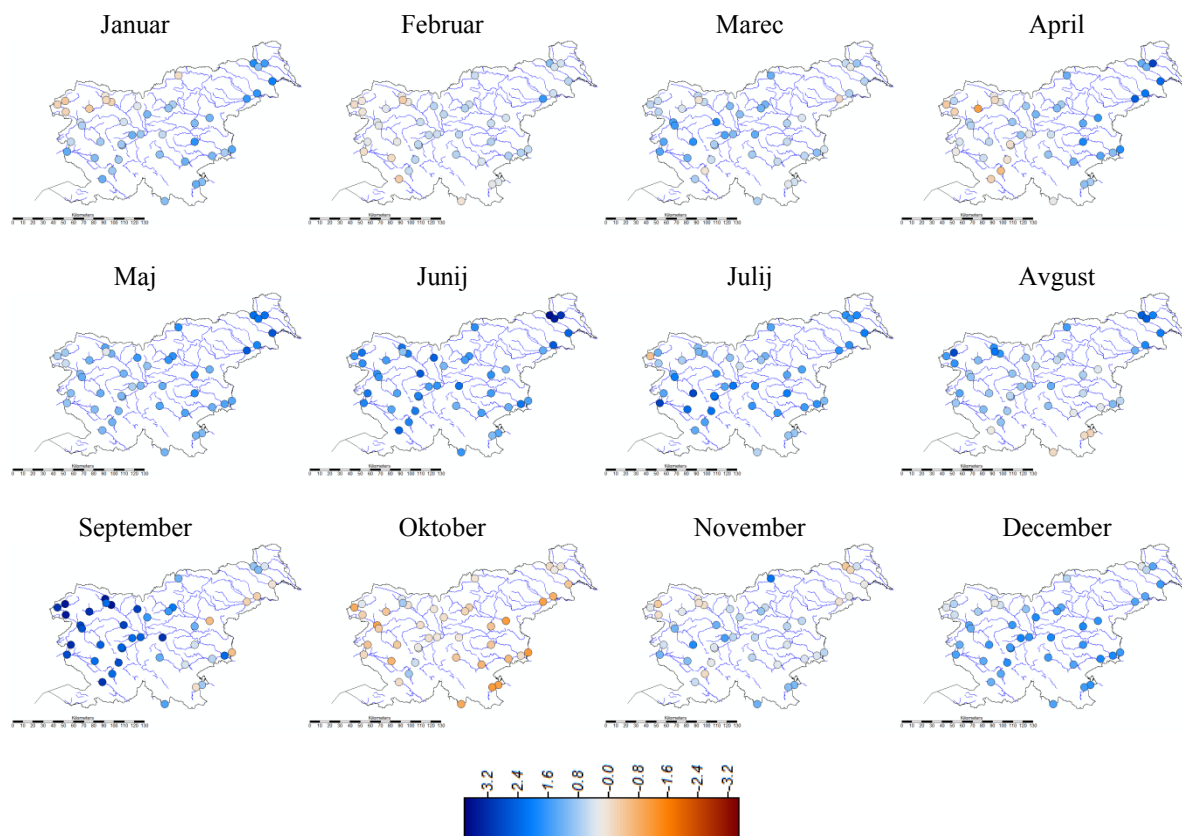
6 ANALIZA IN RAZPRAVA

6.1 Primerjava mokrega in suhega leta

S pomočjo programskega orodja SAGA GIS smo izračunane vrednosti SSI indeksov prikazali na kartah Slovenije, iz katerih je razvidna prostorska spremenljivost hidrološke suše. Po zbranih podatkih in ocenah Agencije RS za okolje smo se odločili za grafični prikaz tipičnega mokrega leta (1965) in suhega leta (2003) na petih časovnih skalah: 1-, 3-, 6-, 12- in 24-mesečna časovna skala. Pri prikazu mokrega leta (1965) nismo upoštevali postaj Čentiba in Kubed, saj niz vhodnih podatkov za to leto ni bil popoln. Vir okoljskih prostorskih podatkov o lokaciji hidroloških postaj smo pridobili preko Geoportala ARSO (Hidrološke meritve na površinskih vodah), podatke o meji Republike Slovenije pa preko Geodetske uprave Republike Slovenije (GURS, 2017).

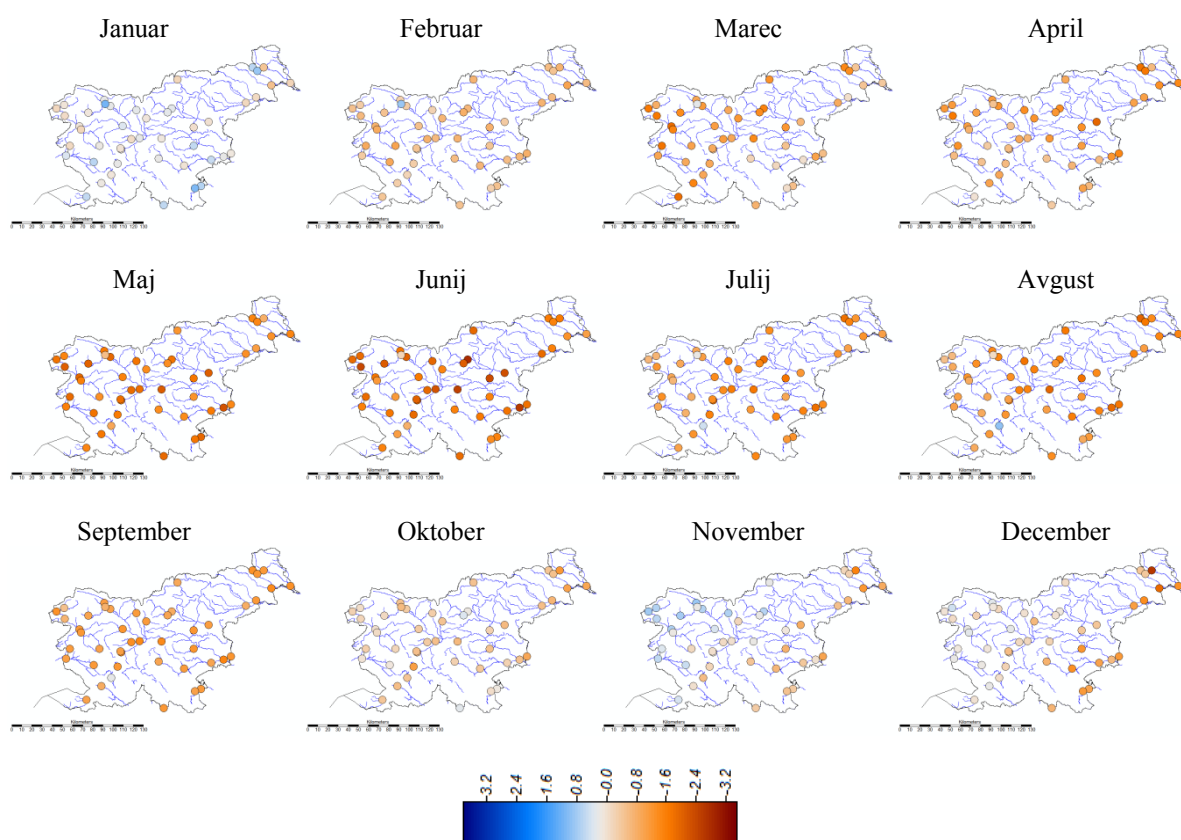
6.1.1 1-mesečni SSI indeks

Ker je bilo leto 1965 značilno mokro leto, do večjih sušnih dogodkov na nacionalni ravni ni prišlo. Po izračunanih podatkih na podlagi 1-mesečnega SSI indeksa ter prostorskega prikaza na sliki 17 je bil leta 1965 najbolj sušni mesec oktober. Najmanjši 1-mesečni SSI indeks je bil oktobra na hidrološki postaji Rakovec z vrednostjo -1.236 (zmerna suša), največji pa junija na hidrološki postaji Gornja Radgona z vrednostjo 3.523 (ekstremno mokro).



Slika 17: Prostorski prikaz 1-mesečnega SSI za leto 1965 (mokro leto)

Za prostorski prikaz suše na območju Slovenije smo izbrali leto 2003, ki spada med eno izmed najhujših sušnih let v celi Sloveniji. Sušni obdobji spomladi in poleti sta prinesli v zadnjih 50 letih (1961-2002) rekorden vodni primanjkljaj ter posledično opustošenje pridelka in finančno škodo (Magyar, 2014). V letu 2003 je bila suša izjemna spomladi kakor tudi poleti, kar je razvidno tudi iz grafičnega prikaza na sliki 18. Najmanjši SSI indeks na 1-mesečni časovni skali leta 2003 je bil izračuna junija na hidrološki postaji Nazarje z vrednostjo -2.874, kar glede na klasifikacijo suše predstavlja ekstremno sušo, največji pa januarja na hidrološki postaji Mlino z vrednostjo 1.083 (zmerno mokro). Meseca maja in junija so vrednosti SSI indeksov za vse hidrološke postaje pod vrednostjo 0. 96 % hidroloških postaj v mesecu maju ima vrednost SSI indeksa manjšo od -1, kar pomeni, da je na teh območjih zanesljivo prišlo do zmernih suš. Meseca junija pa ima kar 97 % vseh obravnavanih hidrološki postaj vrednost SSI indeksa pod -1.



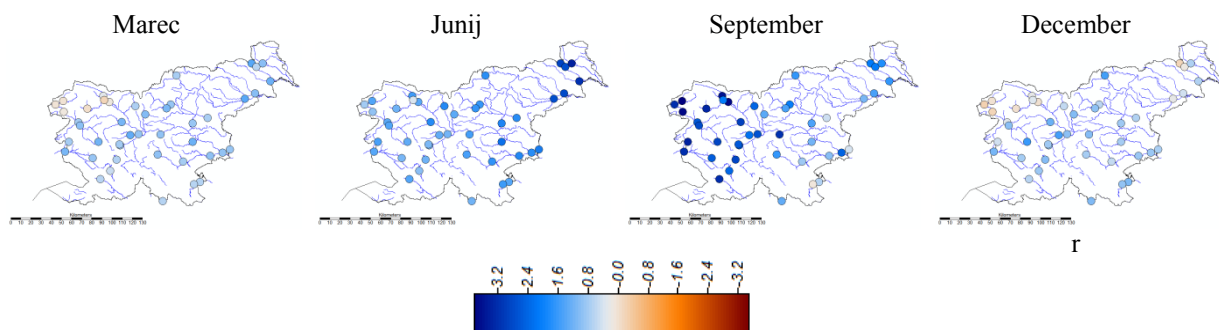
Slika 18: Prostorski prikaz 1-mesečnega SSI za leto 2003 (suho leto)

6.1.2 3-mesečni SSI indeks

Pri prikazu 3-mesečnega SSI na karti Slovenije smo se odločili, da bomo leto razdelili na 4 obdobja po tri mesece (slika 19 in 20). V vsakem obdobju smo upoštevali vrednosti SSI indeksa zadnjega meseca, torej so dejansko prikazane vrednosti SSI indeksov za mesec marec, junij, september in december.

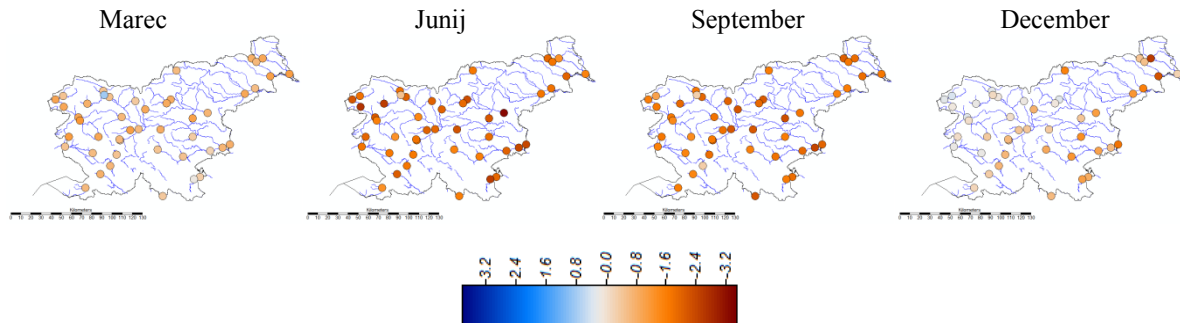
Iz slike 19 vidimo, da od prikazanih oziroma izbranih mesecev september predstavlja najbolj moker mesec na primeru 3-mesečnega SSI indeksa v mokrem letu 1965. Največje in hkrati najmanjše vrednosti indeksa se pojavljajo predvsem na severozahodu države. Največji SSI indeks na 3-mesečni

časovni skali je bil na hidrološki postaji Kal-Koritnica septembra z vrednostjo 3.886 (ekstremno mokro), najmanjši pa -0.314 decembra na hidrološki postaji Žaga (normalno stanje)



Slika 19: Prostorski prikaz 3-mesečnega SSI za leto 1965 (mokro leto)

Vrednost SSI indeksov na 3-mesečni časovni skali v letu 2003 glede na klasifikacijo suše variirajo od normalnega stanja pa do ekstremnih suš. Največja vrednost 0.740 (normalno stanje) je bila izračunana meseca marca na hidrološki postaji Mlino, najmanjša pa -3.367 (ekstremna suša) pa na hidrološki postaji Črnomica junija.

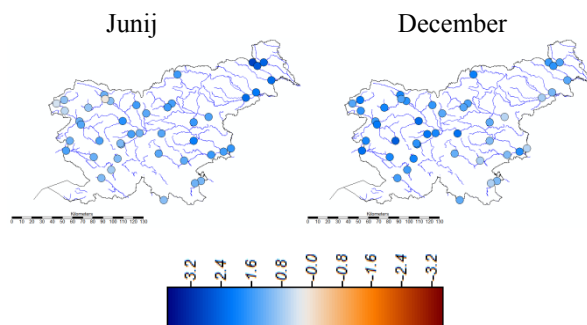


Slika 20: Prostorski prikaz 3-mesečnega SSI za leto 2003 (suho leto)

6.1.3 6-mesečni SSI indeks

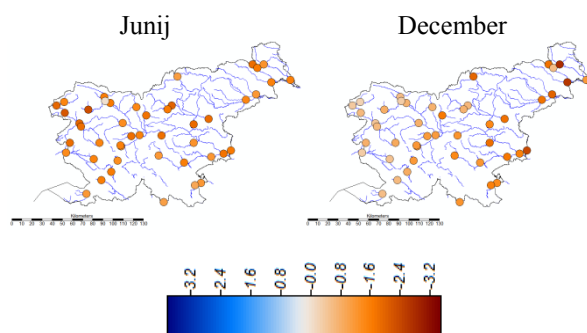
Za prikaz 6-mesečnega SSI indeksa smo leto razdelili na dva obdobja po šest mesecev. V vsakem obdobju smo upoštevali vrednosti SSI indeksa zadnjega meseca, kot je razvidno na slikah 21 in 22.

Iz slike 21 lahko vidimo, da so bile meseca junija višje vrednosti SSI indeksa na vzhodnem delu države, meseca decembra pa na zahodnem delu. SSI indeks je dosegel najvišjo vrednost 2.825 (ekstremno mokro) junija na hidrološki postaji Gornja Radgona, najnižjo vrednost 0.033 (normalno stanje) pa istega meseca na hidrološki postaji Mlino.



Slika 21: Prostorski prikaz 6-mesečnega SSI za leto 1965 (mokro leto)

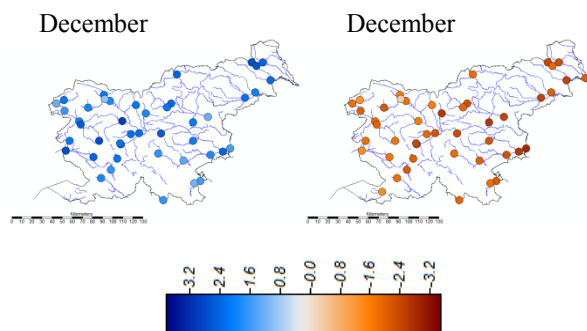
Največja vrednost SSI indeksa na 6-mesečni časovni skali v letu 2003 je bila -0.081 (normalno stanje) in izračunana za junij na hidrološki postaji Mlino, najmanjša -2.844 pa decembra na hidrološki postaji Polana (ekstremna suša).



Slika 22: Prostorski prikaz 6-mesečnega SSI za leto 2003 (suho leto)

6.1.4 12-mesečni SSI indeks

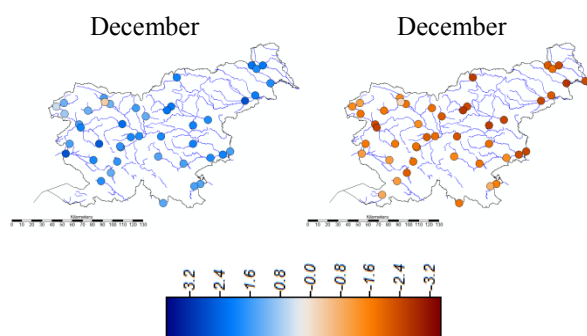
Pri grafičnem prikazu SSI indeksa na 12-mesečni časovni skali smo se odločili za prikaz meseca decembra, ki predstavlja vrednosti pretokov od januarja do decembra. Pri primerjavi mokrega (1965) in suhega (2003) leta lahko opazimo očitno razliko. Mokro leto ima na grafičnem prikazu večinoma modre barve, ki predstavljajo pozitivne vrednosti indeksa, suho leto pa rdeče barve, ki predstavljajo negativne vrednosti indeksa (slika 23). Največja vrednost indeksa decembra 1965 je bila izračunana na postaji Suha z vrednostjo 2.895 (ekstremno mokro), najmanjša pa na hidrološki postaji Mlino 0.851 (normalno stanje). Decembra 2003 je maksimalno vrednost indeks dosegel na postaji Mlino z vrednostjo -0.330 (normalno stanje), do ekstremne suše pa je prišlo na območju postaje Rakovec, kjer je indeks dosegel vrednost -2.909.



Slika 23: Prostorski prikaz primerjave 12-mesečnega SSI za leto 1965 (mokro leto) in 2003 (suho leto)

6.1.5 24-mesečni SSI indeks

Podobno kot pri 12-mesečni časovni skali smo se tudi pri grafičnem prikazu SSI na 24-mesečni časovni skali odločili za prikaz meseca decembra, ki predstavlja vrednosti pretokov od januarja prejšnjega leta do decembra obravnavanega leta (slika 24). Tudi v tem primeru lahko opazimo očitno razliko. 24-mesečni SSI leta 1965 je tako kot 12-mesečni SSI dosegel najnižjo vrednost na hidrološki postaji Mlino (-0.417), kar predstavlja normalno stanje. Ekstremno mokro leta 1965 pa je bilo na območju postaje Videm z vrednostjo indeksa 2.659. Suša leta 2003 je najbolj prizadela območje hidrološke postaje Pristave (-2.721), najmanj pa območje postaje Mlino (-0.215).



Slika 24. Prostorski prikaz primerjave 24-mesečnega SSI za leto 1965 (mokro leto) in 2003 (suho leto)

Ker se na območju Slovenije količina padavin od zahoda proti vzhodu zmanjšuje, bi v splošnem lahko pričakovali, da zahod Slovenije prizadenejo manjše suše kot pa vzhod. Vendar na rezultate vrednosti SSI indeksov ter prostorskega prikaza vidimo, da temu ni tako. Vidimo, da vrednosti SSI variirajo neodvisno od položaja hidrološke postaje in se razlikujejo v odvisnosti od izbrane časovne skale. Sušni dogodki se ne pojavljajo enakomerno, kar potrjuje, da se suša pojavlja regionalno.

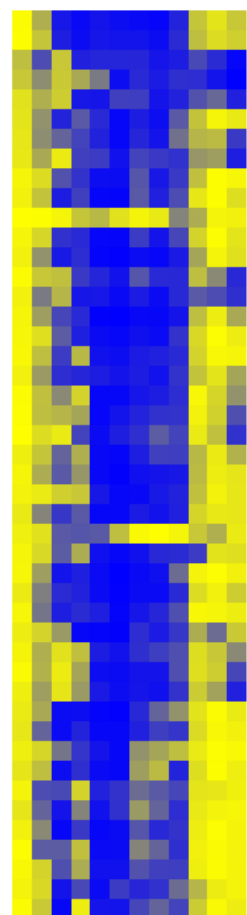
6.1.6 Analiza SSI s pomočjo kart jakosti

Z uporabo programskega orodja Orange (Orange- Data Mining Fruitful & Fun, 2018) smo rezultate SSI indeksov na različnih časovnih skalah za sušno leto 2003 predstavili s pomočjo kart jakosti (ang. *Heatmap / levelplot*), ki omogočajo grafično predstavitev rezultatov, kjer so posamezne vrednosti prikazane z različnimi barvami. Modre vrednosti na kartah prikazujejo sušne dogodke, rumene vrednosti pa mokre dogodke (slika 25). Za posamezne vrednosti SSI na različnih časovnih skalah je potrebno upoštevati pripadajoče legende.

1-mesečni SSI indeks



Jan Feb Mar Apr May Jun Jul Aug Sep Oct Nov Dec

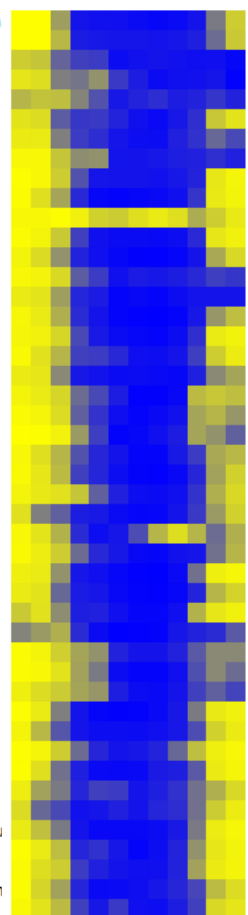


Gornja Radgona
Petanjci
Pristava
Polana
Čentiba
Otiški Vrh I
Videm
Zamušani
Podhom
Sveti Janez
Mlino I
Radovljica I
Litija
Jelovec
Rakovec
Čatež
Kokra
Suha I
Nevlje I
Petrina
Metlika
Gradac
Vrhnika
Moste
Verd I
Razori
Prestranek
Hasberg
Nazarje
Laško I
Kraše
Črnlolica
Podbukovje
Podbočje
Prečna
Kobarid I
Solkan
Kal-Koritnica
Žaga
Podroteja
Hotešk
Bača pri Modreju
Vipava
Miren
Cerkvenikov mlin
Kubed

3-mesečni SSI indeks



Jan Feb Mar Apr May Jun Jul Aug Sep Oct Nov Dec

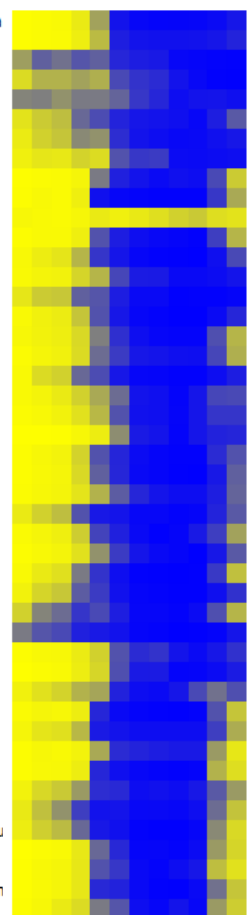


Gornja Radgona
Petanjci
Pristava
Polana
Čentiba
Otiški Vrh I
Videm
Zamušani
Podhom
Sveti Janez
Mlino I
Radovljica I
Litija
Jelovec
Rakovec
Čatež
Kokra
Suha I
Nevlje I
Petrina
Metlika
Gradac
Vrhnika
Moste
Verd I
Razori
Prestranek
Hasberg
Nazarje
Laško I
Kraše
Črnlolica
Podbukovje
Podbočje
Prečna
Kobarid I
Solkan
Kal-Koritnica
Žaga
Podroteja
Hotešk
Bača pri Modreju
Vipava
Miren
Cerkvenikov mlin
Kubed

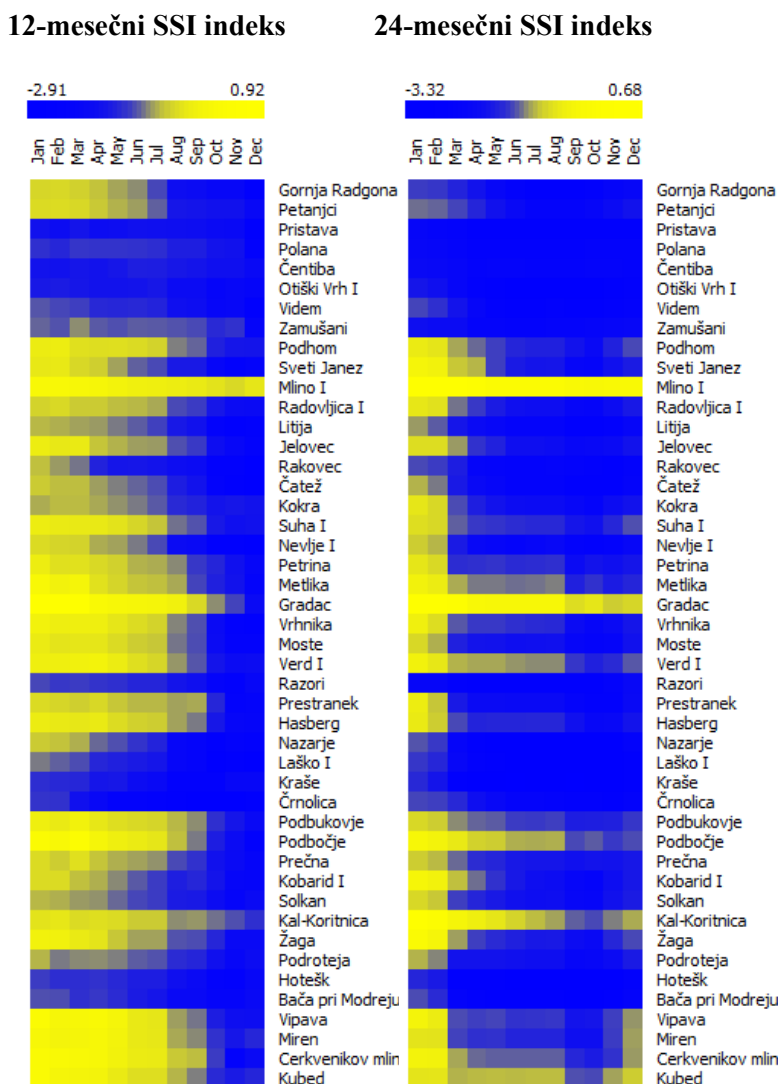
6-mesečni SSI indeks



Jan Feb Mar Apr May Jun Jul Aug Sep Oct Nov Dec



Gornja Radgona
Petanjci
Pristava
Polana
Čentiba
Otiški Vrh I
Videm
Zamušani
Podhom
Sveti Janez
Mlino I
Radovljica I
Litija
Jelovec
Rakovec
Čatež
Kokra
Suha I
Nevlje I
Petrina
Metlika
Gradac
Vrhnika
Moste
Verd I
Razori
Prestranek
Hasberg
Nazarje
Laško I
Kraše
Črnlolica
Podbukovje
Podbočje
Prečna
Kobarid I
Solkan
Kal-Koritnica
Žaga
Podroteja
Hotešk
Bača pri Modreju
Vipava
Miren
Cerkvenikov mlin
Kubed

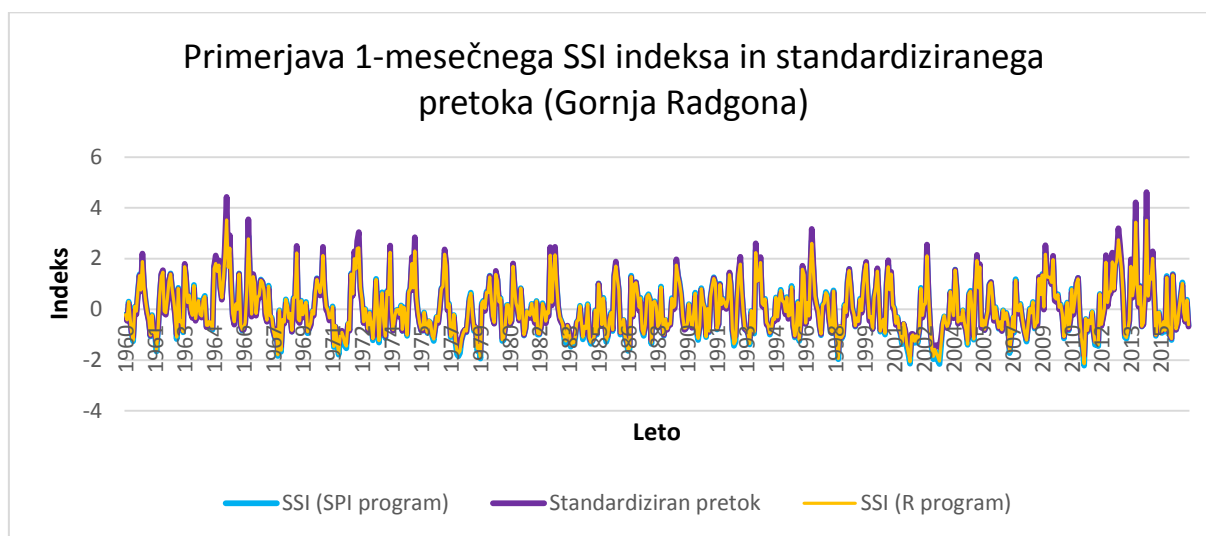


Slika 25: Karte jakosti SSI za leto 2003 (suho leto)

Iz grafičnega prikaza kart jakosti ter ob upoštevanju pripadajoče legende lahko za vsako posamezno postajo razberemo vrednosti poljubnega meseca na različnih časovnih skalah, hkrati pa lahko zelo hitro vizualno ocenimo obdobja s pozitivnimi in obdobja z negativnimi vrednostmi indeksa ter razlike med posameznimi časovnimi skalami. Izmed vseh izbranih hidroloških postaj najbolj izstopa hidrološka postaja Mlino, ki v letu 2003 na vseh podanih časovnih skalah SSI indeksov predstavlja najmanj sušno območje. Prav tako lahko vidimo, da z večanjem časovne skale sušni dogodki trajajo dlje časa.

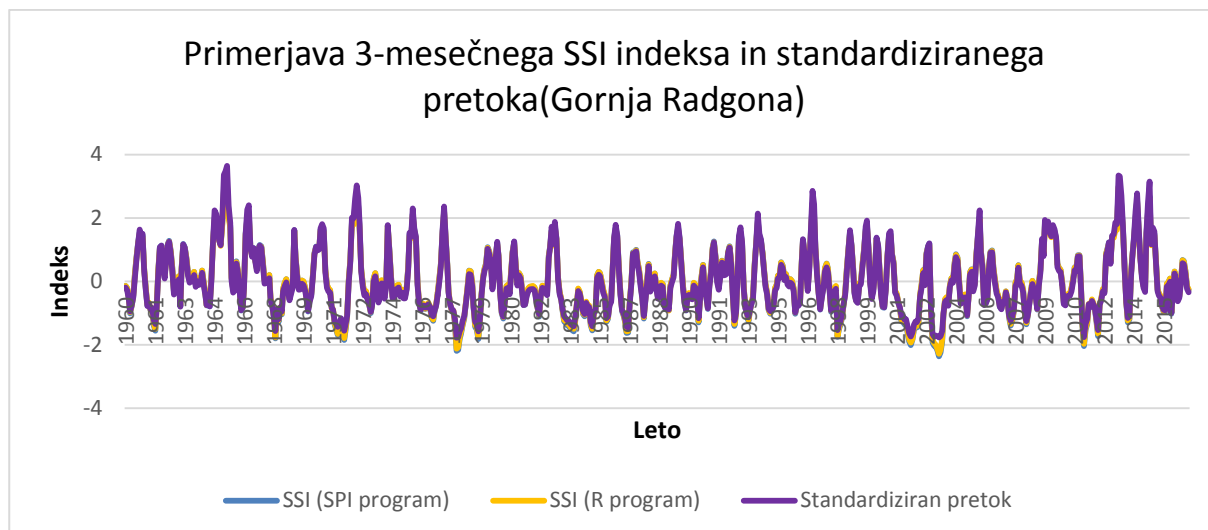
6.2 Primerjava rezultatov SSI pridobljenih s programskim orodjem R in SPI

Z uporabo SPI in R programskih orodij smo izračunali SSI indeks za posamezne hidrološke postaje na različnih časovnih skalah ter rezultate prikazali grafično. Pri analizi rezultatov, ki smo jih pridobili z uporabo obeh programskih orodij smo ugotovili, da so enaki, kot je prikazano na slikah 26 do 30. S pomočjo Excela smo izračunali tudi standardizirani pretok ter ga primerjali s SSI indeksom na 1-in 3-mesečni časovni skali.

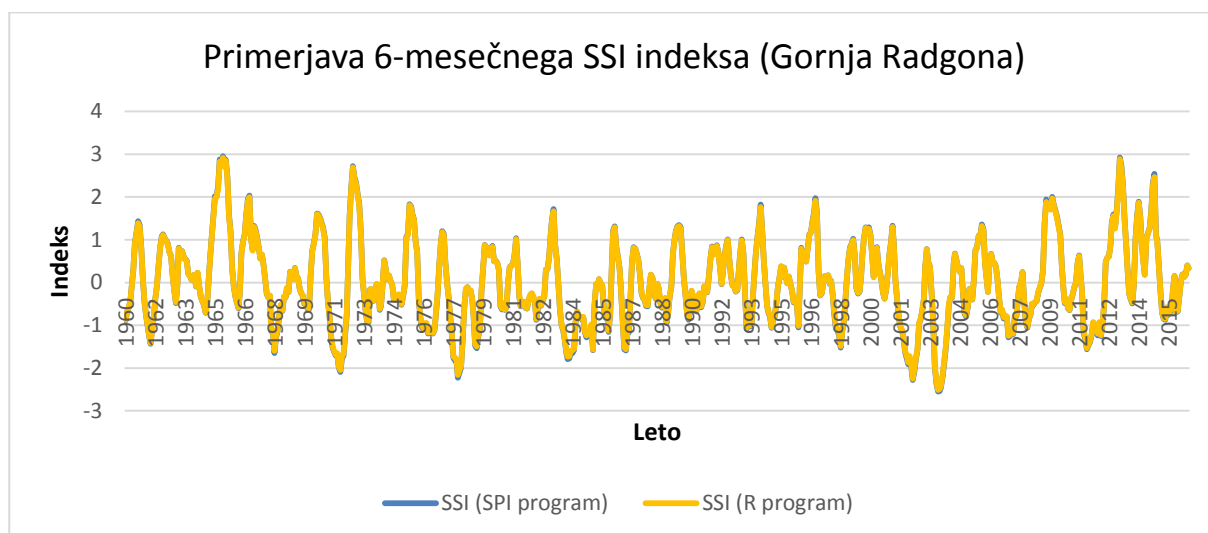


Slika 26: Primerjava 1-mesečnega SSI izračunanega z SPI in R programom ter standardiziranega pretoka za postajo Gornja Radgona

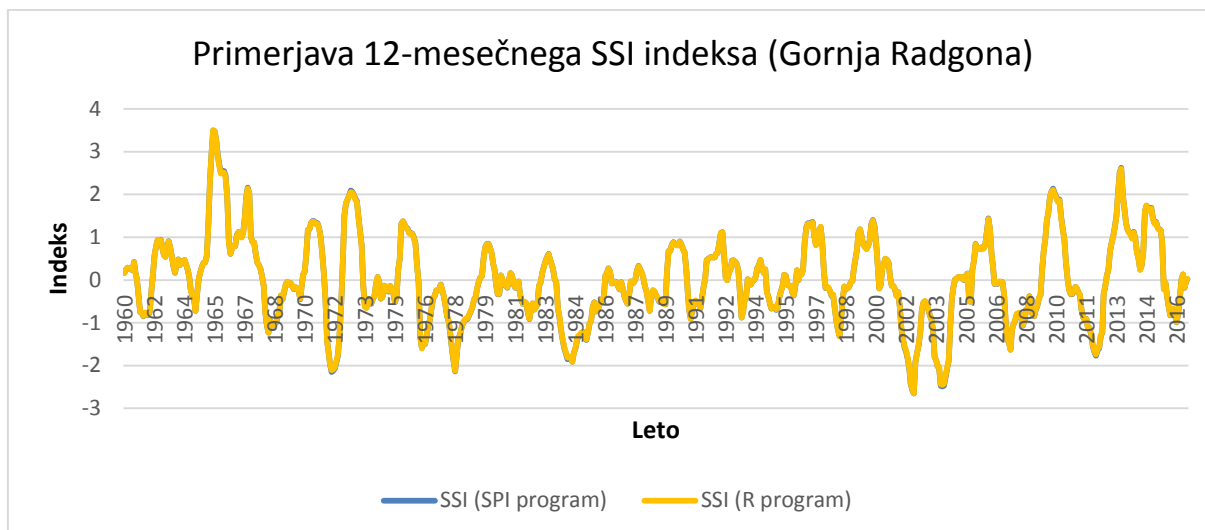
Iz slike 26 je razvidno, da sta SSI indeksa izračunana z SPI in R programom enaka. Podobno obliko grafa podajajo tudi rezultati standardiziranega pretoka, le da pride do odstopanj predvsem pri ekstremih, pri najnižjih in najvišjih vrednostih indeksa. Podatke o pretokih smo normalizirali in standardizirali za primerjavo povezanosti standardiziranega pretoka z izračunanimi vrednostmi SSI indeksa. Razlog za odstopanja oziroma razlike med SSI indeksom ter standardiziranim pretokom je uporaba različnih porazdelitvenih funkcij. SPI in R program pri izračunu SSI indeksa uporabljata gama porazdelitveno funkcijo, medtem ko je standardizirani pretok navadna standardizacijska funkcija (normalna porazdelitev) v Excelu.



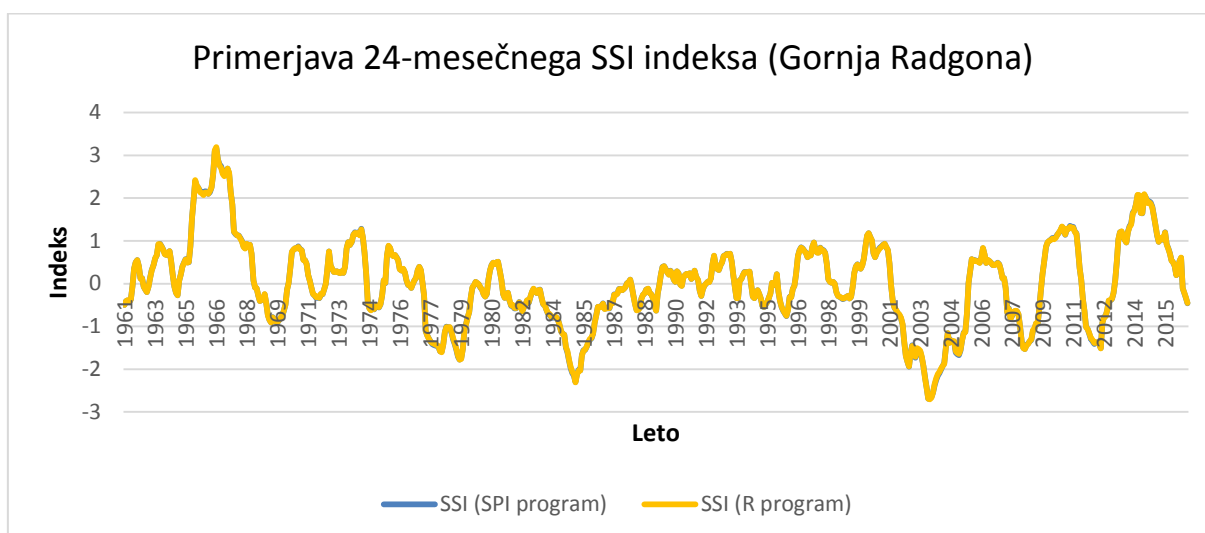
Slika 27: Primerjava 3-mesečnega SSI izračunanega z SPI in R programom ter standardiziranega pretoka za postajo Gornja Radgona



Slika 28: Primerjava 6-mesečnega SSI izračunanega z SPI in R programom ter standardiziranega pretoka za postajo Gornja Radgona



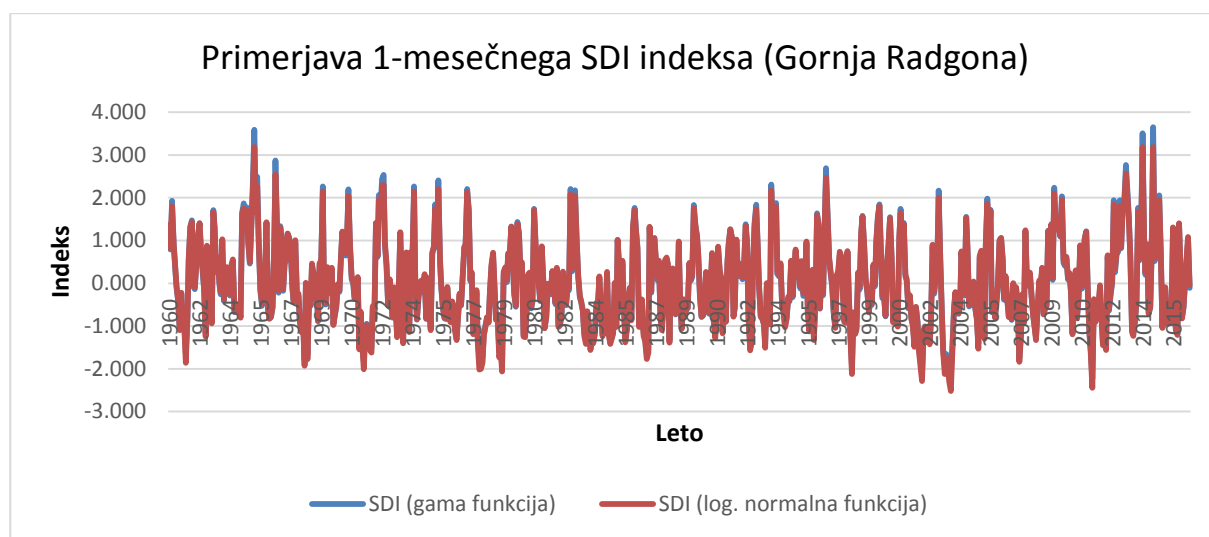
Slika 29: Primerjava 120-mesečnega SSI izračunanega z SPI in R programom ter standardiziranega pretoka za postajo Gornja Radgona



Slika 30: Primerjava 24-mesečnega SSI izračunanega z SPI in R programom ter standardiziranega pretoka za postajo Gornja Radgona

6.3 Primerjava izračuna SDI z dvema različnima porazdelitvenima funkcijama s programskim orodjem DrinC

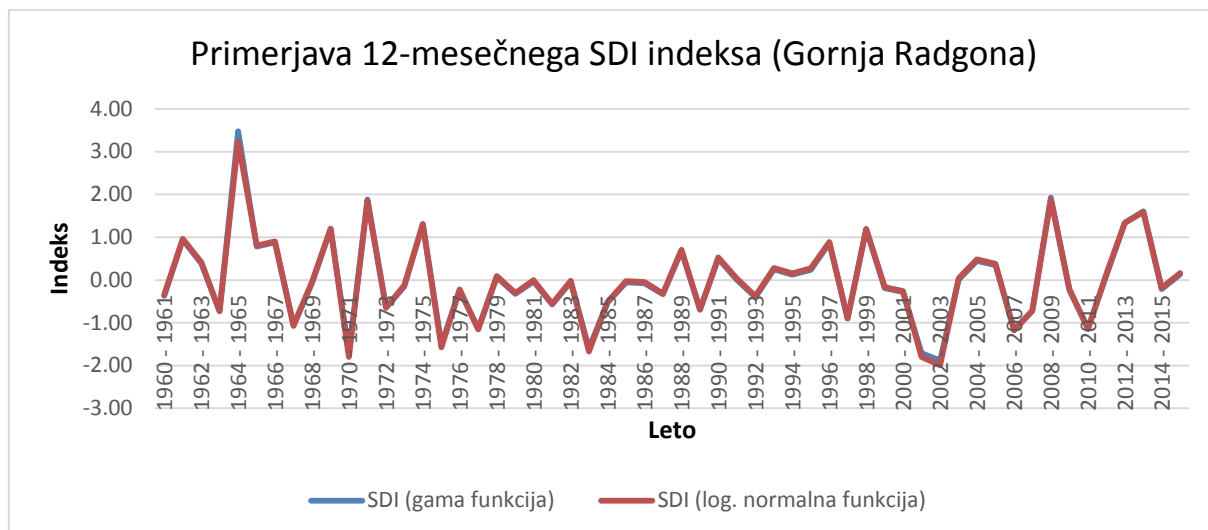
S programskim orodjem DrinC smo izračunali SDI indeks na štirih časovnih skalah: 1-, 3-, 6- in 12-mesečni časovni skali. Indeks smo računali z dvema različnima porazdelitvenima funkcijama, in sicer z gama in logaritemsko normalno funkcijo. Za primerjavo med gama in logaritemsko normalno funkcijo so na slikah 31 do 34 podani 1-, 3-, 6- in 12-mesečni SDI indeksi za hidrološko postajo Gornja Radgona.



Slika 31: Primerjava 1-mesečnega SDI izračunanega z gama in logaritemsko normalno funkcijo z uporabo programa DrinC za postajo Gornja Radgona

Sušni dogodki prikazani na sliki 31 se začnejo, kadar je krivulja pod vrednostjo nič in trajajo toliko časa, dokler se krivulja ne povzpne nad vrednost nič. Iz slike 31 je razvidno, da se je najekstremnejša suša zgodila leta 2003 (avgusta 2003), ko je vrednost indeksa dosegla največjo vrednost indeksa (-2.13). Sušna leta, kjer indeks preseže vrednost -2 so bila naslednja: 1971, 1977, 1978, 1988, 2002 in 2003. Med najbolj mokra leta pa spadata leto 1965 in 2014, kjer vrednosti indeksa presegajo vrednost 3.

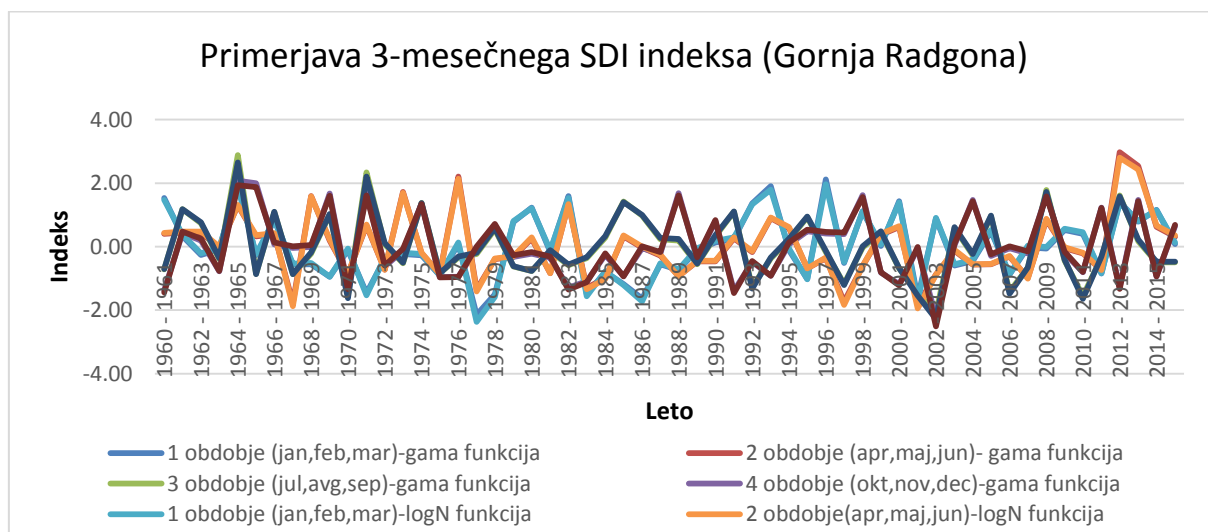
1-mesečna SDI, ki sta izračunana z različnima porazdelitvenima funkcijama, sta si zelo podobna (slika 31). Odstopanje oziroma razlika med njima se pojavi pri ekstremih, t.j. najnižjih in najvišjih vrednosti indeksov. SSI izračunan s porazdelitveno funkcijo gama daje rezultate, ki so na grafu pomaknjeni nekoliko višje v primerjavi z rezultati, izračunanimi z logaritemsko normalno funkcijo. Ugotovili smo, da izbira funkcije posredno ne vpliva na vse vrednosti sušnega indeksa temveč le na maksimalne in minimalne vrednosti.



Slika 32: Primerjava 12-mesečnega SDI izračunanega z gama in logaritemsko normalno funkcijo z uporabo programa DrinC za postajo Gornja Radgona

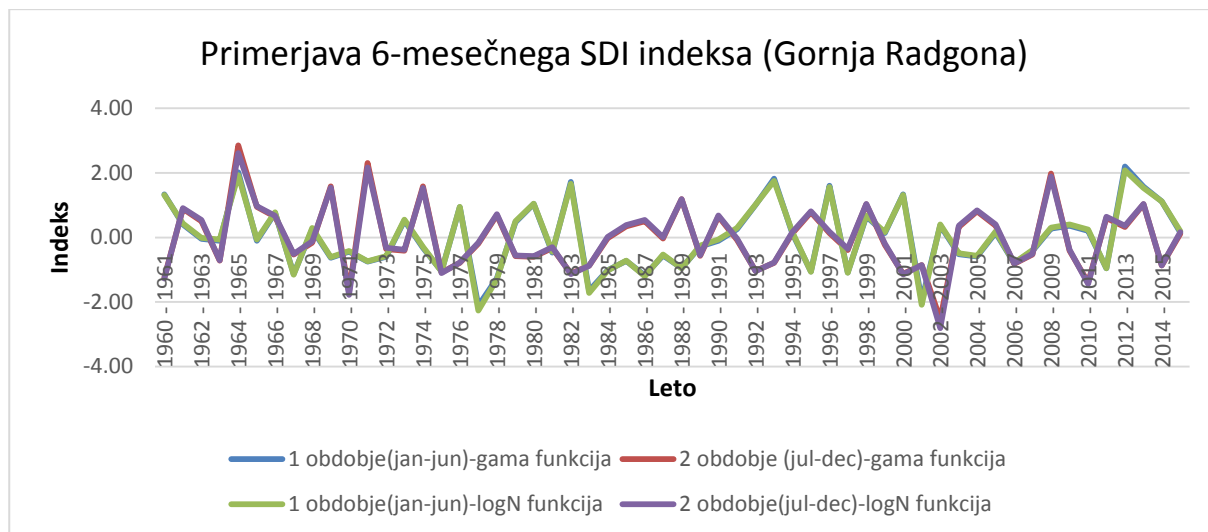
Na sliki 32 vidimo, da je podobnost 12-mesečnega SDI indeksa izračunanega z gama in logaritemsko normalno porazdelitvijo še večja kot v primeru 1-mesečnega SDI indeksa. To pomeni, da je variabilnost indeksa na krajših časovnih skalah večja kot na daljših. Na daljših časovnih skalah je suša manj pogosta, vendar je trajanje daljše in bolj intenzivno.

Ker DrinC program računa 3-mesečni SDI indeks za posamezna obdobja sestavljena iz treh mesecev (dvanajst mesecev razdeli na štiri obdobja po tri zaporedne mesece skupaj) smo se odločili da posamezna obdobja za primerjavo prikažemo na skupnem grafu (slika 33).



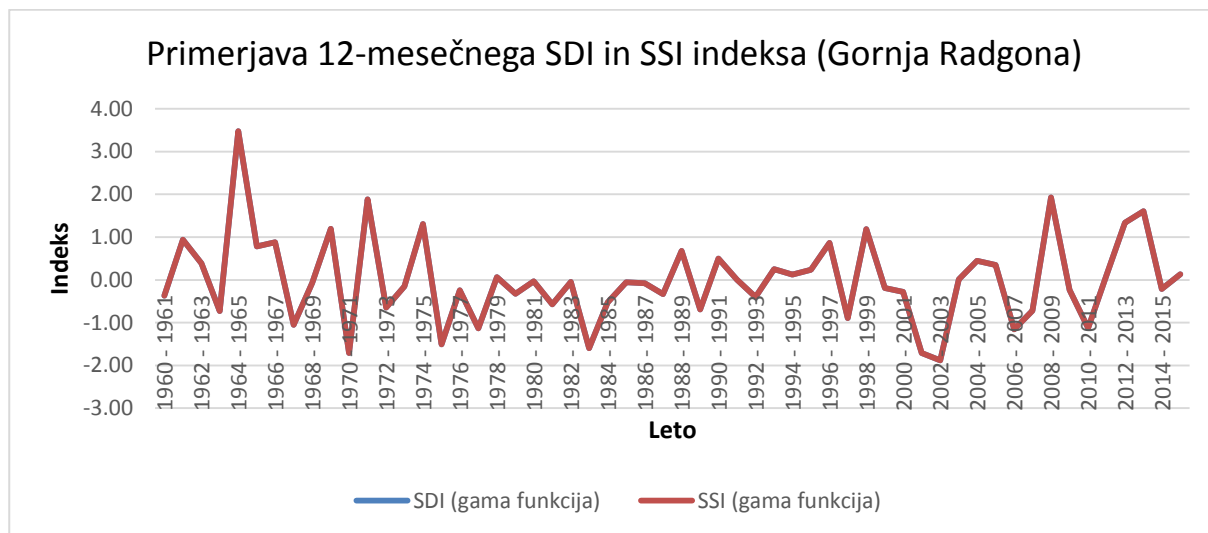
Slika 33: Primerjava 3-mesečnega SDI izračunanega z gama in logaritemsko normalno funkcijo z uporabo programa DrinC za postajo Gornja Radgona

6-mesečni SDI je izračunan za dve obdobji sestavljeni iz šestih mesecev (program dvanajst mesecev razdeli na dve obdobji po šest zaporednih mesecev skupaj). Rezultati so prikazani na sliki 34.

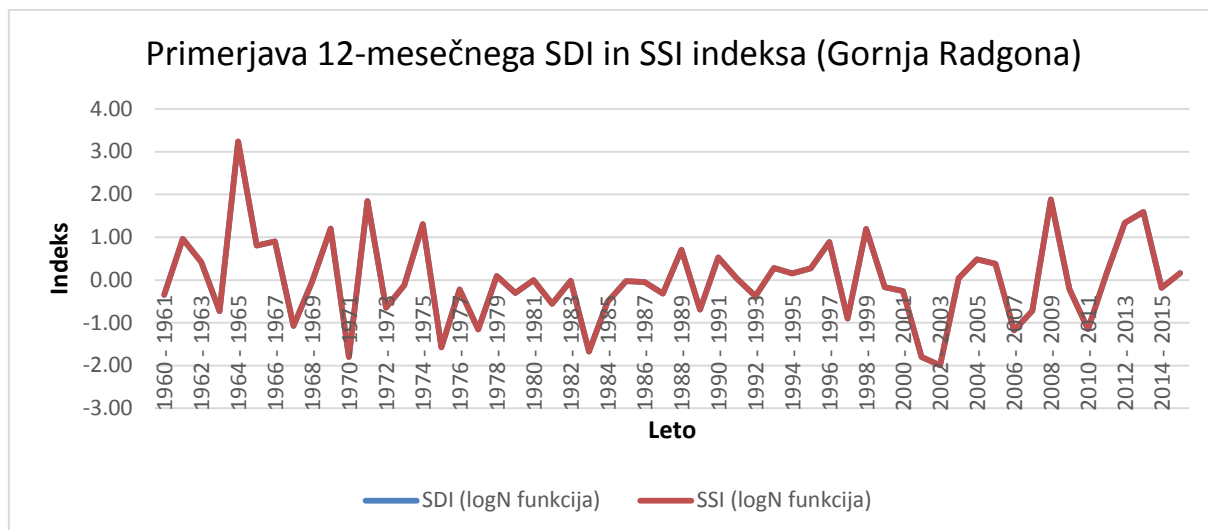


Slika 34: Primerjava 6-mesečnega SDI izračunanega z gama in logaritemsko normalno funkcijo z uporabo programa DrinC za postajo Gornja Radgona

S programom DrinC smo dodatno izračunali tudi indeks SSI (preko SPI modula, ki je vgrajen v program). Ugotovili smo, da so rezultati SDI in SSI indeksa identični, kar je razvidno na slikah 35 in 36, kjer sta prikazana 12-mesečna SDI in SSI, izračunana z gama ter logaritemsko normalno porazdelitveno funkcijo.



Slika 35: Primerjava 12-mesečnega SDI in SSI izračunanega z gama verjetnostno porazdelitveno funkcijo z uporabo programa DrinC za postajo Gornja Radgona



Slika 36: Primerjava 12-mesečnega SDI in SSI izračunanega z logaritemsko normalno verjetnostno porazdelitveno funkcijo z uporabo programa DrinC za postajo Gornja Radgona

Pri izračunu SDI in SSI indeksa s programom DrinC dobimo torej enake rezultate, kar lahko pripišemo temu, da osnovo za izračun obeh indeksov predstavlja SPI metodologija.

6.4 Analiza števila hudih in ekstremnih suš

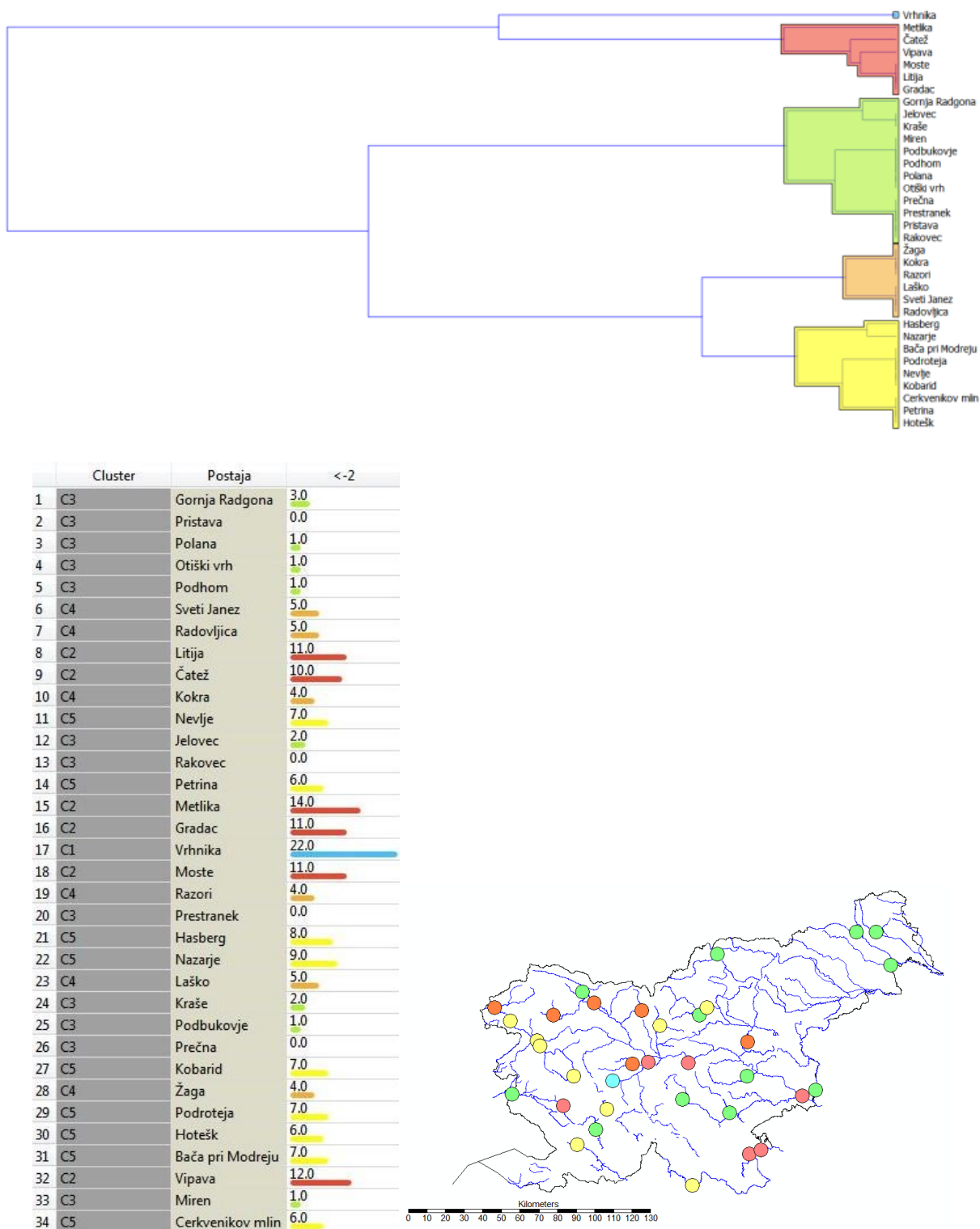
S programskim orodjem Orange (Orange- Data Mining Fruitful & Fun, 2018) smo grafično analizirali število hudih in ekstremnih suš, ki smo jih izračunali, kot je prikazano v poglavju 5.1 Število hudih in ekstremnih suš v preglednici 9.

Na slikah 37 do 42 so prikazani dendogrami hierarhičnega razvrščanja (ang. *hierarchical clustering*) z uporabo evklidske razdalje in Wardove metode razvrščanja. Rezultate hierarhičnega razvrščanja za različne časovne skale smo nato s pomočjo programskega orodja SAGA GIS grafično prikazali na kartah Slovenije.

Iz rezultatov hierarhičnega razvrščanja lahko vidimo, da metoda razvrščanja v vseh primerih hidrološke postaje glede na podobnost rezultatov razdeli v pet različnih skupin. Skupine so med seboj ločene z barvami: C1 (modra barva), C2 (rdeča barva), C3 (zelena barva), C4 (oranžna barva) in C5 (rumena barva). Iz dodanih preglednic na slikah 37-42 so razvidne hidrološke postaje, uvrščene v posamezno skupino ter število dogodkov, ko je bil SSI indeks manjši od -2 (ekstremna suša) ali -1.5 (huda suša) na različnih časovnih skalah. Prav tako lahko za vsako skupino vidimo meje območja, v katerih se gibljejo vrednosti števila ekstremnih sušnih dogodkov.

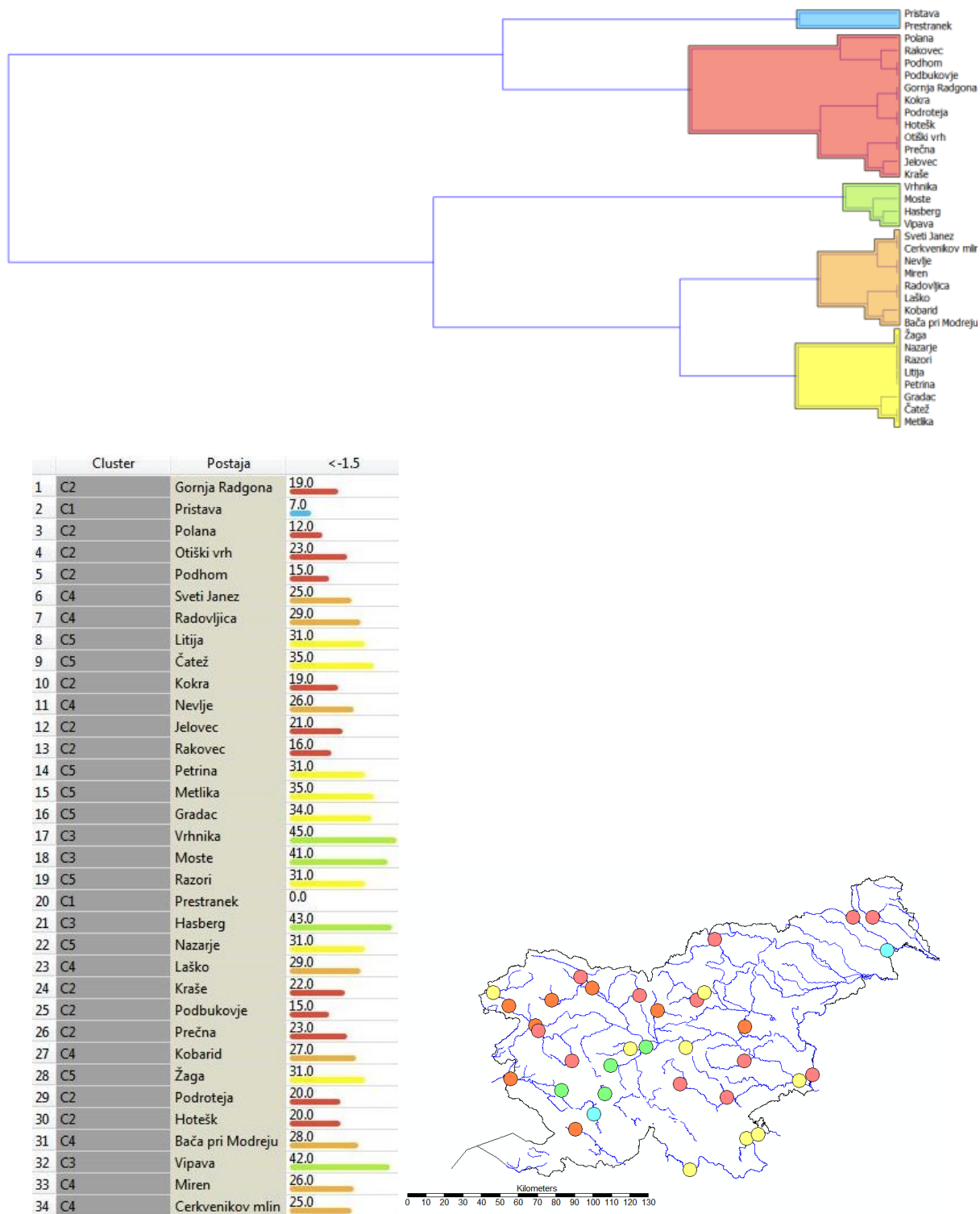
V primeru 1-mesečne časovne skale lahko opazimo, da se v skupini C5 (rumena barva), kamor se uvrščajo hidrološke postaje s številom ekstremnih sušnih dogodkov od 6 do 9, nahajajo predvsem hidrološke postaje na vzhodu države. Največ ekstremnih suš v obdobju od leta 1960 do 2016 se je zgodilo na območju hidrološke postaje Vrhnika (22 dogodkov). V skupini C4 (oranžna barva), ki jo sestavljajo hidrološke postaje s številom ekstremnih dogodkov med 4 in 5, pa se nahajajo predvsem

postaje na severu države. Ostale hidrološke postaje ter njihova razporeditev v skupine hierarhičnega razvrščanja nakazujejo na neenakomerno razporeditev ekstremnih suš.



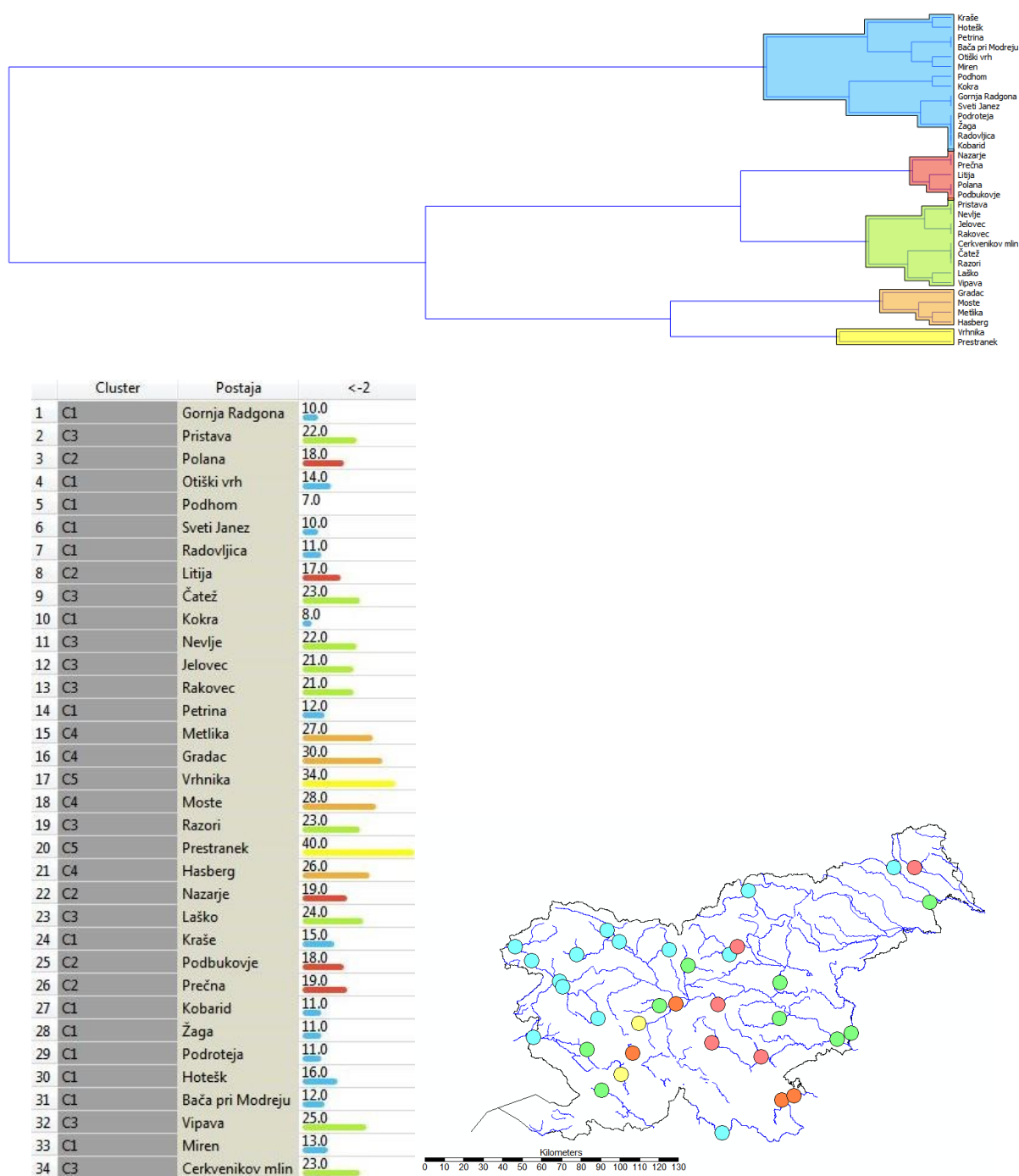
Slika 37: Dendrogram hierarhičnega razvrščanja SSI manjšega od -2 (ekstremna suša) na 1-mesečni časovni skali ter prostorski prikaz razvrstitve na karti Slovenije

Večje število sušnih dogodkov se pojavi če zmanjšamo mejo SSI na -1.5 (huda suša), kar lahko vidimo na sliki 38. Vidimo, da skupine C2 (rdeča barva), C4 (oranžna barva) in C5 (rumena barva) prostorsko prekrivajo celotno območje Slovenije. Skupina C3 (zelena barve), kjer je število dogodkov največje in se giblje med 41 in 45 pa je omejeno predvsem na osrednji in jugozahodni del Slovenije.



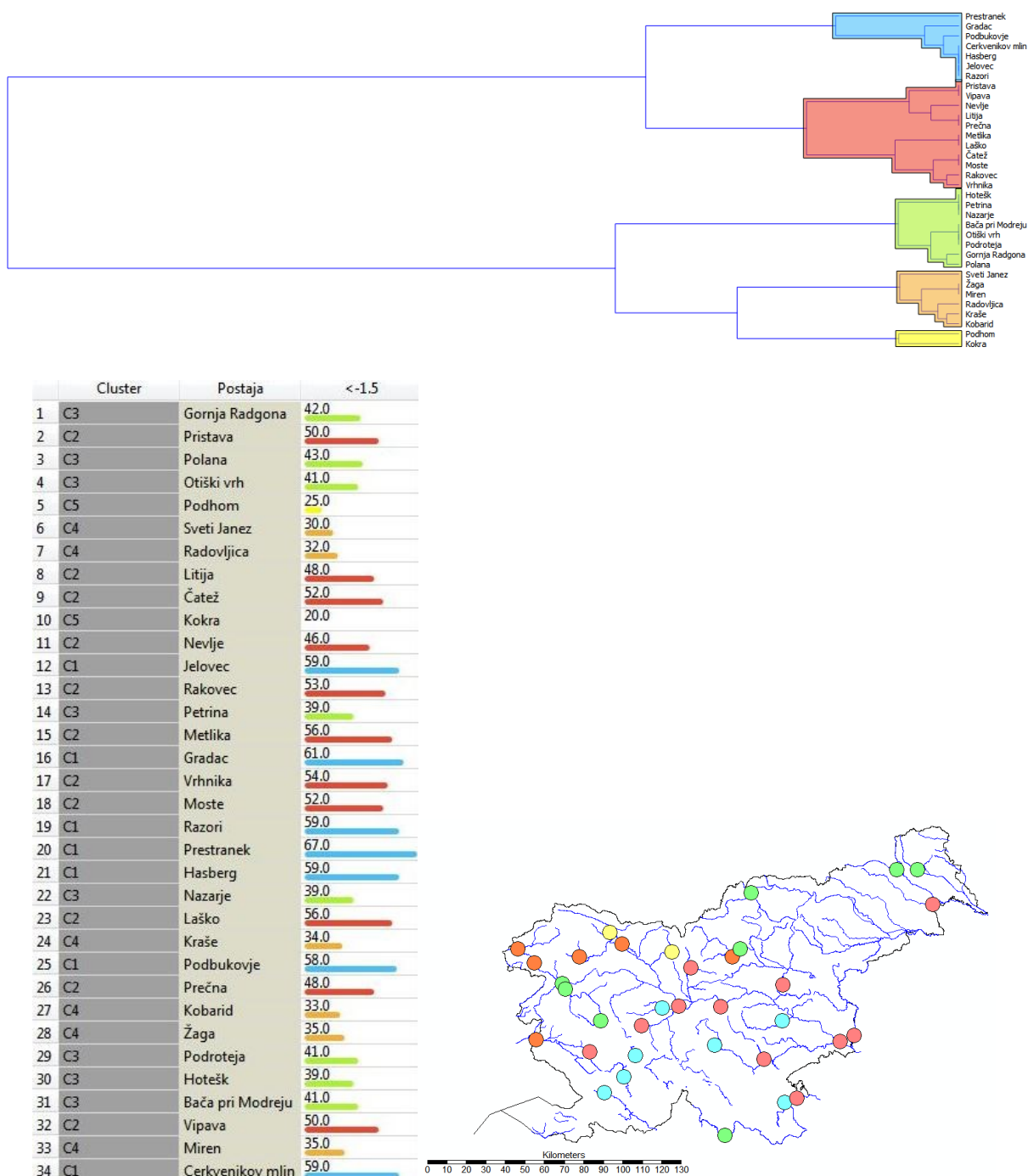
Slika 38: Dendrogram hierarhičnega razvrščanja SSI manjšega od -1.5 (huda suša) na 1-mesečni časovni skali ter prostorski prikaz razvrstitve na karti Slovenije

Z večanjem časovne skale (6-mesečna) se število dogodkov, ko je SSI indeks manjši od -2, večja, kar lahko vidimo na sliki 39, saj se je na vseh obravnavanih hidroloških postajah zgodilo vsaj 7 ekstremnih sušnih dogodkov, Največ pa je zabeleženih na postaji Prestranek, in sicer kar 40. Poleg postaje Prestranek je v skupino C5 (rumena barva) z največ hudimi sušami uvrščena še postaja Vrhnika. Skupina C1 (modra barva) se nahaja predvsem na območju severozahodne Slovenije, skupina C3 (zeleno barva) pa predvsem na jugovzhodnem delu Slovenije. Ostali dve skupini pokrivata predvsem osrednji in vzhodni del Slovenije.



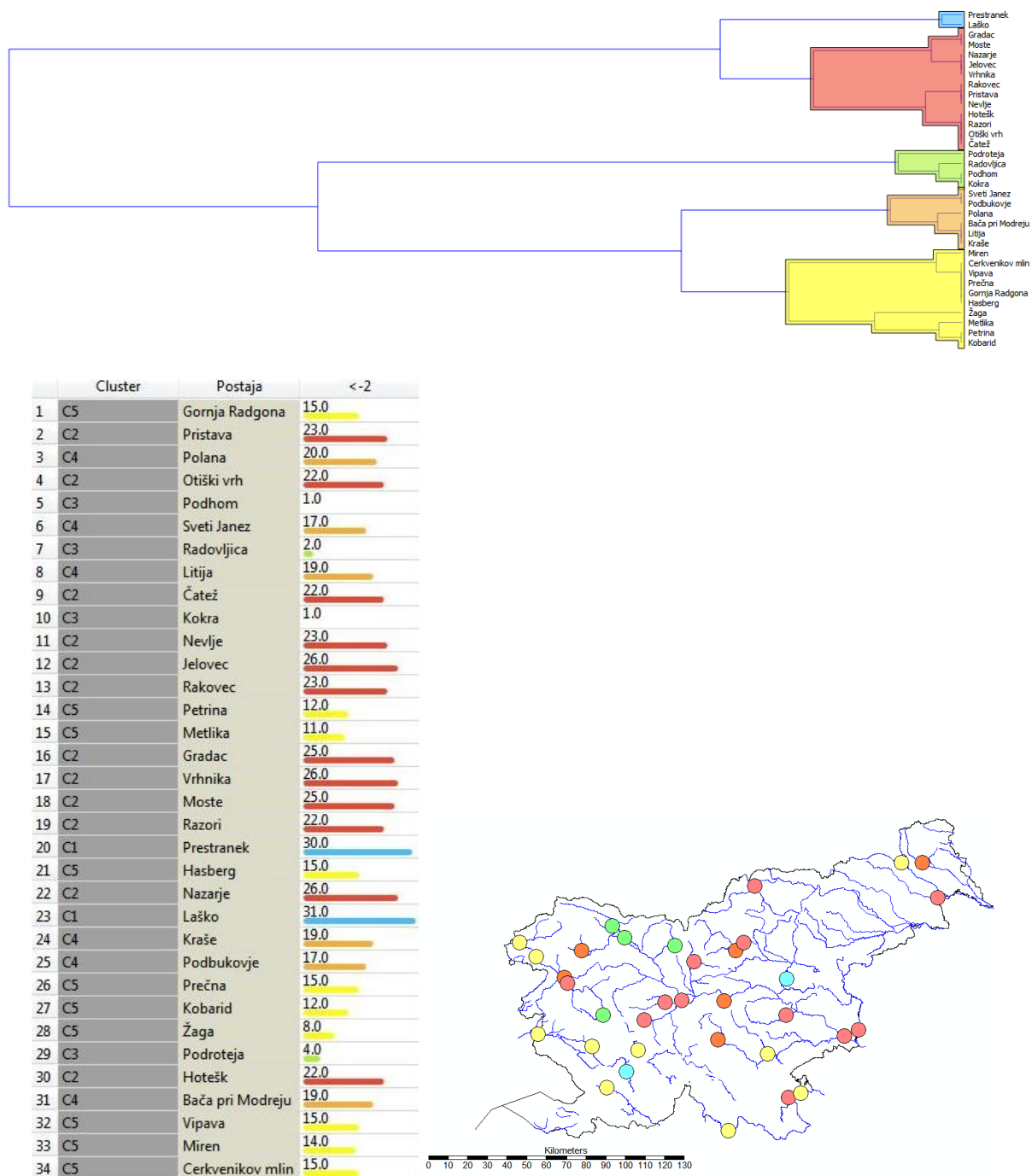
Slika 39: Dendrogram hierarhičnega razvrščanja SSI manjšega od -2 (ekstremna suša) na 6-mesečni časovni skali ter prostorski prikaz razvrstitve na karti Slovenije

Na sliki 40 lahko vidimo, da se na 6-mesečni časovni skali skupina C4 (oranžna barva), ko se število hudih sušnih dogodkov giblje med 30 in 35, nahaja predvsem na zahodnem delu Slovenije. Južni del zazvema predvsem skupina C1 (modra barva), kamor se uvrščajo hidrološke postaje z največjim številom dogodkov. Skupini C2 (rdeča barva) in C3 (zeleno barva) v splošnem zavzemata celotno območje Slovenije, medtem ko se v skupino C5 (rumena barva), z najmanjšim številom hudih suš, uvrščata le dve hidrološki postaji, ki se nahajata na severozahodu Slovenije.



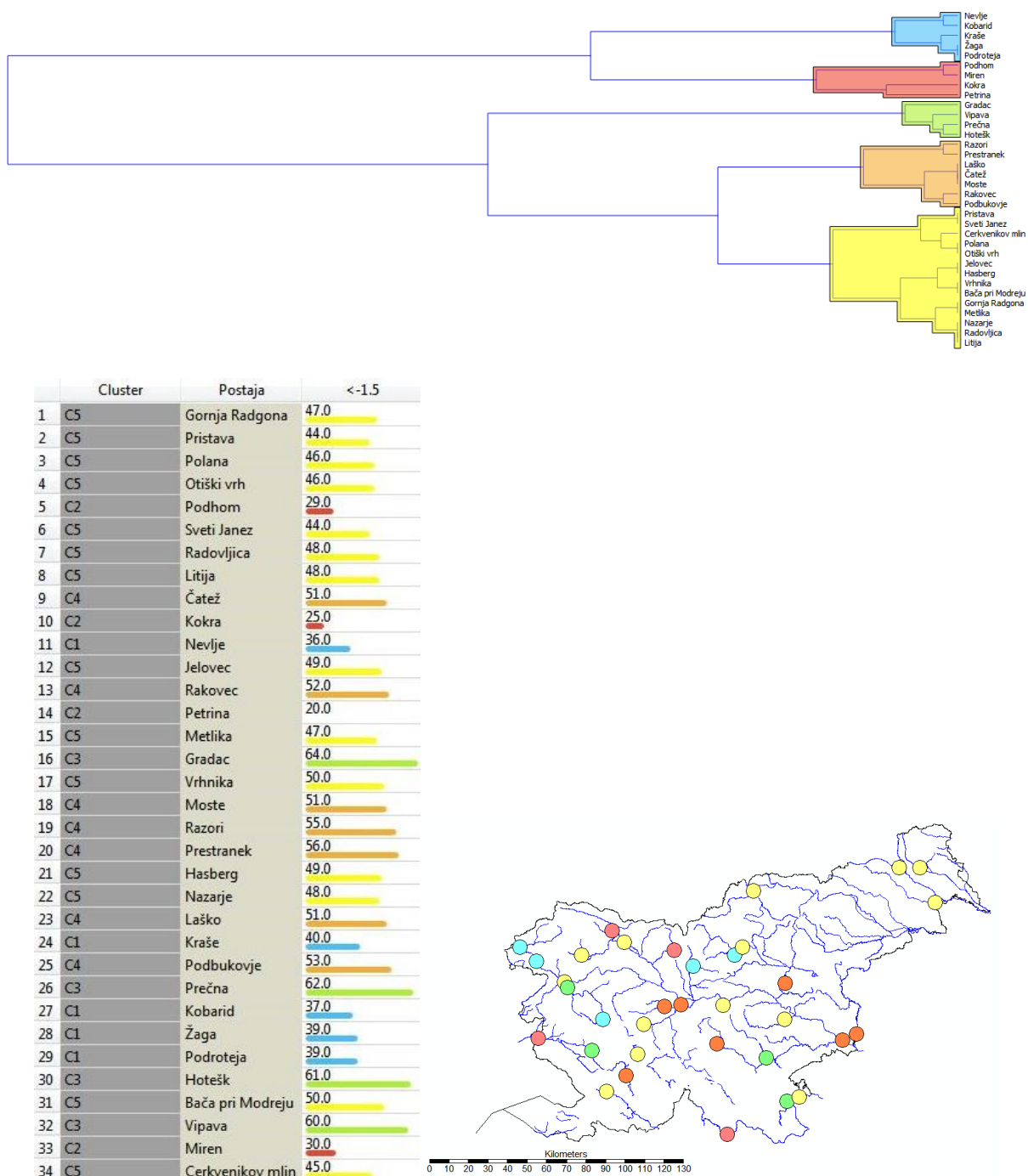
Slika 40: Dendrogram hierarhičnega razvrščanja SSI manjšega od -1.5 (huda suša) na 6-mesečni časovni skali ter prostorski prikaz razvrstitve na karti Slovenije

Hidrološke postaje z najmanjšim številom dogodkov, ko je SSI indeks manjši od -2 (ekstremna suša), spadajo v skupino C3 (zelena barva) ter se nahajajo predvsem na severozahodu Slovenije. Skupina C5 (rumena barva) zavzema predvsem južni del Slovenije, z izjemo hidrološke postaje Gornja Radgona. Iz slike 41 je razvidno, da so ostale skupine neenakomerno razporejene po Sloveniji.



Slika 41: Dendrogram hierarhičnega razvrščanja SSI manjšega od -2 (ekstremna suša) na 12-mesečni časovni skali ter prostorski prikaz razvrstitve na karti Slovenije

V primeru SSI indeksa manjšega od -1.5 (huda suša) na 12-mesečni časovni skali (slika 42) lahko vidmo, da nobena skupina, ki jo sestavljajo hidrološke postaje glede na število dogodkov ne zavzema točno določenega območja Slovenije, temveč so skupine večinoma razporejene po celotnem območju Slovenije.



Slika 42: Dendrogram hierarhičnega razvrščanja SSI manjšega od -1.5 (huda suša) na 12-mesečni časovni skali ter prostorski prikaz razvrstitve na karti Slovenije

Iz analize hierarhičnega razvrščanja SSI rezultatov in prostorske razporeditve posameznih skupin lahko trdimo, da suša ne zajame vseh območij Slovenije enakomerno, torej gre za regionalen pojav. Razlike se pojavljajo tudi znotraj vsake skupine, v katero so razvrščene posamezne hidrološke postaje

7 ZAKLJUČKI

Izbira ter uporaba sušnega indeksa za ovrednotenje suše sta zelo pomembni, saj s pridobljenimi rezultati lahko pridemo do različnih zaključkov, ki predstavljajo pomembne smernice v prihodnosti. Pomembno je, kateri sušni indeks izberemo, saj je vsak indeks vezan na določen del hidrološkega kroga in so zato uporabljene metodologije za izračun indeksov različne. Strokovnjaki priporočajo uporabo standardiziranega padavinskega indeksa (SPI), ki se ga v praksi običajno uporablja za vrednotenje meteorološke suše. V Sloveniji SPI indeks že uporablja Agencija RS za okolje za ovrednotenje meteorološke suše v kalibracijskem obdobju od leta 1971 do leta 2000.

Za določitev hidrološke suše standardizirani sušni indeksi uporabljajo kot vhodne podatke različne hidrološke spremenljivke. Za površinske vode se najpogosteje uporabljajo podatki o pretokih, ki so lahko merjeni ali simulirani. V magistrski nalogi smo analizirali hidrološko sušo s pomočjo standardiziranega indeksa pretoka (SSI) in sušnega indeksa pretoka (SDI) na območju Slovenije. Standardizirana hidrološka indeksa SSI in SDI temeljita na enaki metodologiji izračuna kot padavinski indeks SPI, zato lahko programska orodja za izračun SPI uporabimo tudi za izračun teh dveh indeksov.

Vhodni podatki za izračun hidroloških sušnih indeksov izvirajo iz podatkov o pretokih na hidroloških postajah iz mreže merilnih mest državnega hidrološkega monitoringa. Hidrološke postaje smo izbrali glede na razpoložljive nize podatkov, ki so na voljo na Agenciji RS za okolje za obdobje od leta 1960 do leta 2016. Kljub temu, da programska orodja omogočajo izračun sušnih indeksov z manjkajočimi podatki smo ugotovili, da je za natančne rezultate potreben čim bolj popoln niz vhodnih podatkov.

Ugotovili smo, da je izračun SSI indeksa dokaj enostaven, saj vhodne podatke predstavljajo le podatki o pretokih. Lahko ga izračunamo na različnih časovnih skalah, kar nam omogoča lažjo opredelitev začetka, trajanja ter intenzitete suše. Prav tako podaja enake rezultate kot SDI indeks. Ker SSI indeks podaja pravilne rezultate glede preteklih sušnih dogodkov, ki so se zgodili na območju Slovenije, bi za nadaljnje analize hidrološke suše v Sloveniji priporočili uporabo le tega. Za operativno spremljanje hidrološke suše bi bilo potrebno najverjetneje uporabiti večje število hidroloških sušnih indeksov, saj eden ne more v celoti ovrednotiti trajanja in jakosti hidrološke suše. Priporočili bi analizo hidrološke suše z PHDI indeksom, ki bi ga nato primerjali s točnostjo izračunov pridobljenih s SSI indeksom.

Z različnimi analizami ter prostorskim prikazom ekstremnih in hudih sušnih dogodkov na območju Slovenije smo jasno pokazali in dokazali, da vsekakor velja dejstvo, da je suša tudi v Sloveniji regionalen pojav, saj ne zajame vseh območij Slovenije hkrati in enakomerno.

Ker je suša v zadnji dveh desetletjih v Sloveniji vse pogostejša, priporočamo uporabo in spremljanje omenjenih sušnih indeksov, s katerimi bi zagotovili informacije za nadaljnje načrtovalne ukrepe v primeru pojava sušnih dogodkov.

VIRI

Agencija RS za okolje. 2018. Uradna vremenska napoved za Slovenijo. Standardizirani padavinski indeks (SPI).

http://meteo.arso.gov.si/met/sl/agromet/indeks_spi/ (Pridobljeno 30. 3. 2018.)

Barker, L. J., Hannaford, J., Chiverton, A. in Svensson, C. 2016. From meteorological to hydrological drought using standardised indicators. *Hydrology and Earth System Sciences*. 20: 2483–2505.

[doi:10.5194/hess-20-2483-2016](https://doi.org/10.5194/hess-20-2483-2016)

Bat, M. in Miklavčič, J. 2011. Hidrolog – nov informacijski sistem državne hidrološke službe. *Hidrološki letopis Slovenije* 2008. 19: 8-14.

Bhuiyan, C. 2004. Various drought indices for monitoring drought condition in Aravalli terrain of India. Department of Civil Engineering, Indian Institute of Technology Kanpur.

https://www.researchgate.net/publication/229042188_Various_drought_indices_for_monitoring_drought_condition_in_Aravalli_terrain_of_India (Pridobljeno 12. 11. 2017.)

Böhner, J., McCloy, K.R., Strobl, J. 2006. SAGA – Analysis and Modelling Applications. Göttinger, Göttinger Geographische Abhandlungen.

<http://saga-gis.org/en/index.html> (Pridobljeno 5. 3. 2018.)

Castano, A. 2012. Monitoring drought at river basin and regional scale: application in Sicily. Doktorska disertacija. Italy, University of Catania (samozaložba A. Castano): 115 f.

Ceglar, A. Drought indices. Ljubljana, University of Ljubljana, Biotechnical faculty: 32.

<https://www.scribd.com/document/172461401/70-Drought-Indices-a-Ceglar> (Pridobljeno 20. 10. 2017.)

Ceglar, A., Kajfež-Bogataj, L. 2008. Obravnava meteorološke suše z različnimi indikatorji. *Acta agriculturae Slovenica*. 91, 2: 407-425.

Demšar J., Curk T., Erjavec A., Gorup Č., Hočevar T., Milutinovič M., Možina M., Polajnar M., Toplak M., Starič A., Štajdohar M., Umek L., Žagar L., Žbontar J., Žitnik M., Zupan B. 2013. Orange: Data Mining Toolbox in Python. *Journal of Machine Learning Research*. 14: 2349–2353.

Demšar J., Curk T., Erjavec A., Gorup Č., Hočevar T., Milutinovič M., Možina M., Polajnar M., Toplak M., Starič A., Štajdohar M., Umek L., Žagar L., Žbontar J., Žitnik M., Zupan B. 2013. Orange. Ljubljana, Univerza v Ljubljani.

<https://orange.biolab.si/> (Pridobljeno 5. 3. 2018.)

Dornik, M. 2016. Standardizirani padavinski indeks- izračun in analiza za Slovenijo. Diplomski naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba M. Dornik): 155 f.

Fleig, A. 2004. Hydrological Drought- A Comparative study using daily discharge series from around the world. Diplomsko naloga. Freiburg, Institut für Hydrologie (samozaložba A. Fleig): 170 f.

Global Water Partnership Central and Eastern Europe (GWP CEE). 2015. Suša in vodna direktiva. Upravljanje s sušo kot podlaga za implementacijo v sklopu vodne direktive. 24 str.

Hayes, M. J., Svoboda, M. D., Wilhite, D. A., Vanyarkho, O. V. 1999. Monitoring the 1996 Drought Using the Standardized Precipitation Index. Bulletin of the American Meteorological Society. 80, 3: 429-438.

Hayes, M. J., Alvord, C., Lowrey, J. 2007. Drought Indices. Intermountain west climate summary. 2-6.

Jacobi, J., Perrone, D., Lyons Duncan, L., Hornberger, G. 2013. A tool for calculating the Palmer drought indices. Water Resources Research. 49: 6086-6089.
[doi:10.1002/wrcr.20342](https://doi.org/10.1002/wrcr.20342)

Kavčič, K. 2013. Hidrološka regionalizacija verjetnostnih analiz visokovodnih konic v Sloveniji. Diplomsko naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba K. Kavčič): 181 f.

Keyantash, J. A., Dracup, J. A. 2004. An aggregate drought index: Assessing drought severity based on fluctuations in the hydrologic cycle and surface water storage. Water resources research. 40: 1-13.
doi.org/10.1029/2003WR002610

Khanna, M. 2009. Hydrological Drought Indices. World Meteorological Organization. Presentations from Inter-Regional Workshop on Indices and Early Warning Systems for Drought.
http://www.wmo.int/pages/prog/wcp/agm/meetings/wies09/wies09_present.php (Pridobljeno 29. 3. 2018.)

Kobold, M. 2003/2004. Hidrološka suša slovenskih vodotokov v obdobju 2000 – 2002. Ujma, 23: 128-135.

Kobold, M., Sušnik, M. 2003. Hidrološke razmere površinskih voda opazovanih slovenskih rek v letu 2003. V: Mišičev vodarski dan 2003, Maribor, december 2003. Ljubljana, Agencija RS za okolje: 1-9.

Kohne, B. 2014. Uporaba programa R za hidrološko modeliranje. Diplomsko naloga. Ljubljana Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba B. Kohne): 105 f.

Košmelj, K., Breskvar Žaucer, L. 2006. Metode za razvrščanje enot v skupine; osnove in primer. Acta agriculturae Slovenica. 87, 2: 299-310.

Magyar, S. 2014. Definicija suše in njene posledice. Diplomsko naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba S. Magyar): 43 f.

Mikoš, M., Kranjc, A., Matičič, B., Müller, J., Rakovec, J., Roš, M., Brilly, M. 2002. Hidrološko izrazje = Terminology in hydrology. Acta hydrotechnica 20,32.
ftp://ksh.fgg.uni-lj.si/acta/a32_1.pdf (Pridobljeno 29.3.2018.)
Montana data Collection Office. 2017. Statewide Maps- Surface Water Supply Index (SWSI).

https://mslservices.mt.gov/Geographic_Information/Maps/WaterSupply/Statewide/StatewideSWSI.aspx (Pridobljeno 24. 11. 2017.)

Nalbantis, I. 2008. Evaluation of a Hydrological Drought index. *European Water*. 23/24: 67-77.

National Technical University of Athens. 2014. Drought Indices Calculator. <http://drinc.ewra.net/> (Pridobljeno 5. 3. 2018.)

NDMC, National Drought Mitigation center, University of Nebraska. 2017. What is drought? <http://drought.unl.edu/DroughtBasics/WhatisDrought.aspx> (Pridobljeno 24. 10. 2017.)

NOAA, National Centers for Environmental Information. 2017. Historical Palmer Drought Indices. <https://www.ncdc.noaa.gov/temp-and-precip/drought/historical-palmers/> (Pridobljeno 25. 10. 2017.)

Petek, M. 2014. Analiza nizkih pretokov vodotokov v Sloveniji. Diplomsko naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba M. Petek): 86 f.

Potočnik, N. 2014. Kazalci za sprotno vrednotenje hidrološke suše. Diplomsko naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba N. Potočnik): 95 f.

Sušnik, A., Gregorič, G. 2017. Kmetijska suša v 21. stoletju v Sloveniji. Ranljivost Slovenije zaradi suše. V: 28. Mišičev vodarski dan 2017, Maribor, december 2017. Ljubljana, Agencija RS za okolje: 37-44.

Smakhtin, V.U. 2001. Low flow hydrology: a review. *Journal of Hydrology*. 240, 3-4: 147-186. [doi.org/10.1016/S0022-1694\(00\)00340-1](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(00)00340-1)

Šebenik, U. 2012. Analiza suše s pomočjo Standardiziranega padavinskega indeksa. Diplomsko naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba U. Šebenik): 141 f.

Tallaksen, L., Van Lanen, H. 2004. Hydrological drought severity explained by climate and catchment characteristics. 526: 3-14. doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.10.059

Tigkas, D., Vangelis, H., Tsakiris, G. 2013. The Drought Indices Calculator (DrinC). Greece, National Technical University of Athens, Laboratory of Reclamation Works and Water resources Management & Centre for the Assessment of Natural Hazards and Proactive Planning, School of Rural and Surveying Engineering. 1342 str.

Tigkas, D., Vangelis, H., Tsakiris, G. 2015. DrinC: a software for drought analysis based on drought indices. *Earth Science Informatics*. 8, 3: 697-709. [doi: 10.1007/s12145-014-0178-y](https://doi.org/10.1007/s12145-014-0178-y)

R Core Team, 2013. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.r-project.org/> (Pridobljeno 5. 3. 2018.)

Van Loon, A. F. 2015. Hydrological drought explained. WIREs Water. 2: 359-392.
doi: 10.1002/wat2.1085

Vicente- Serrano, S. M., Lopez- Moreno, J. I., Begueria, S., Lorenzo- Lacruz, J., Azorin- Molina, C., Moran- Tejeda, E. 2012. Accurate Computation of a Streamflow Drought Index. Journal of hydrologic engineering. 17, 2: 318-332.
DOI: 10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0000433

Zargar, A., Sadiq, R., Naser, B., Khan, F. I. 2011. A review of drought indices. Environ. Rev.19: 333-349.
[doi:10.1139/A11-013](https://doi.org/10.1139/A11-013)

World Meteorological Organization (WMO). 2009. Manual on Low-flow Estimation and Prediction. Operational Hydrology Report. Germany, Federal Institute of Hydrology: 136 str.
World Meteorological Organization. 2012. Standardized Precipitation Index User Guide. Geneva: 16 str.

World Meteorological Organization (WMO), Global Water Partnership (GWP). 2016. Handbook of Drought Indicators and Indices. Geneva: 45 str.

KAZALO PRILOG

PRILOGA A: OSNOVNI PODATKI OBRAVNAVANIH HIDROLOŠKIH POSTAJ (ARSO, 2018)

PRILOGA B: IZRAČUNANE VREDNOSTI SSI INDEKSA ZA IZBRANE HIDROLOŠKE POSTAJE NA RAZLIČNIH ČASOVNIH SKALAH

- B1: SSI indeks za hidrološko postajo Petanjci za obdobje 1960-2016
- B2: SSI indeks za hidrološko postajo Pristava za obdobje 1960-2016
- B3: SSI indeks za hidrološko postajo Polana za obdobje 1960-2016
- B4: SSI indeks za hidrološko postajo Čentiba za obdobje 1970-2016
- B5: SSI indeks za hidrološko postajo Otiški vrh za obdobje 1960-2016
- B6: SSI indeks za hidrološko postajo Videm za obdobje 1960-2016
- B7: SSI indeks za hidrološko postajo Zamušani za obdobje 1960-2016
- B8: SSI indeks za hidrološko postajo Podhom za obdobje 1960-2016
- B9: SSI indeks za hidrološko postajo Sveti Janez za obdobje 1960-2016
- B10: SSI indeks za hidrološko postajo Mlino za obdobje 1960-2016
- B11: SSI indeks za hidrološko postajo Radovljica za obdobje 1960-2016
- B12: SSI indeks za hidrološko postajo Litija za obdobje 1960-2016
- B13: SSI indeks za hidrološko postajo Čatež za obdobje 1960-2016
- B14: SSI indeks za hidrološko postajo Kokra za obdobje 1960-2016
- B15: SSI indeks za hidrološko postajo Nevlje za obdobje 1960-2016
- B16: SSI indeks za hidrološko postajo Jelovec za obdobje 1960-2016
- B17: SSI indeks za hidrološko postajo Rakovec za obdobje 1960-2016
- B18: SSI indeks za hidrološko postajo Petrina za obdobje 1960-2016
- B19: SSI indeks za hidrološko postajo Metlika za obdobje 1960-2016
- B20: SSI indeks za hidrološko postajo Gradac za obdobje 1960-2016
- B21: SSI indeks za hidrološko postajo Vrhnika za obdobje 1960-2016
- B22: SSI indeks za hidrološko postajo Moste za obdobje 1960-2016
- B23: SSI indeks za hidrološko postajo Verd za obdobje 1960-2016
- B24: SSI indeks za hidrološko postajo Razori za obdobje 1960-2016

- B25: SSI indeks za hidrološko postajo Prestranek za obdobje 1960-2016
- B26: SSI indeks za hidrološko postajo Hasberg za obdobje 1960-2016
- B27: SSI indeks za hidrološko postajo Nazarje za obdobje 1960-2016
- B28: SSI indeks za hidrološko postajo Laško za obdobje 1960-2016
- B29: SSI indeks za hidrološko postajo Kraše za obdobje 1960-2016
- B30: SSI indeks za hidrološko postajo Črnomlja za obdobje 1960-2016
- B31: SSI indeks za hidrološko postajo Podbukovje za obdobje 1960-2016
- B32: SSI indeks za hidrološko postajo Podbočje za obdobje 1960-2016
- B33: SSI indeks za hidrološko postajo Prečna za obdobje 1960-2016
- B34: SSI indeks za hidrološko postajo Kobarid za obdobje 1960-2016
- B35: SSI indeks za hidrološko postajo Solkan za obdobje 1960-2016
- B36: SSI indeks za hidrološko postajo Kal-Koritnica za obdobje 1960-2016
- B37: SSI indeks za hidrološko postajo Žaga za obdobje 1960-2016
- B38: SSI indeks za hidrološko postajo Podroteja za obdobje 1960-2016
- B39: SSI indeks za hidrološko postajo Hotešk za obdobje 1960-2016
- B40: SSI indeks za hidrološko postajo Bača pri Modreju za obdobje 1960-2016
- B41: SSI indeks za hidrološko postajo Vipava za obdobje 1960-2016
- B42: SSI indeks za hidrološko postajo Miren za obdobje 1960-2016
- B43: SSI indeks za hidrološko postajo Cerkevnikov mlin za obdobje 1960-2016
- B44: SSI indeks za hidrološko postajo Kubed za obdobje 1960-2016

PRILOGA A: OSNOVNI PODATKI OBRAVNAVANIH HIDROLOŠKIH POSTAJ (ARSO, 2018)

ŠIFRA	VODOMERNA POSTAJA	VODOTOK	GKY	GKX	ZALEDJE - F (km ²)	STACIONAŽA (km)	KOTA "0"	AKTIVNOST
1060	Gornja Radgona I	Mura	576509	171284	10197.2	106.64	202.34	1
1070	Petanjci	Mura	581070	167710	10391.44	100.47	193.76	1
1138	Pristava	Ščavnica	594840	153520	272.5	5.95	170.40	0
1140	Pristava I	Ščavnica	594880	153470	272.77	5.78	169.77	1
1210	Polana	Ledava	587370	171060	208.2	44.72	192.12	0
1220	Polana I	Ledava	587362	171082	209.37	44.33	191.35	1
1260	Čentiba	Ledava	613705	155645	861.67	11.54	154.67	1
2250	Otiški Vrh I	Meža	502357	159305	552.6	1.35	333.40	1
2650	Videm I	Dravinja	569760	136230	767.08	4.38	210.04	0
2652	Videm	Dravinja	569843	136428	767.34	4.16	209.21	1
2900	Zamušani I	Pesnica	579855	141640	479.76	9.86	201.86	1
3180	Podhom	Radovna	430058	139229	166.8	3.8	566.10	1
3200	Sveti Janez	Sava Bohinjka	414565	126620	94.35	32.8	524.95	1
3400	Mlino I	Jezernica	431109	135174	8.57	1.28	467.51	1
3420	Radovljica I	Sava	436120	133220	907.96	900.95	408.09	1
3650	Litija I	Sava	486670	101285	4849.33	818.65	230.44	1
3660	Litija	Sava	487124	101411	4849.67	818.15	230.62	1
4690	Gabrje I	Mirna	516980	93700	268.95	9.30	212.13	0
4695	Jelovec	Mirna	518208	93852	271.21	7.65	208.49	1
4740	Rakovec I	Sotla	555070	86540	560.06	8.07	139.21	0
4750	Rakovec	Sotla	554998	86544	561.3	8.00	140.12	1
3840	Čatež	Sava	547080	83390	10231.72	737.37	138.38	0
3850	Čatež I	Sava	547709	83402	10232.42	736.70	137.37	1
4120	Kokra I	Kokra	461770	129206	113.1	18.01	522.96	1
4130	Kokra	Kokra	461730	129130	112.2	17.81	515.00	0
4200	Suha I	Sora	448320	113319	568.86	7.98	329.47	1
4480	Nevlje I	Nevljica	471438	121041	82.21	1.20	379.78	1
4820	Petrina	Kolpa	488780	35521	467.31	268.33	219.31	1
4860	Metlika	Kolpa	525549	54558	1966.27	181.5	126.96	1
4969	Gradac I	Lahinja	519493	52167	218.89	7.75	133.46	1
4970	Gradac	Lahinja	519295	52380	219.12	7.32	129.00	1
5030	Vrhnika	Ljubljana	446125	91575	1135.12	38.73	285.93	1
5078	Moste I	Ljubljana	465120	101350	1777.96	11.83	281.29	1
5080	Moste	Ljubljana	465490	101180	1778.16	11.39	280.80	0
5240	Verd I	Ljubija	446781	90583	88888.88	2.90	286.28	1
5540	Razori	Šujica	456858	100589	46.95	0.63	298.37	1
5800	Prestranek	Pivka	437073	65490	88888.88	10.16	519.75	1

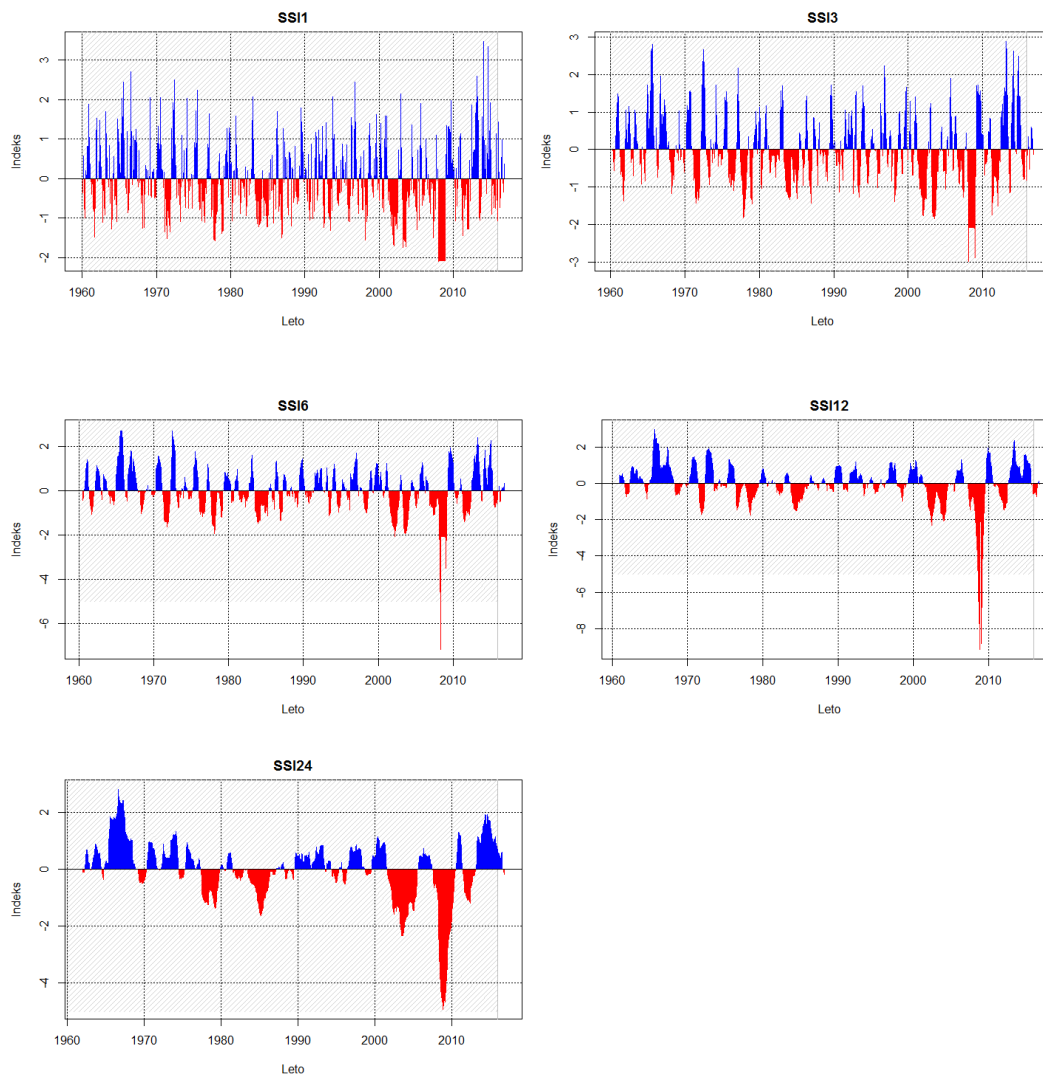
se nadaljuje...

...nadaljevanje Priloge A

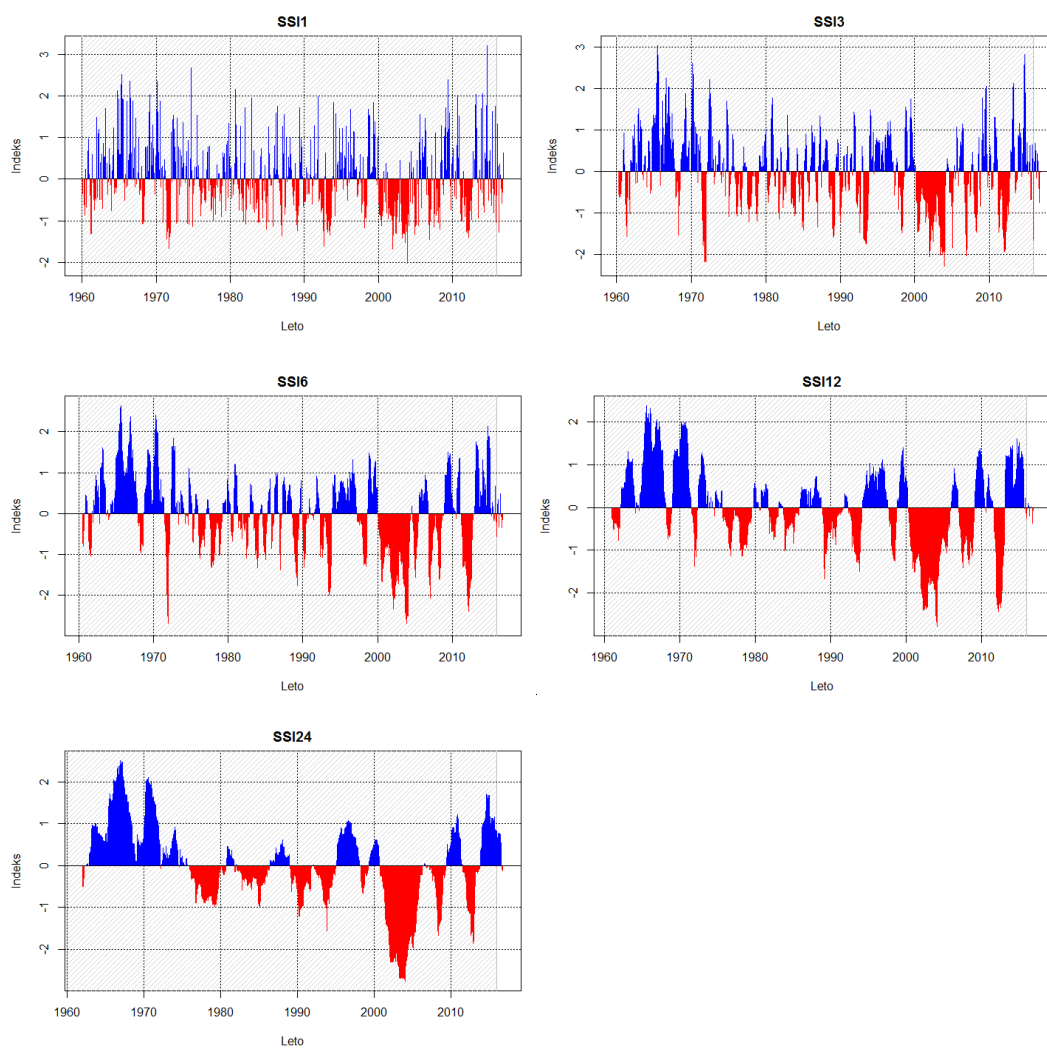
5880	Hasberg	Unica	443185	76294	88888.88	16.37	444.88	1
6060	Nazarje	Savinja	496710	130800	457.11	56.64	336.97	1
6200	Laško I	Savinja	518410	112230	1668.16	14.34	215.03	1
6240	Kraše	Dreta	492613	126766	100.82	7.66	365.55	1
6690	Črnlolica	Vogljajna	532285	116835	54.01	18.29	264.44	0
6691	Črnlolica I	Vogljajna	533000	117385	54.73	17.04	263.07	1
7029	Podbukovje I	Krka	483680	81415	346.92	91.34	258.49	1
7030	Podbukovje	Krka	483750	81425	348.06	91.27	259.22	0
7160	Podbočje	Krka	535726	80170	2252.98	16.05	146.13	1
7340	Prečna	Prečna	508820	74507	295.19	4.92	163.82	1
8080	Kobarid I	Soča	391369	123552	437.06	94.41	194.68	1
8180	Solkan I	Soča	396180	93920	1580.35	44.23	51.84	1
8190	Solkan	Soča	395840	93500	1581.33	43.71	53.61	0
8240	Kal-Koritnica	Koritnica	390730	134030	86.04	1.74	404.61	0
8242	Kal-Koritnica I	Koritnica	390705	134025	86.03	1.71	404.77	1
8270	Žaga	Učja	383125	130645	50.19	0.57	341.55	1
8350	Podroteja I	Idrijca	425277	94075	111.25	42.73	327.11	1
8360	Podroteja	Idrijca	425290	94090	112.84	42.71	328.04	0
8450	Hotešk	Idrijca	407154	110061	443.51	5.27	160.64	1
8500	Bača pri Modreju	Bača	405797	113112	143.06	1.54	164.04	1
8560	Vipava I	Vipava	419730	78080	131.9	43.55	96.38	1
8561	Vipava II	Vipava	419674	78070	131.92	43.47	96.09	1
8600	Miren	Vipava	392410	84250	589.96	2.47	37.02	0
8601	Miren I	Vipava	392345	84260	588.29	2.42	35.80	1
9050	Cerkvenikov mlin	Reka	427181	57164	332.12	7.95	342.70	1
9210	Kubed II	Rižana	412595	43764	204.66	13.25	57.68	1
9220	Kubed I	Rižana	412490	43850		13.05	60.02	0
9230	Kubed	Rižana	412300	43780	204.86	12.80	60.02	0

PRILOGA B: IZRAČUNANE VREDNOSTI SSI INDEKSA ZA IZBRANE HIDROLOŠKE POSTAJE NA RAZLIČNIH ČASOVNIH SKALAH

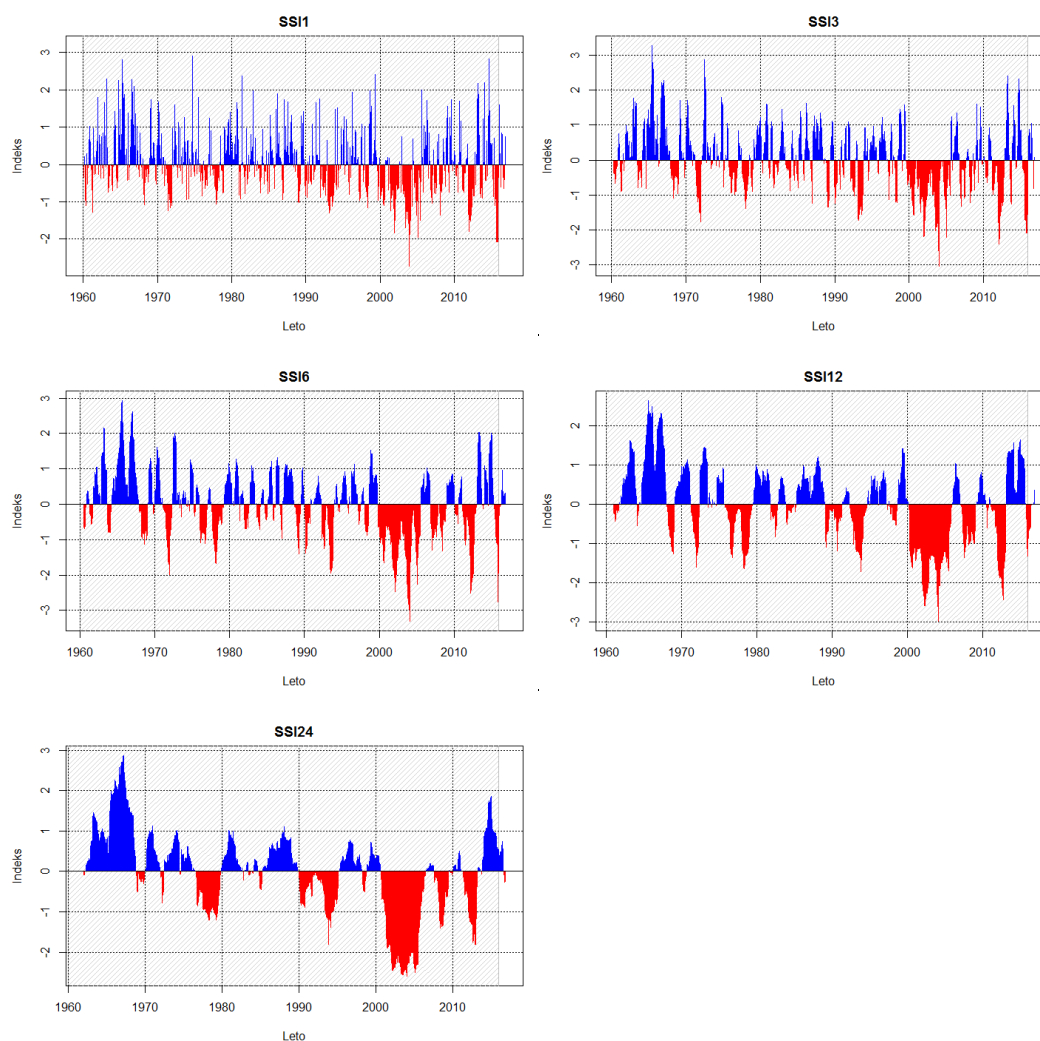
Priloga B1: SSI indeks za hidrološko postajo Petanjci za obdobje 1960-2016



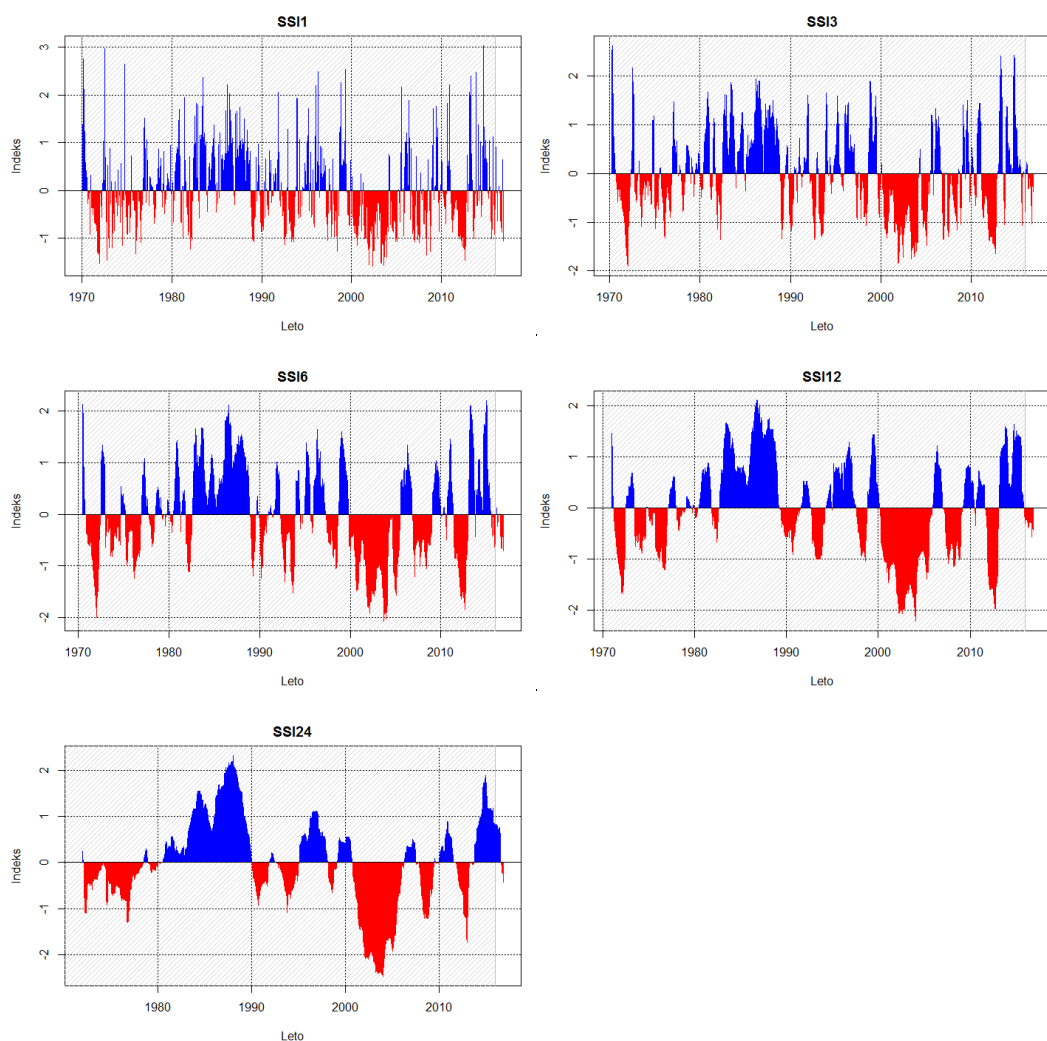
Priloga B2: SSI indeks za hidrološko postajo Pristava za obdobje 1960-2016



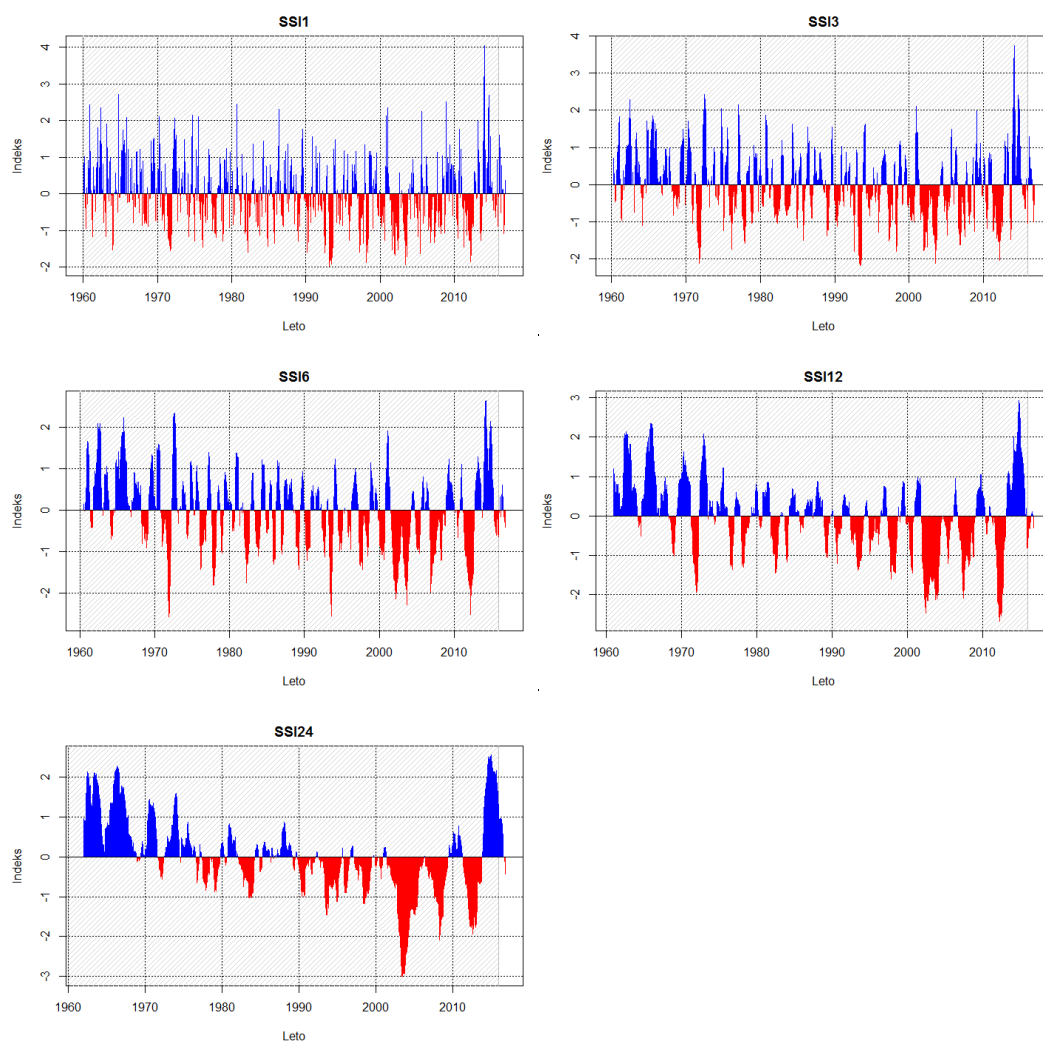
Priloga B3: SSI indeks za hidrološko postajo Polana za obdobje 1960-2016



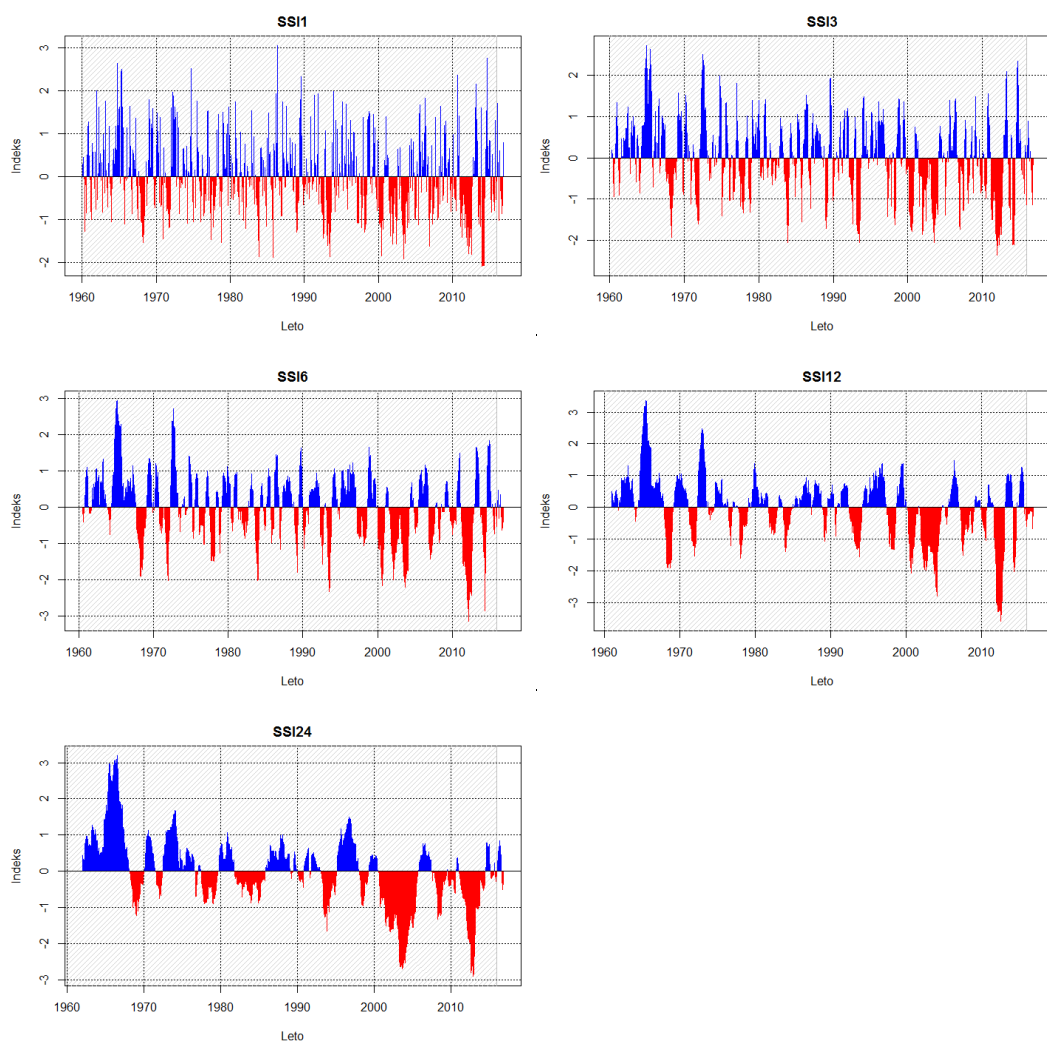
Priloga B4: SSI indeks za hidrološko postajo Čentiba za obdobje 1970-2016



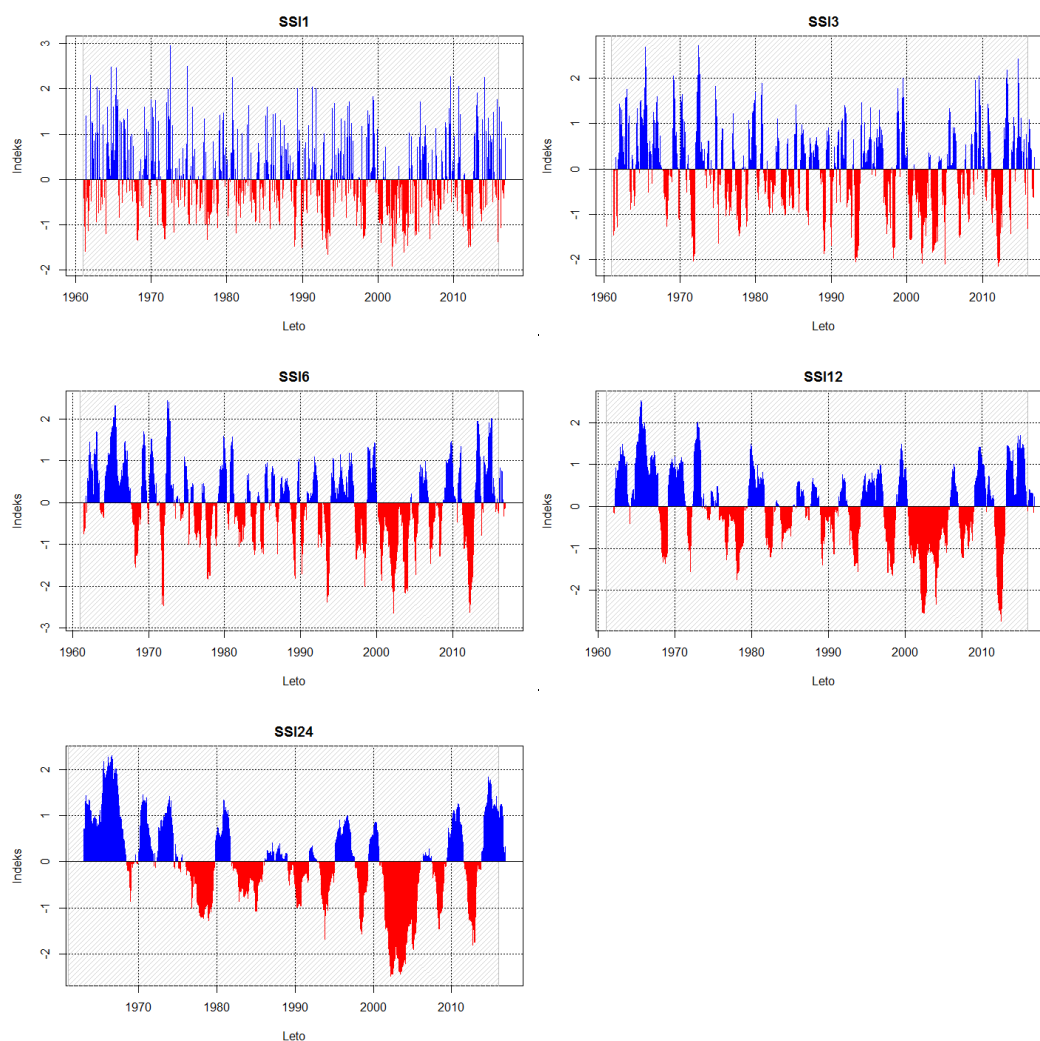
Priloga B5: SSI indeks za hidrološko postajo Otiški vrh za obdobje 1960-2016



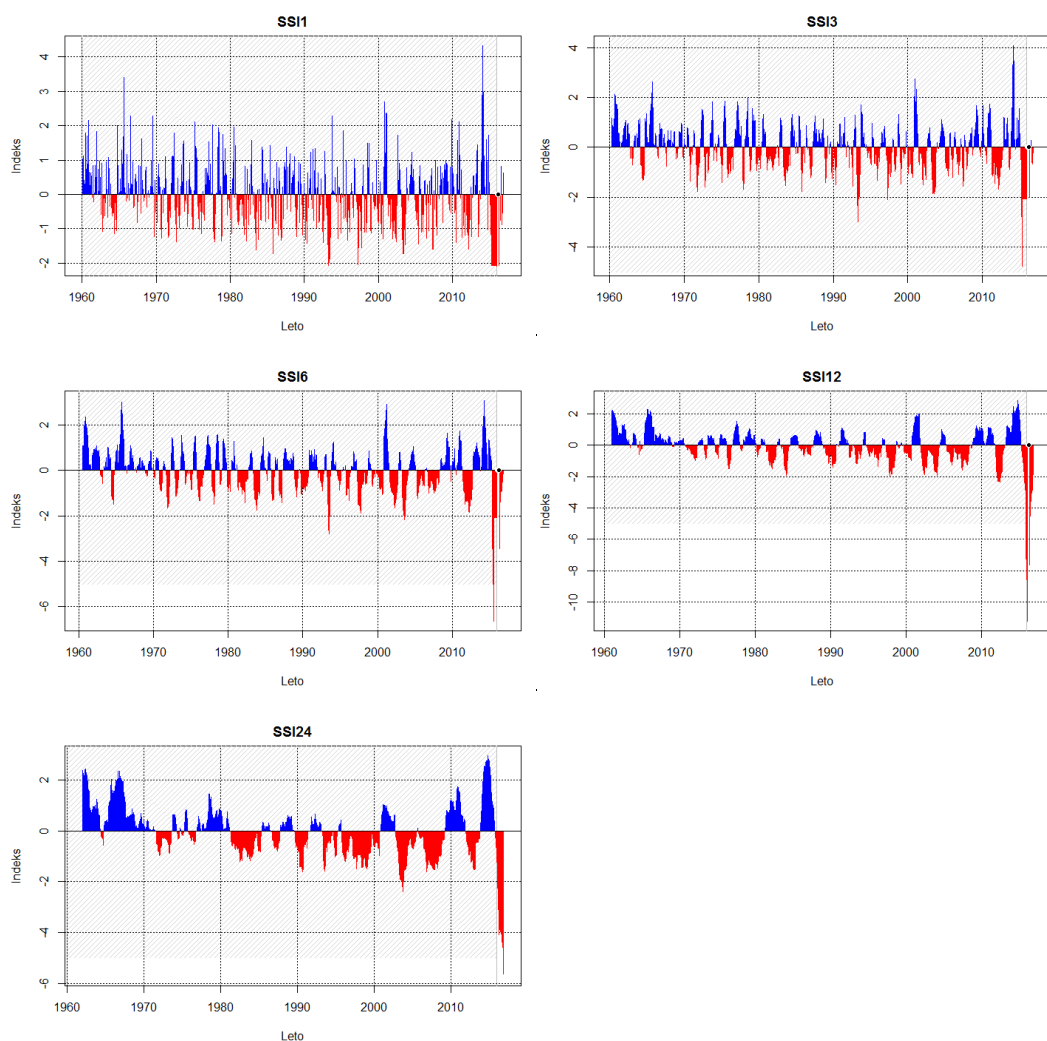
Priloga B6: SSI indeks za hidrološko postajo Videm za obdobje 1960-2016



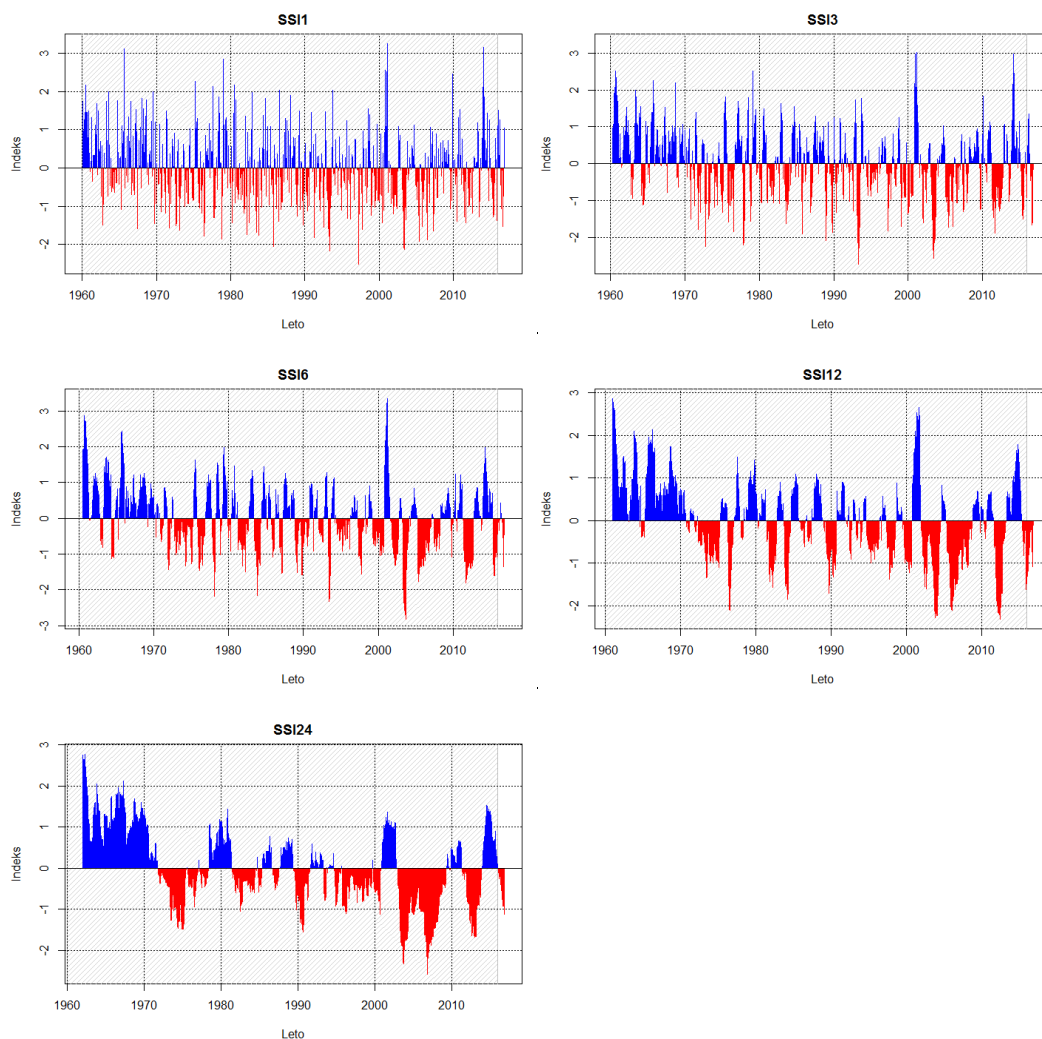
Priloga B7: SSI indeks za hidrološko postajo Zamušani za obdobje 1960-2016



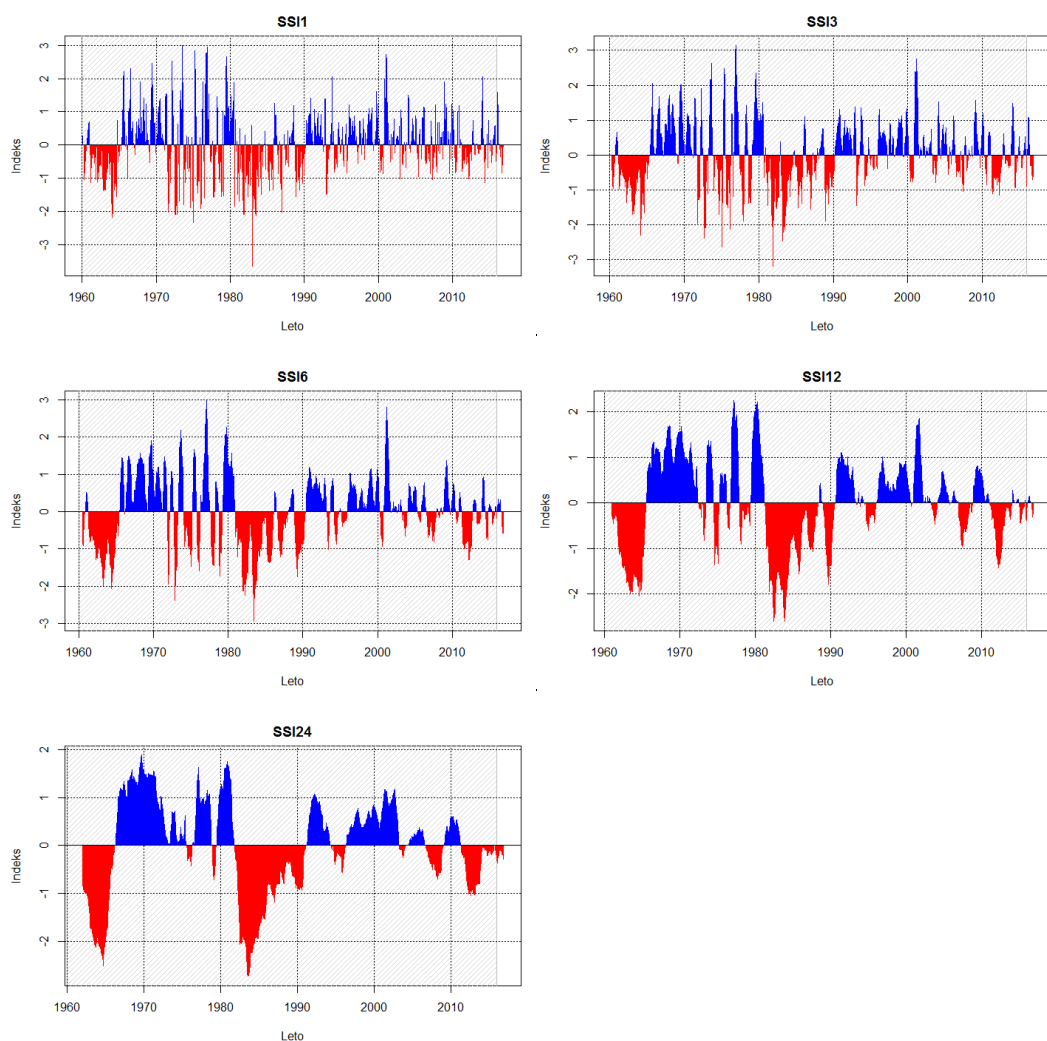
Priloga B8: SSI indeks za hidrološko postajo Podhom za obdobje 1960-2016



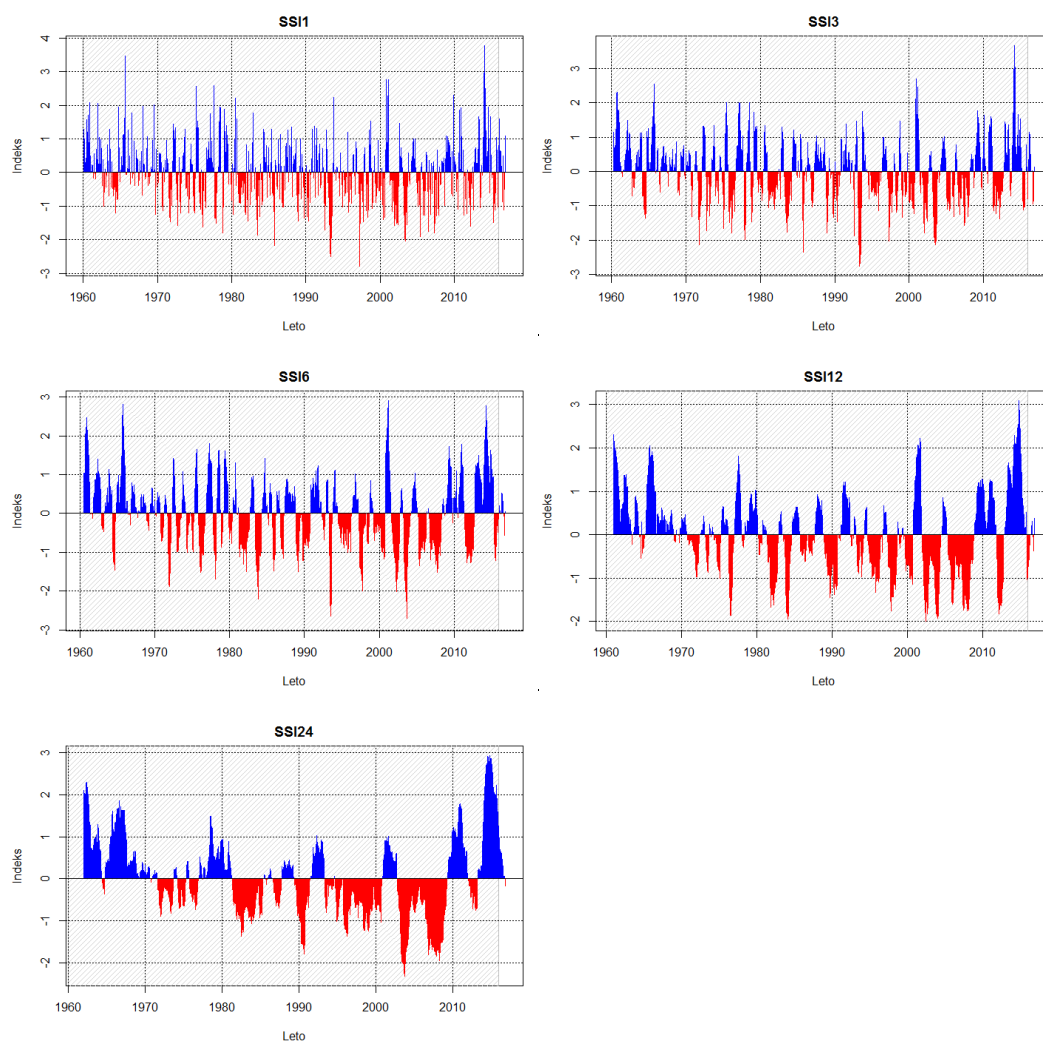
Priloga B9: SSI indeks za hidrološko postajo Sveti Janez za obdobje 1960-2016



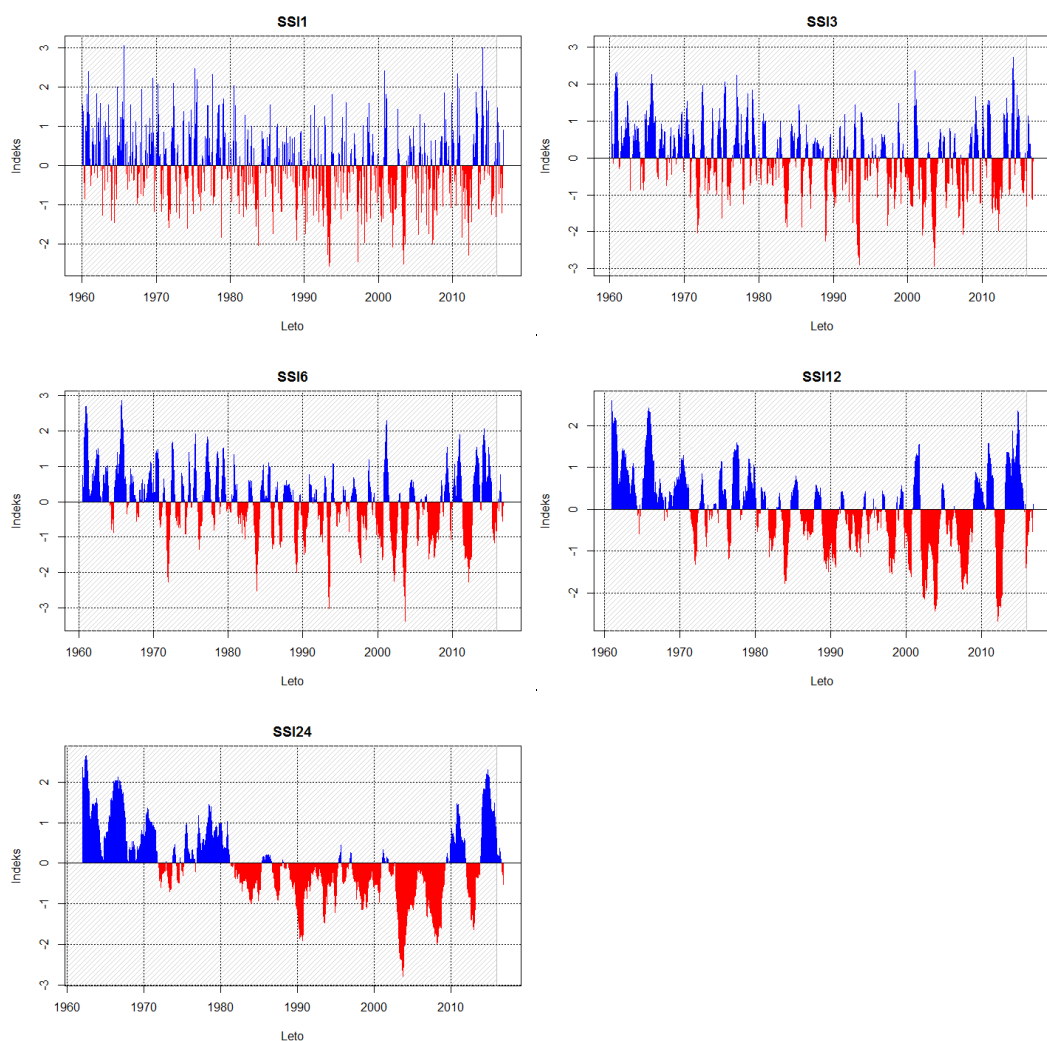
Priloga B10: SSI indeks za hidrološko postajo Mlino za obdobje 1960-2016



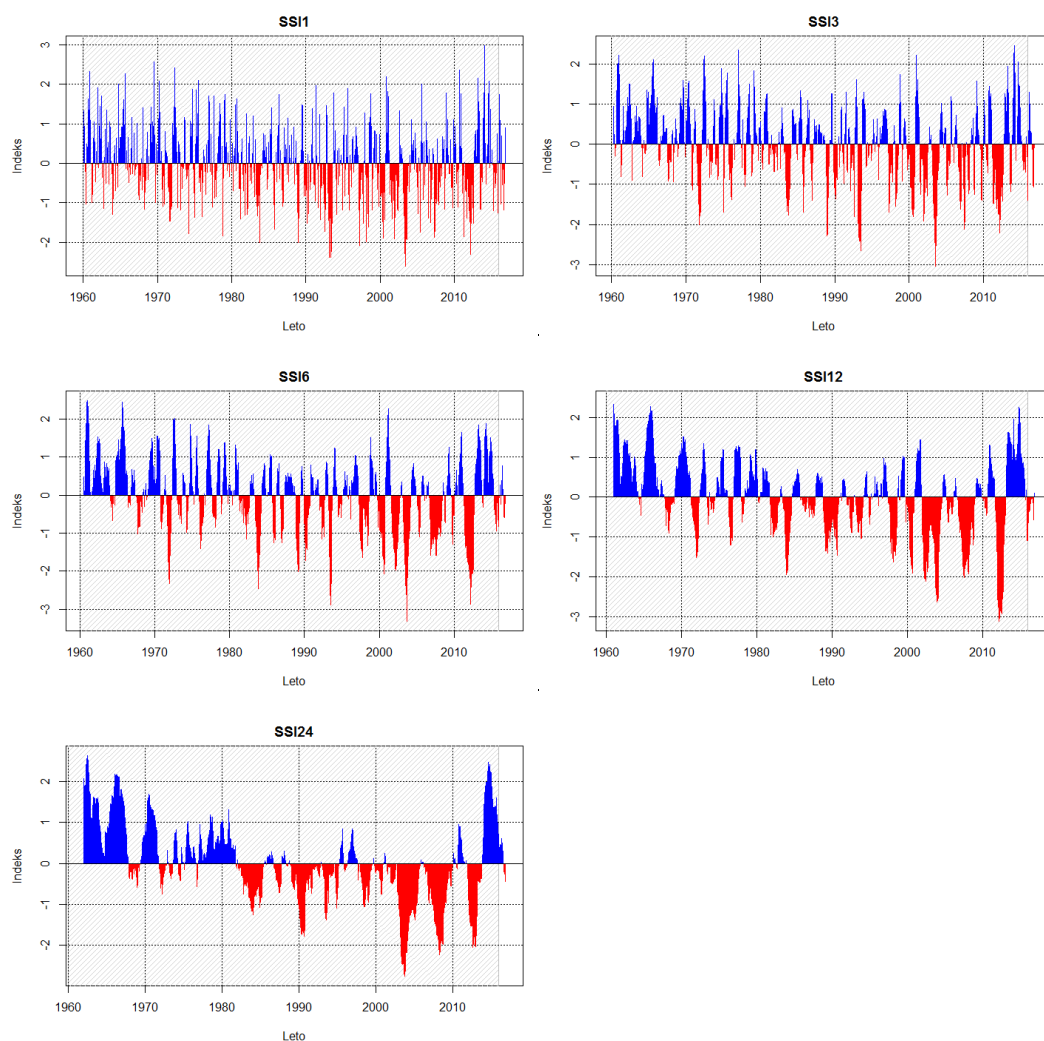
Priloga B11: SSI indeks za hidrološko postajo Radovljica za obdobje 1960-2016



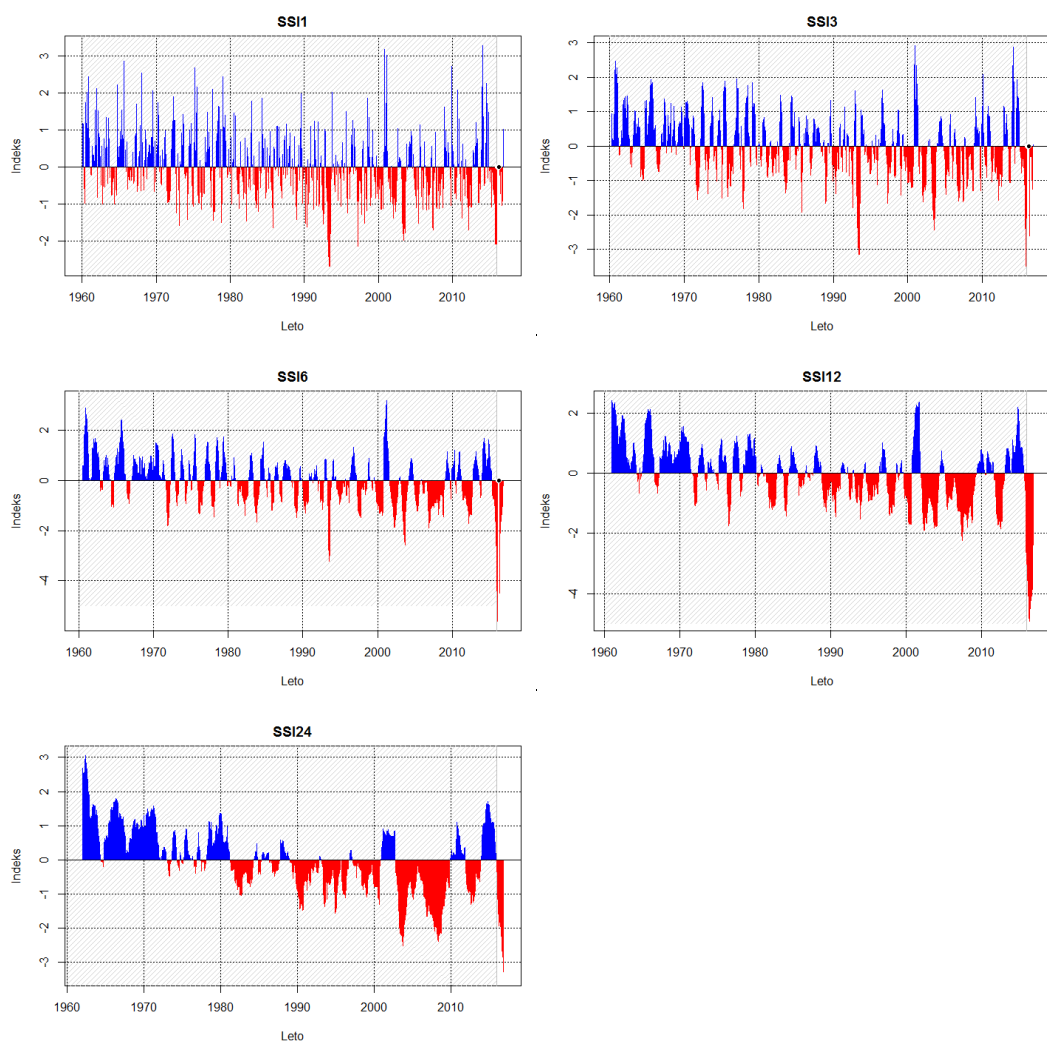
Priloga B12: SSI indeks za hidrološko postajo Litija za obdobje 1960-2016



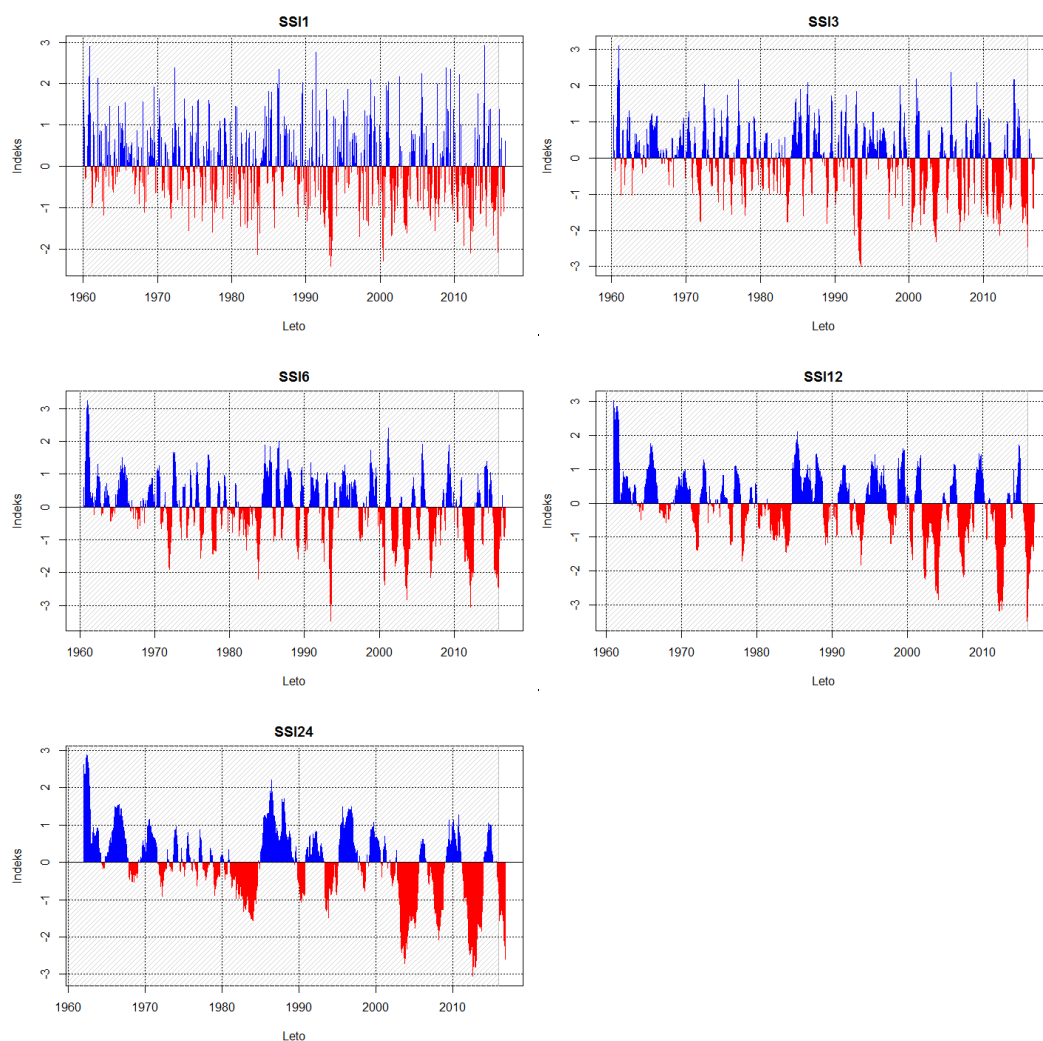
Priloga B13: SSI indeks za hidrološko postajo Čatež za obdobje 1960-2016



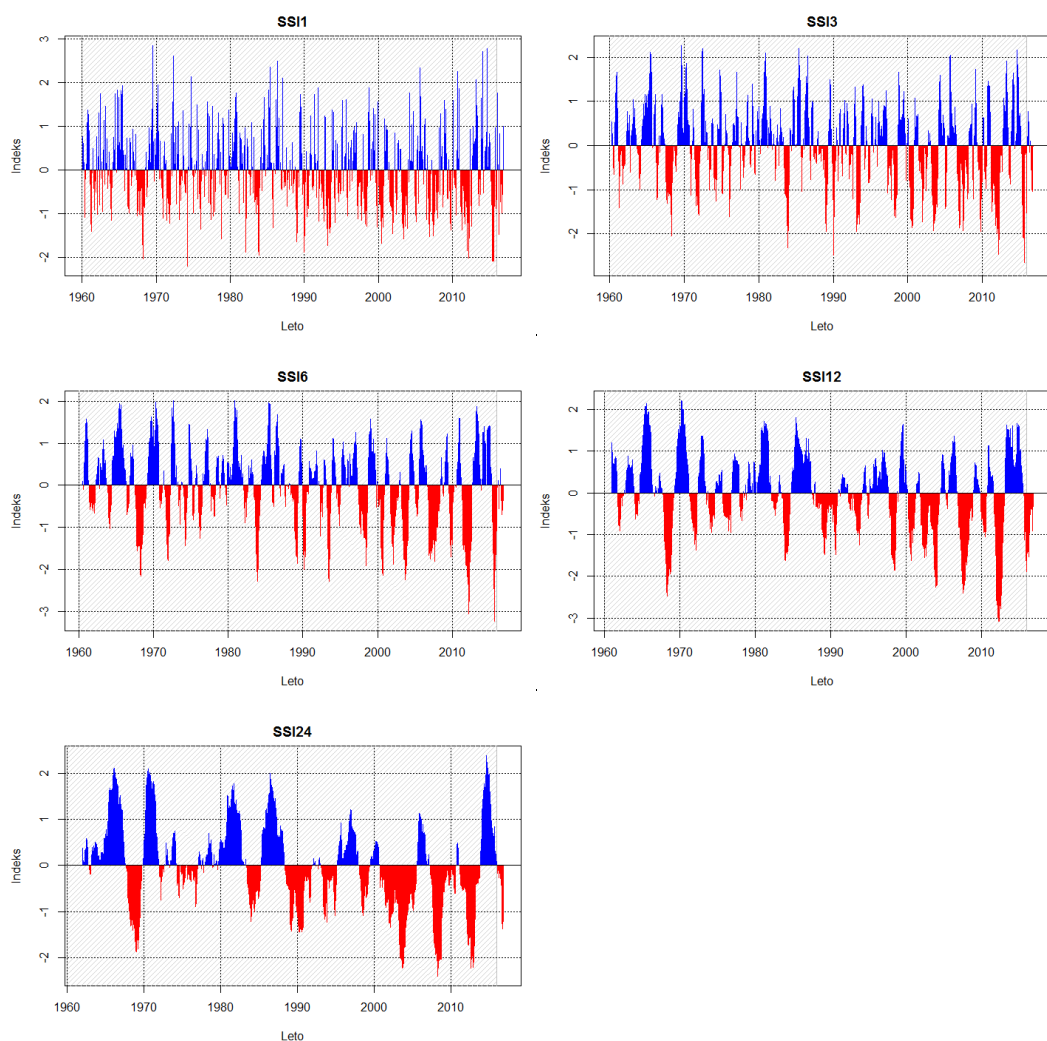
Priloga B14: SSI indeks za hidrološko postajo Kokra za obdobje 1960-2016



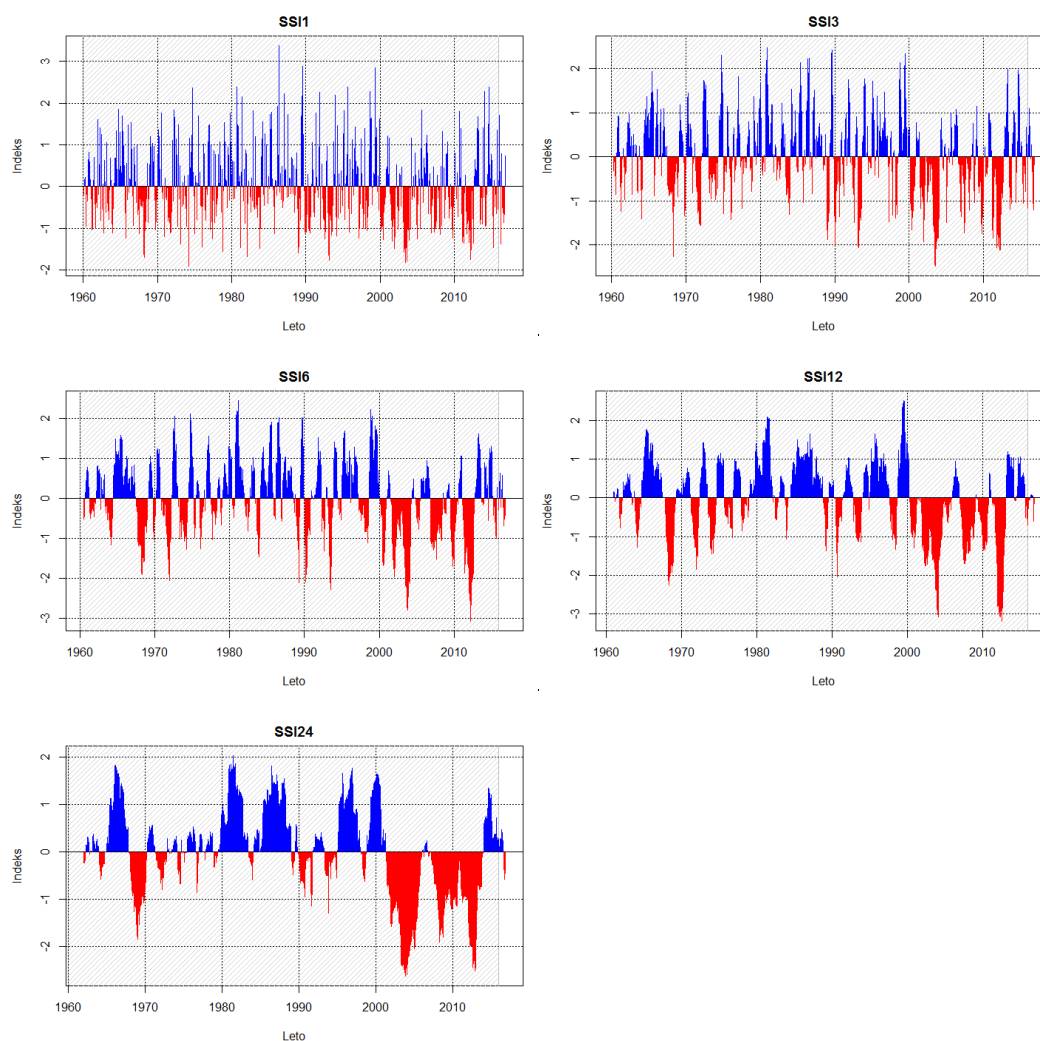
Priloga B15: SSI indeks za hidrološko postajo Nevlje za obdobje 1960-2016



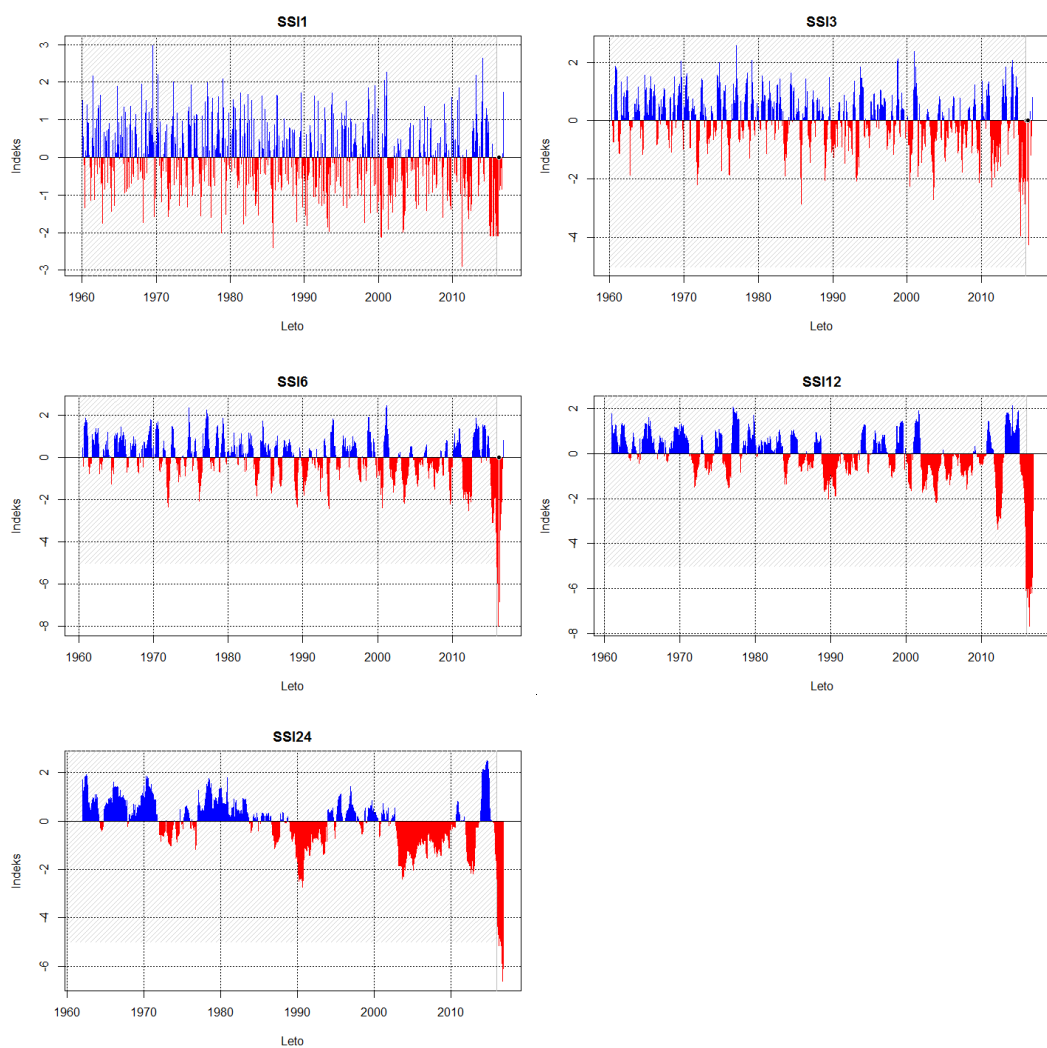
Priloga B16: SSI indeks za hidrološko postajo Jelovec za obdobje 1960-2016



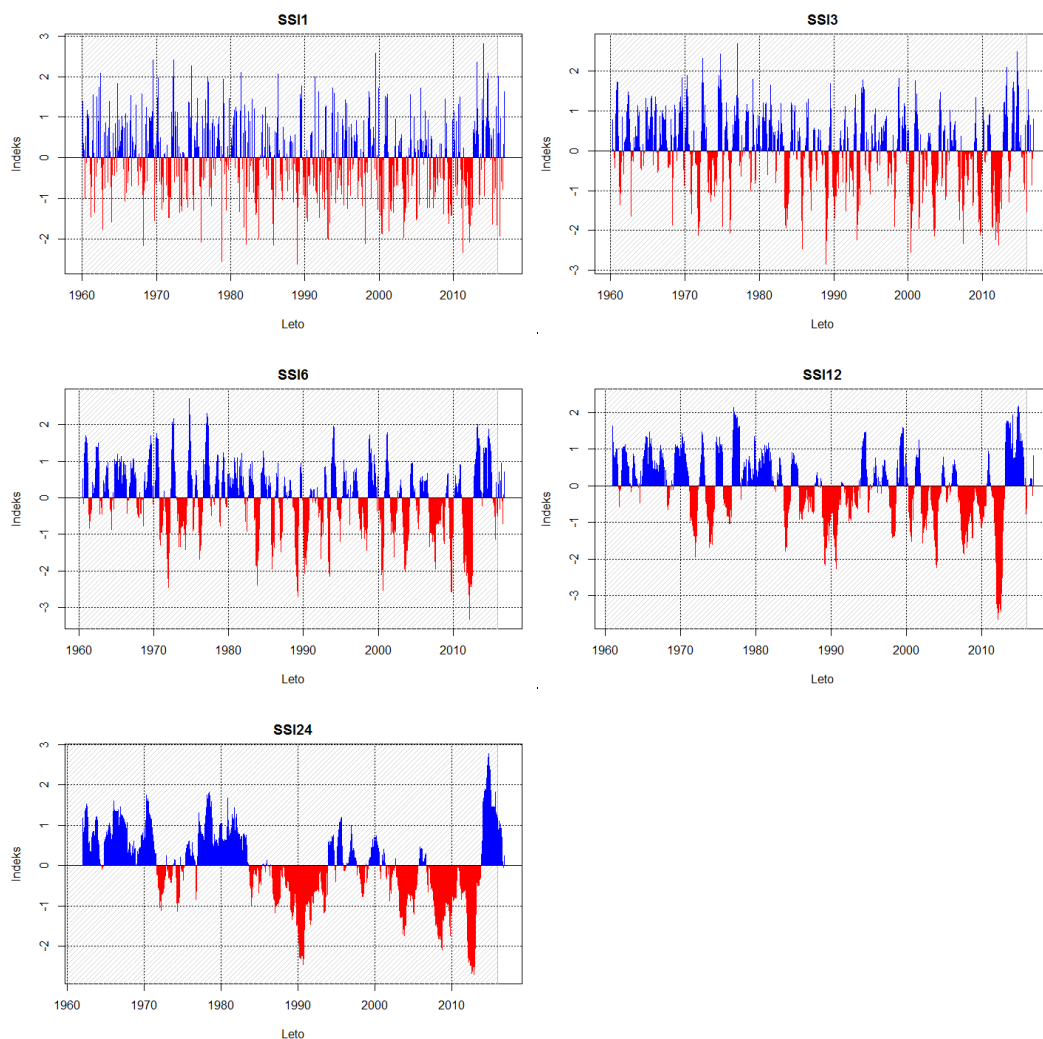
Priloga B17: SSI indeks za hidrološko postajo Rakovec za obdobje 1960-2016



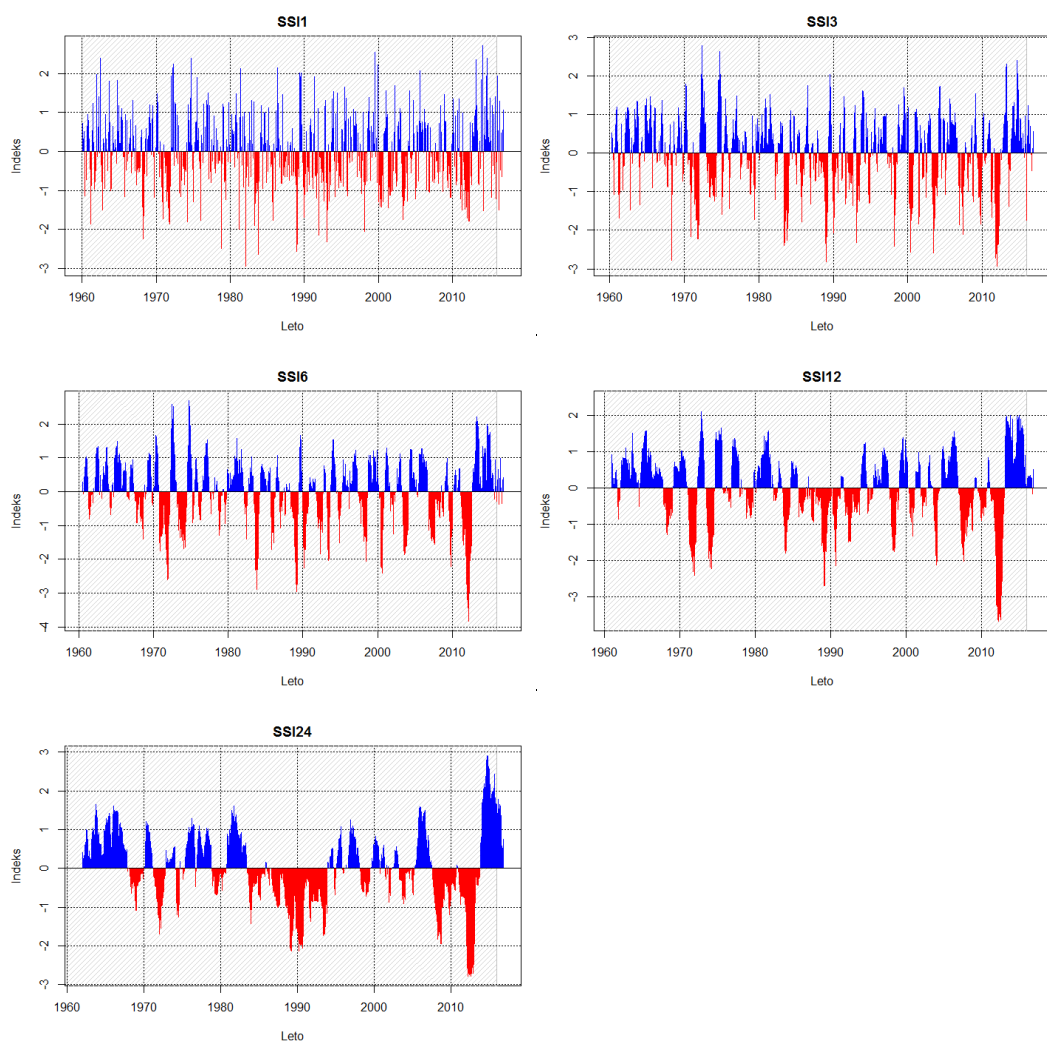
Priloga B18: SSI indeks za hidrološko postajo Petrina za obdobje 1960-2016



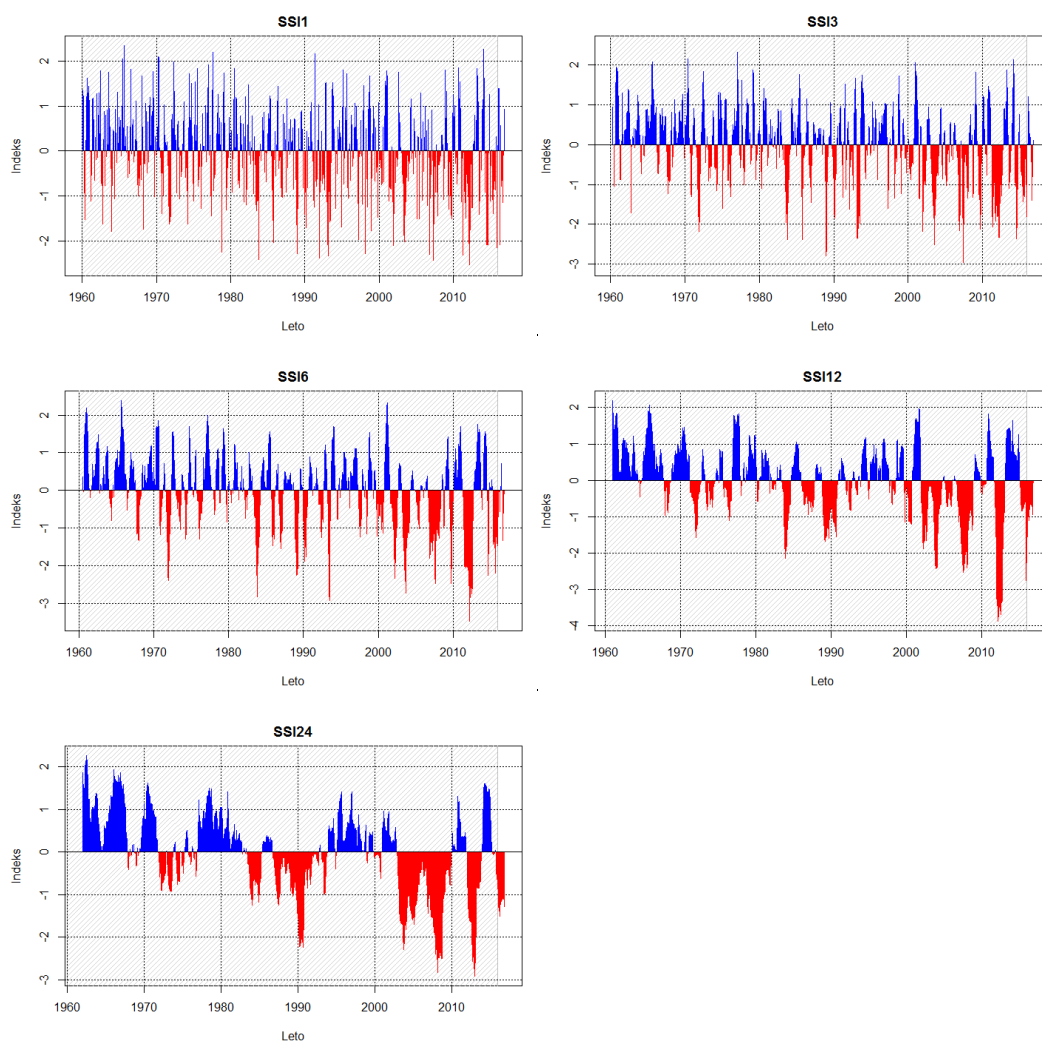
Priloga B19: SSI indeks za hidrološko postajo Metlika za obdobje 1960-2016



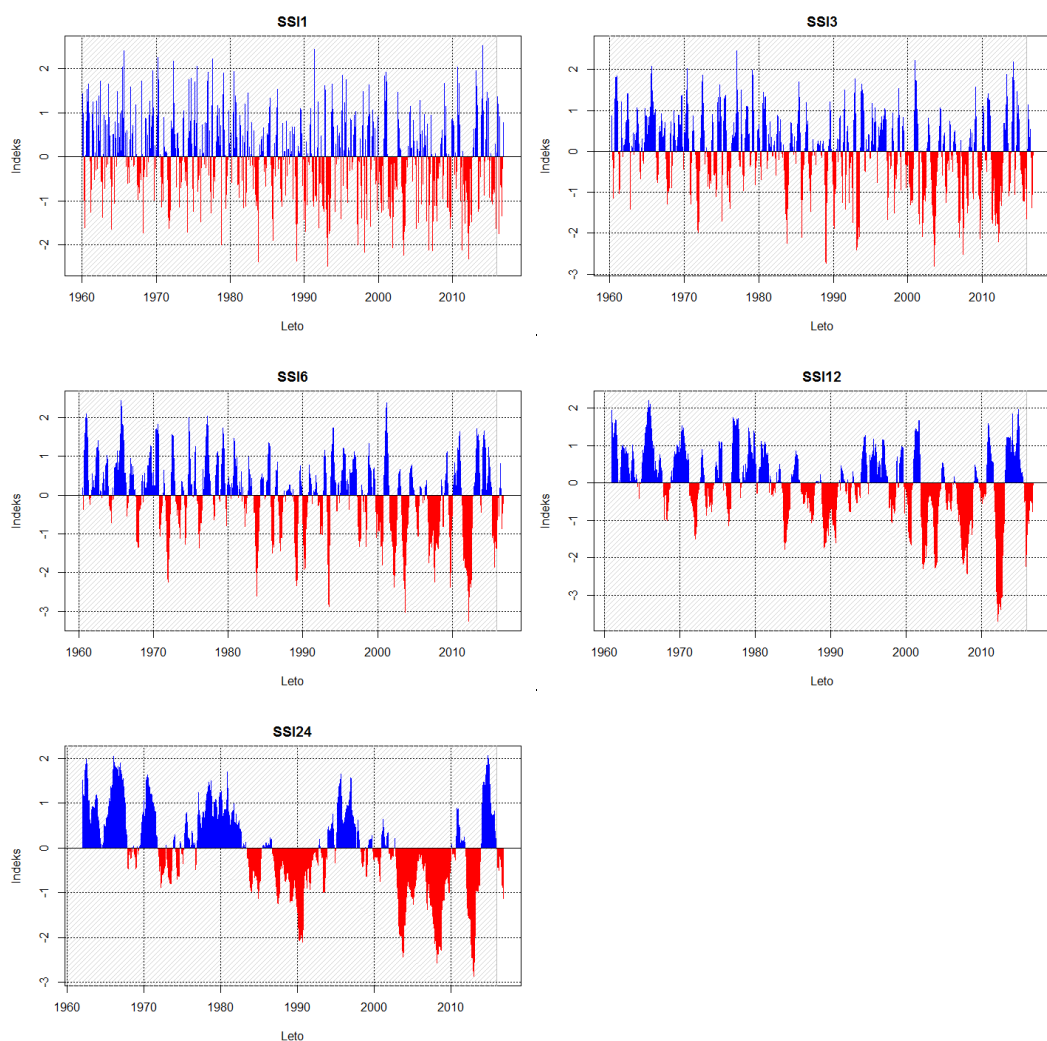
Priloga B20: SSI indeks za hidrološko postajo Gradac za obdobje 1960-2016



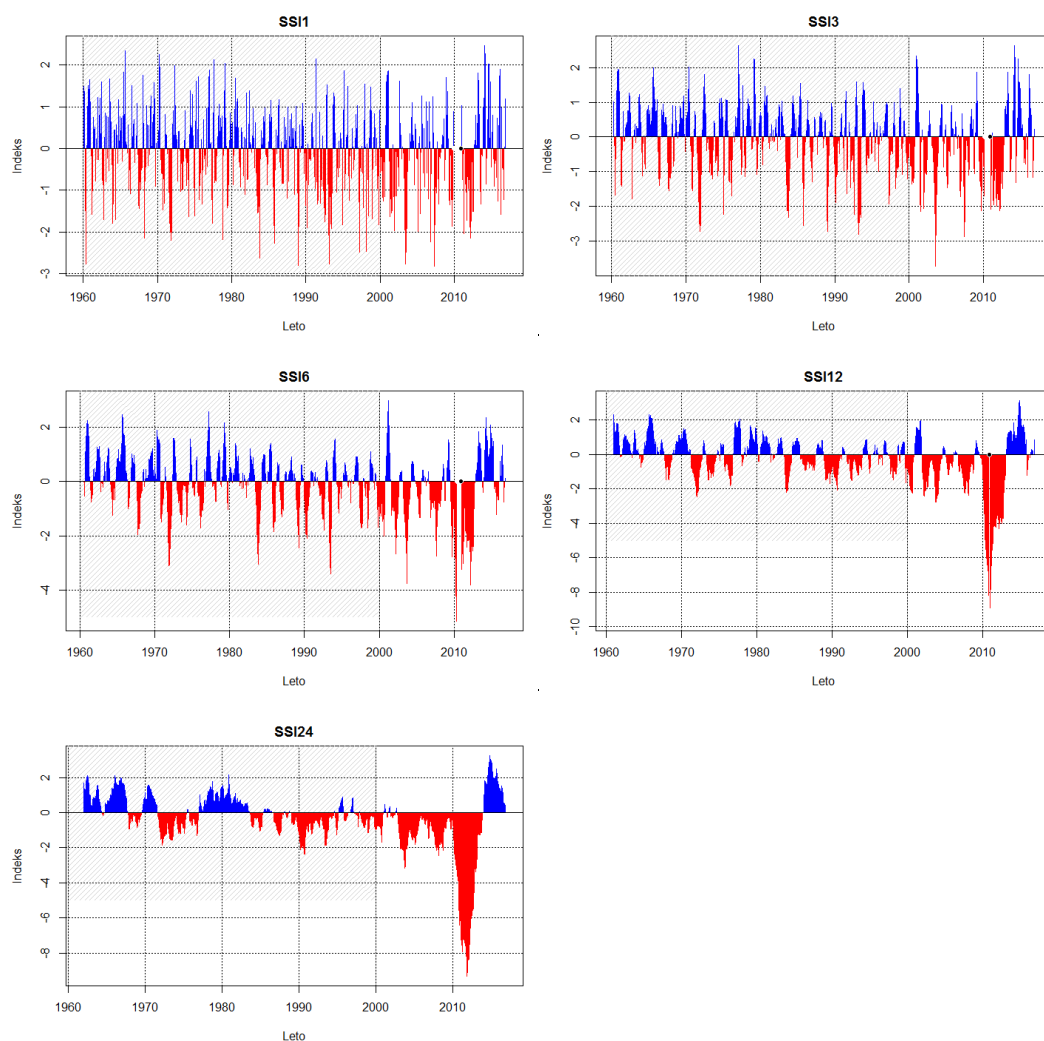
Priloga B21: SSI indeks za hidrološko postajo Vrhnika za obdobje 1960-2016



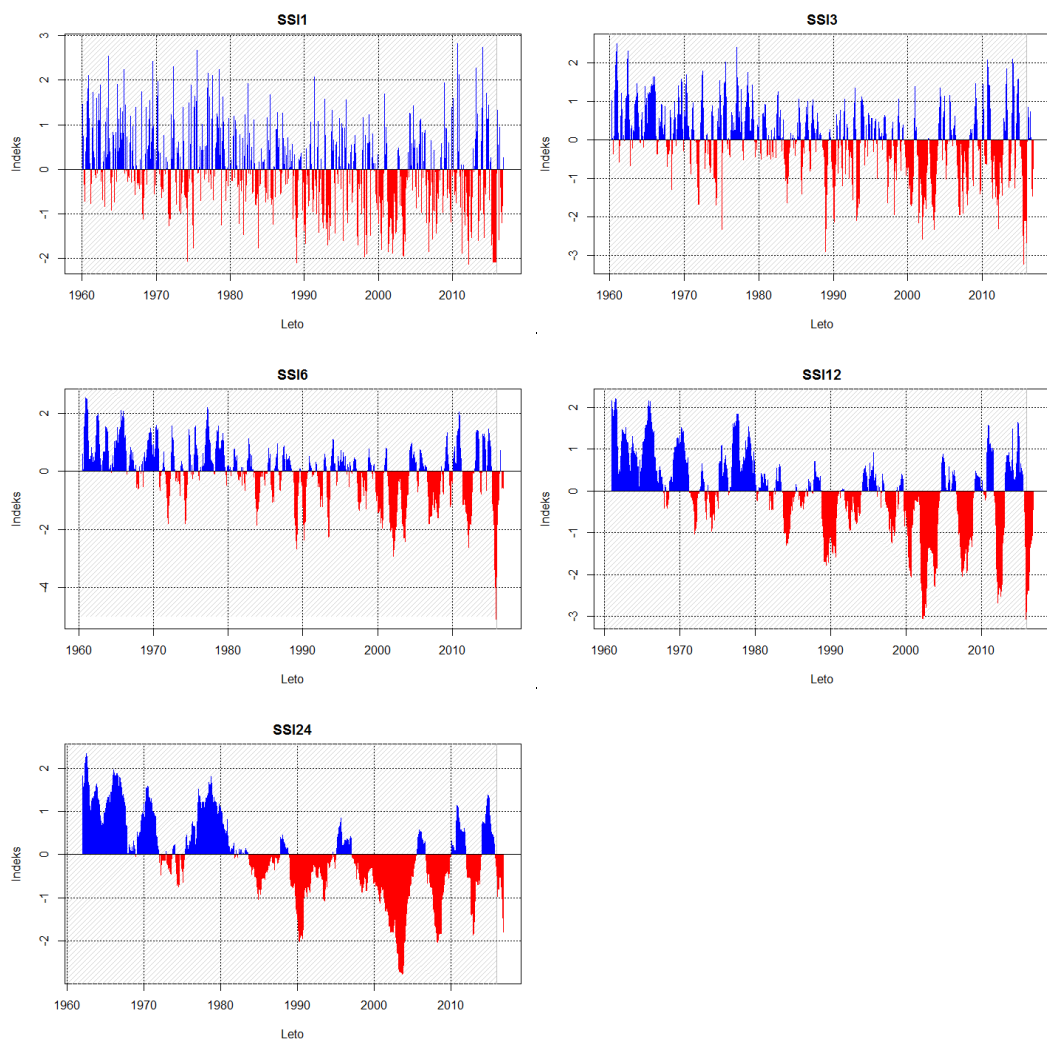
Priloga B22: SSI indeks za hidrološko postajo Moste za obdobje 1960-2016



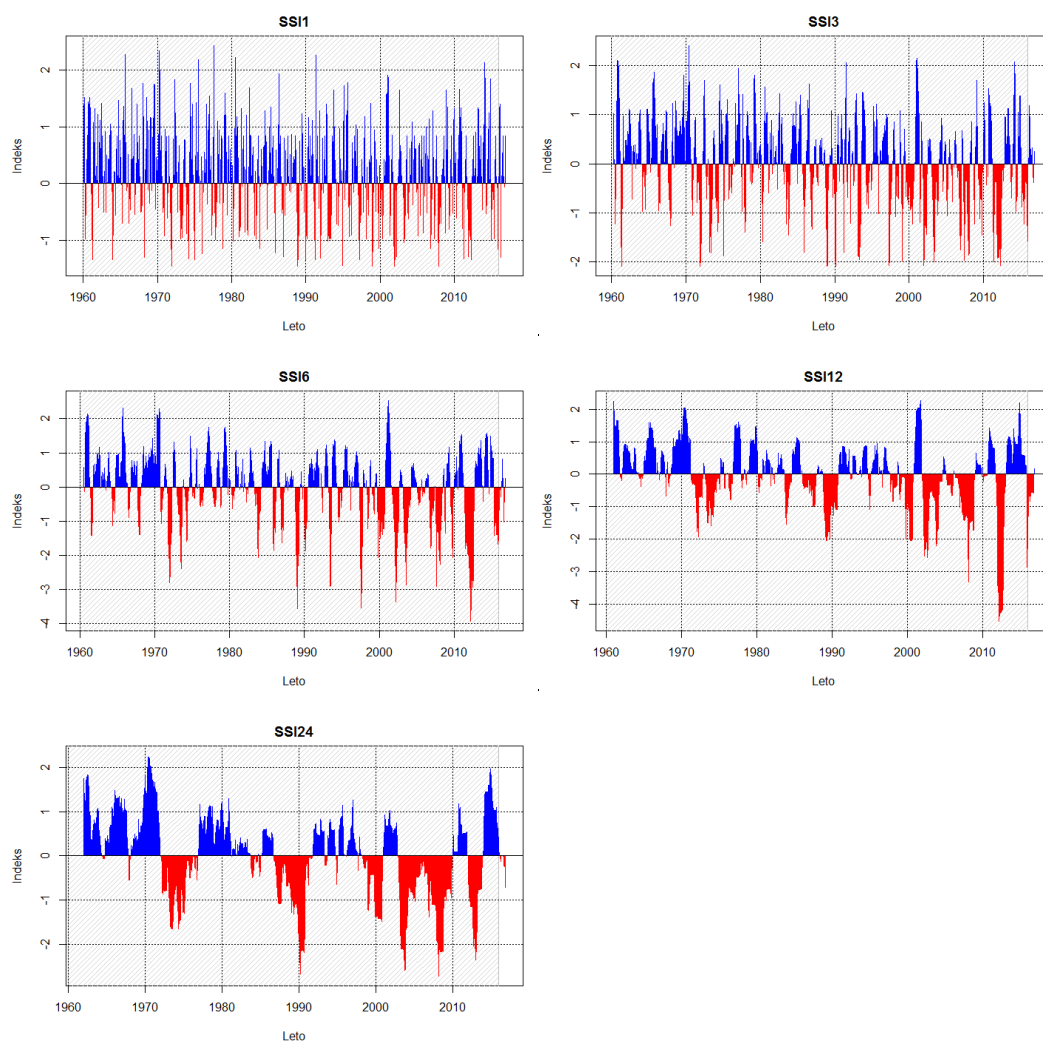
Priloga B23: SSI indeks za hidrološko postajo Verd za obdobje 1960-2016



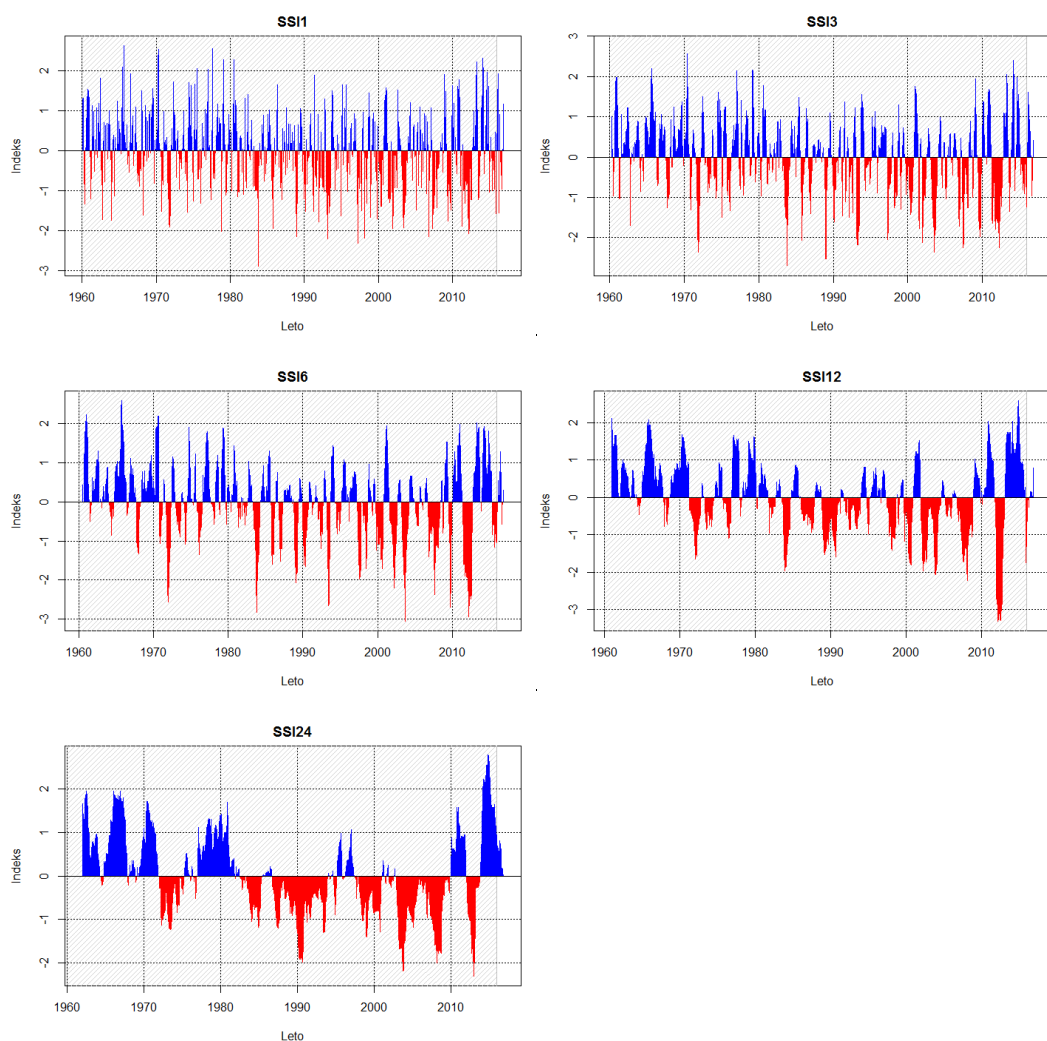
Priloga B24: SSI indeks za hidrološko postajo Razori za obdobje 1960-2016



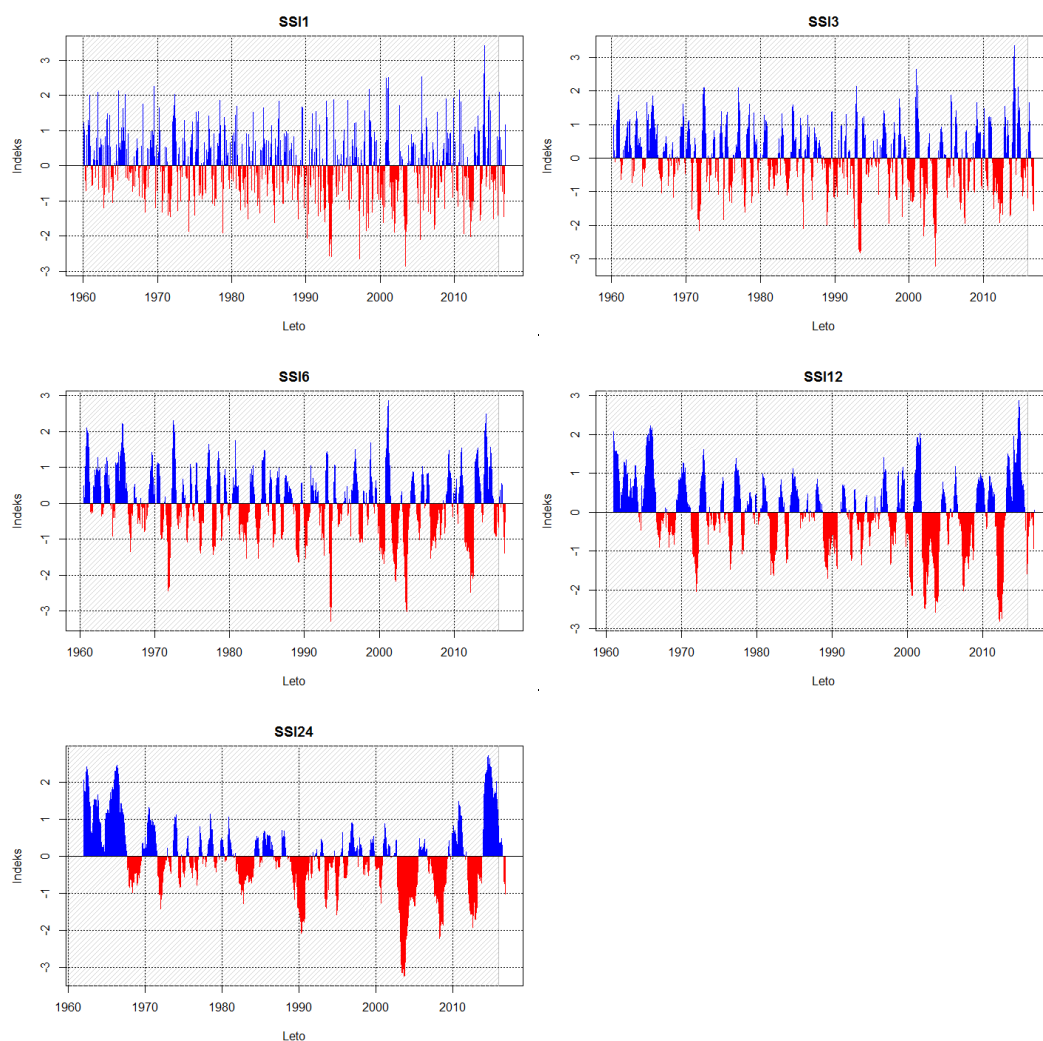
Priloga B25: SSI indeks za hidrološko postajo Prestranek za obdobje 1960-2016



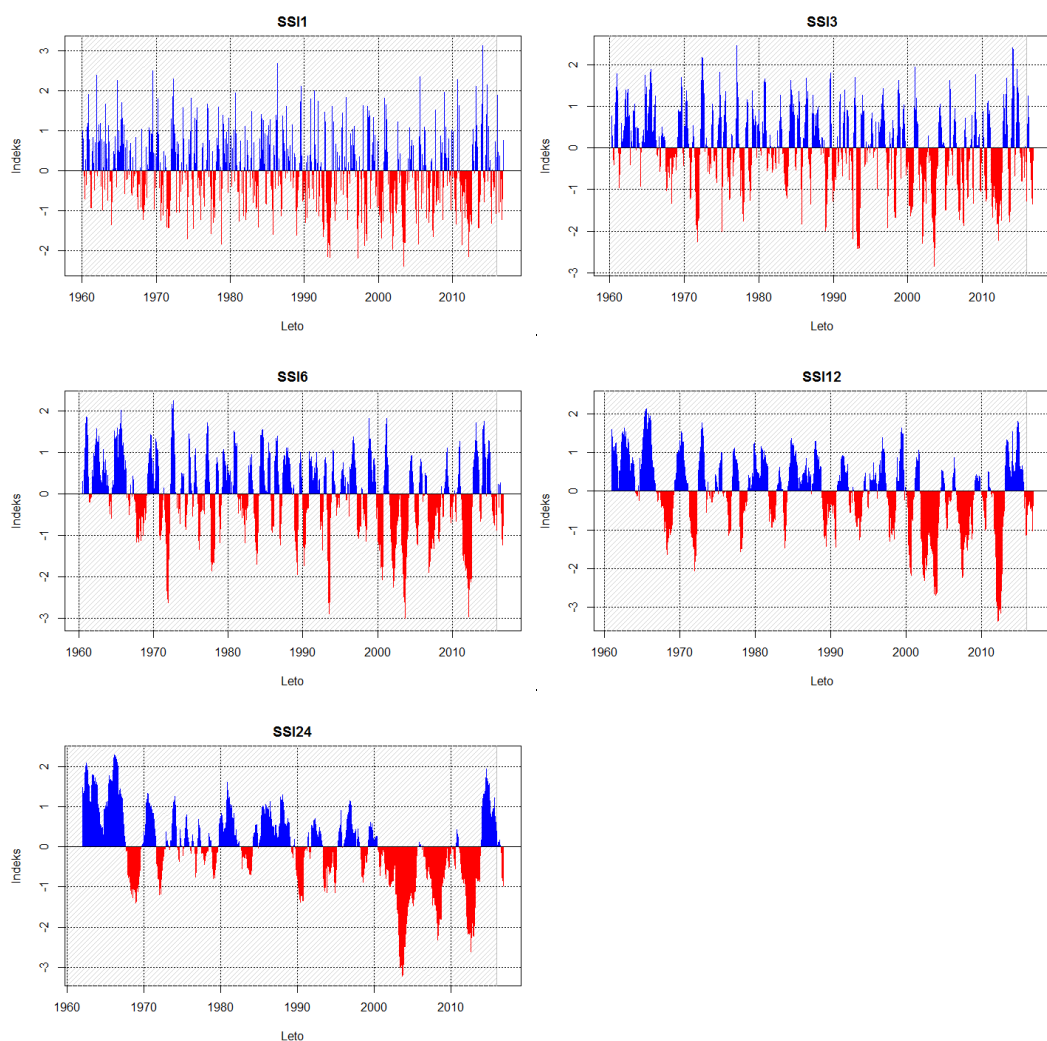
Priloga B26: SSI indeks za hidrološko postajo Hasberg za obdobje 1960-2016



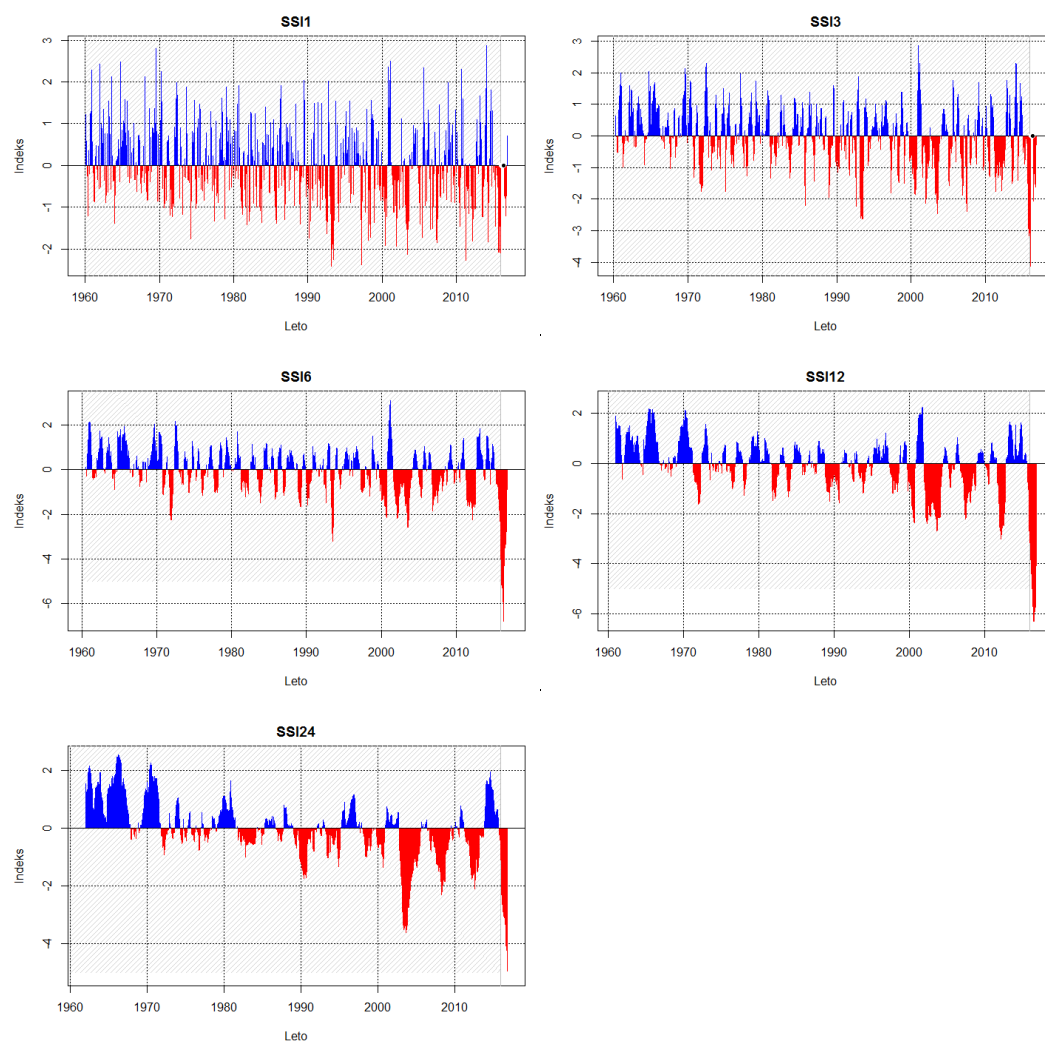
Priloga B27: SSI indeks za hidrološko postajo Nazarje za obdobje 1960-2016



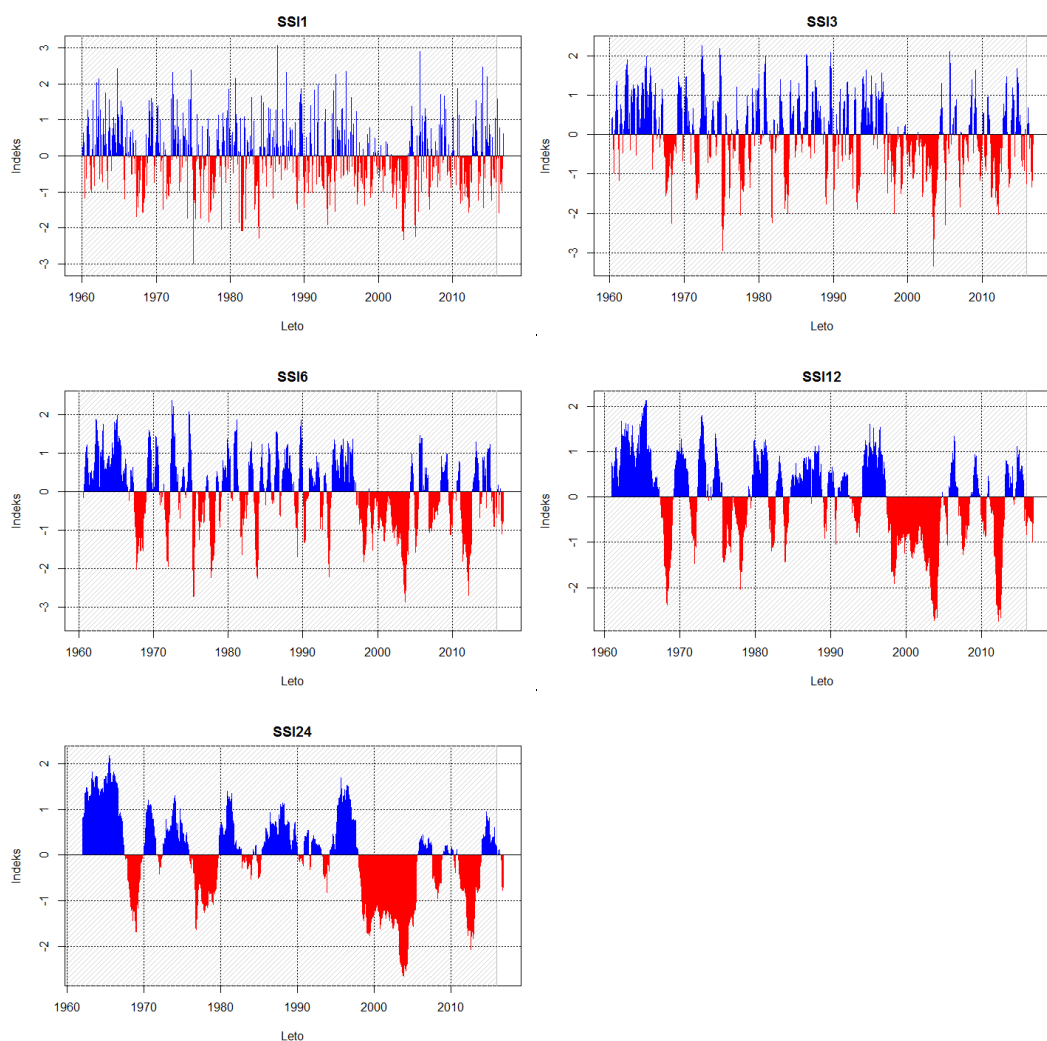
Priloga B28: SSI indeks za hidrološko postajo Laško za obdobje 1960-2016



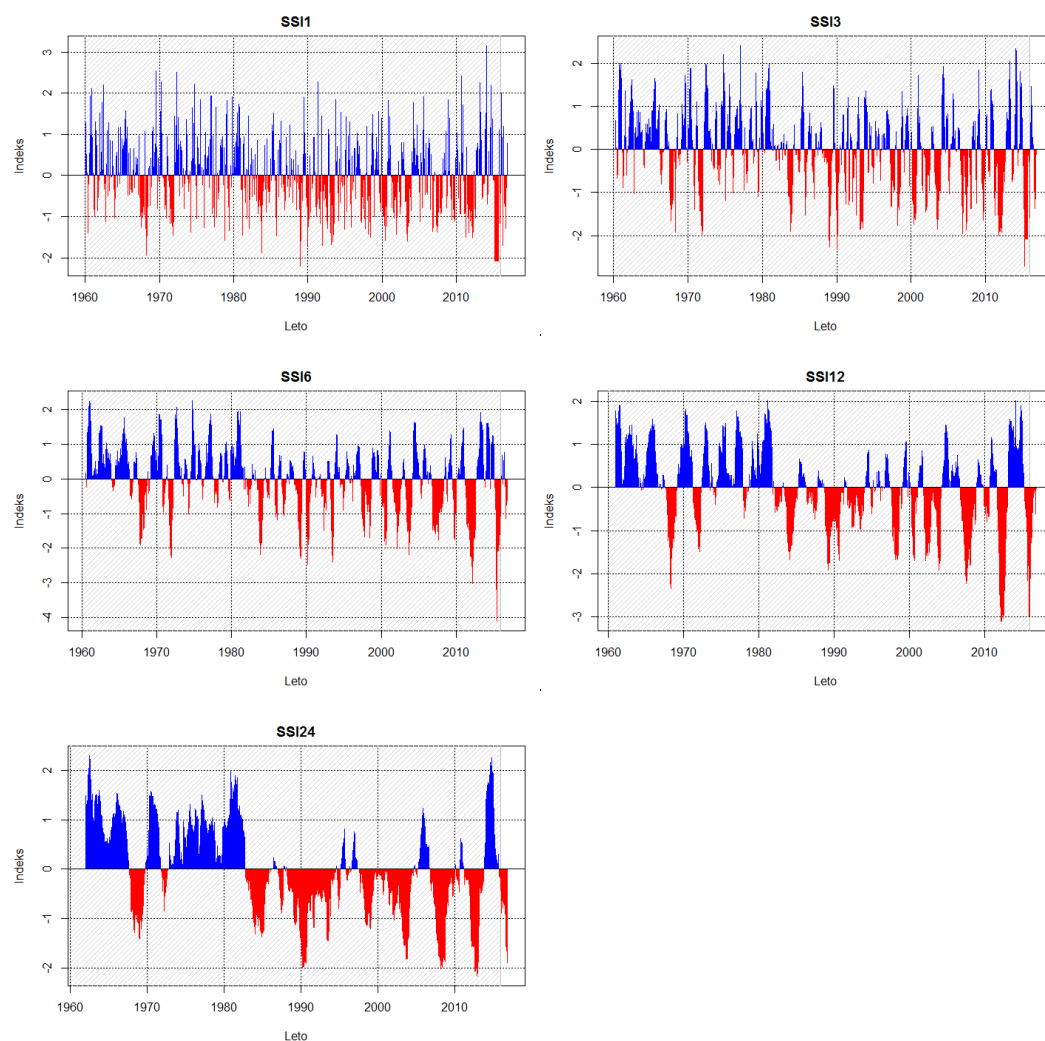
Priloga B29: SSI indeks za hidrološko postajo Kraše za obdobje 1960-2016



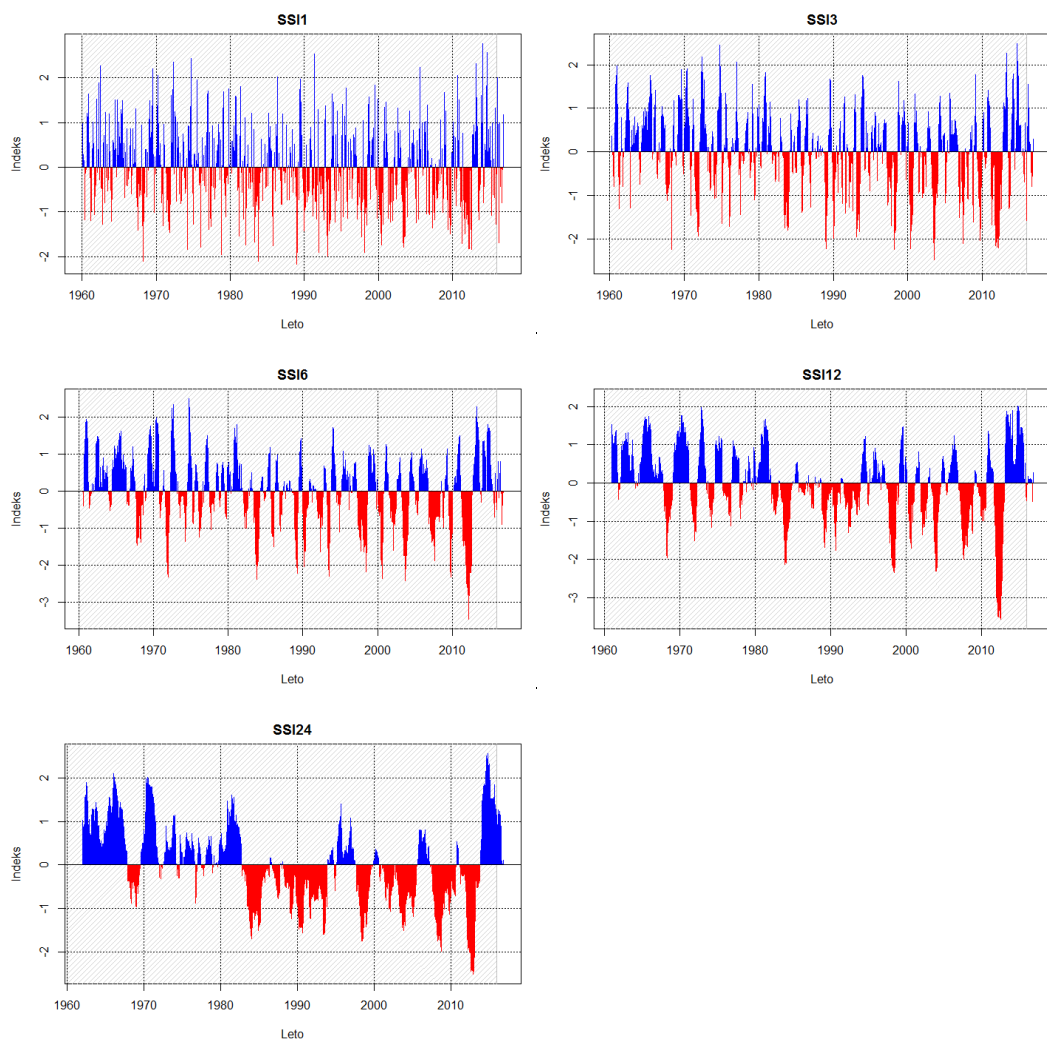
Priloga B30: SSI indeks za hidrološko postajo Črnomica za obdobje 1960-2016



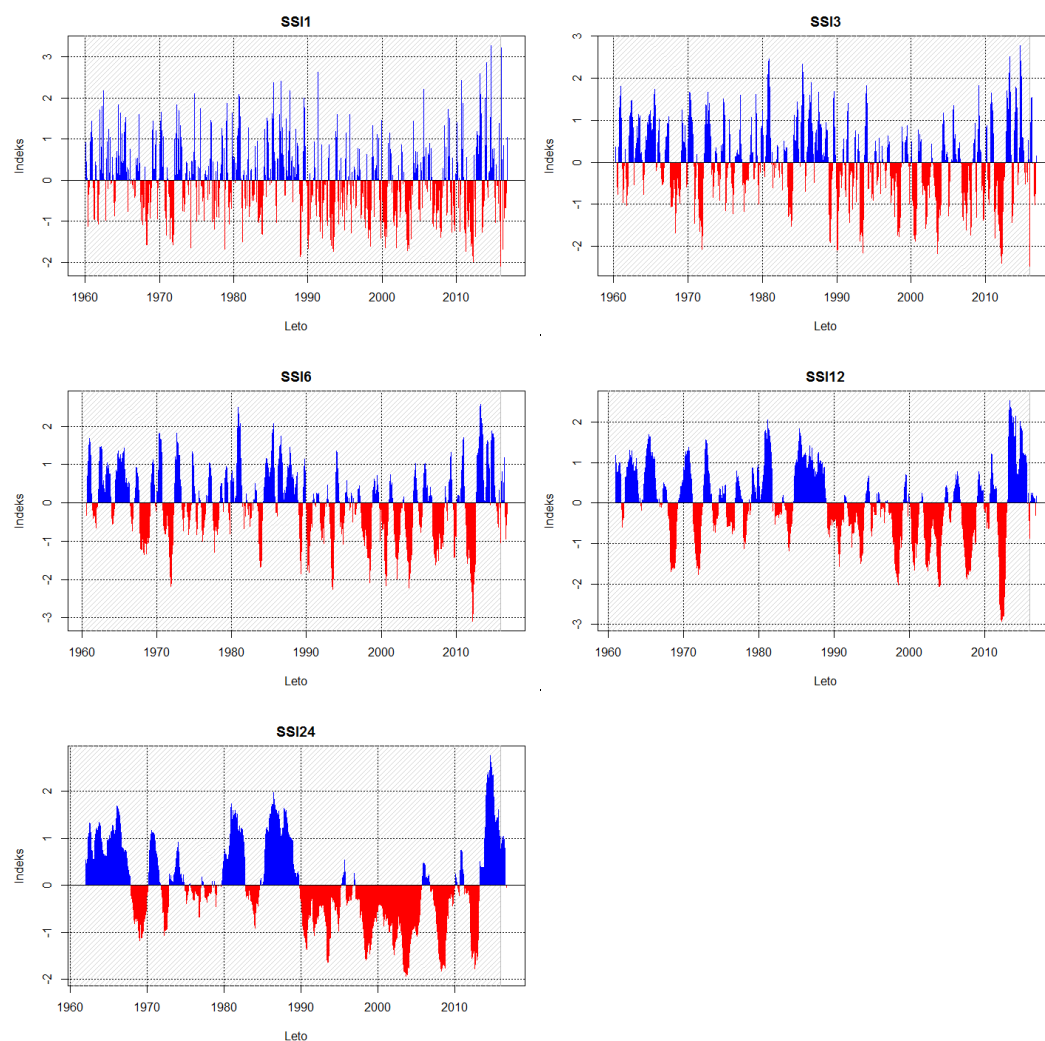
Priloga B31: SSI indeks za hidrološko postajo Podbukovje za obdobje 1960-2016



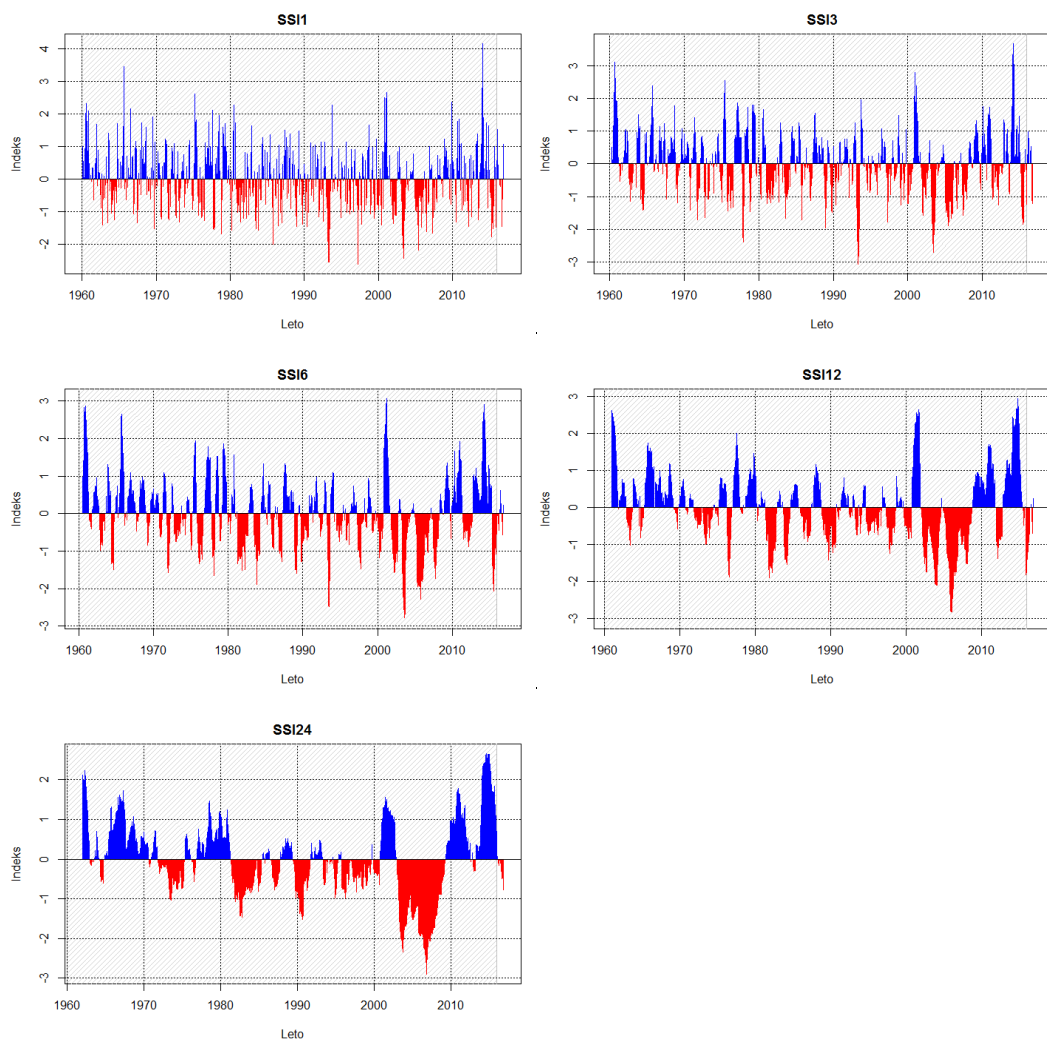
Priloga B32: SSI indeks za hidrološko postajo Podbočje za obdobje 1960-2016



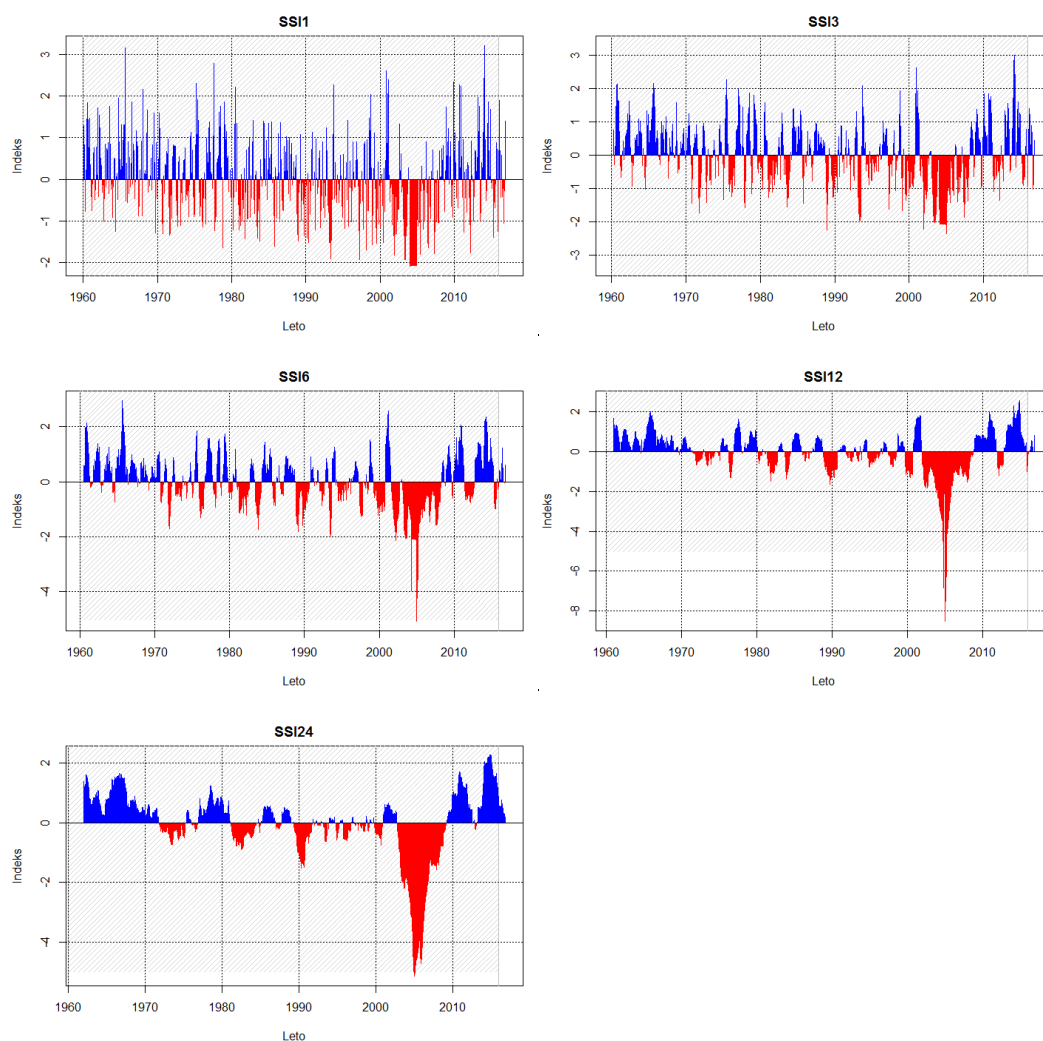
Priloga B33: SSI indeks za hidrološko postajo Prečna za obdobje 1960-2016



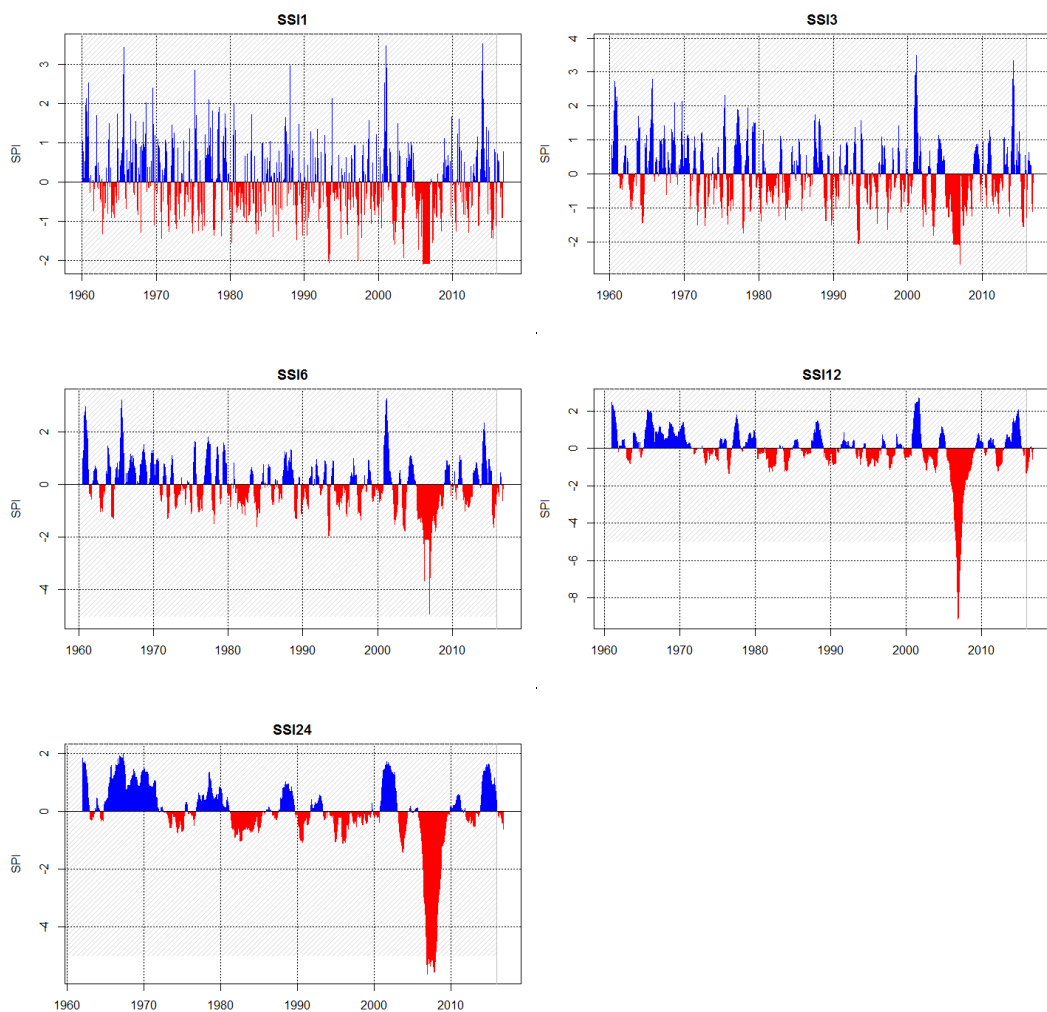
Priloga B34: SSI indeks za hidrološko postajo Kobarid za obdobje 1960-2016



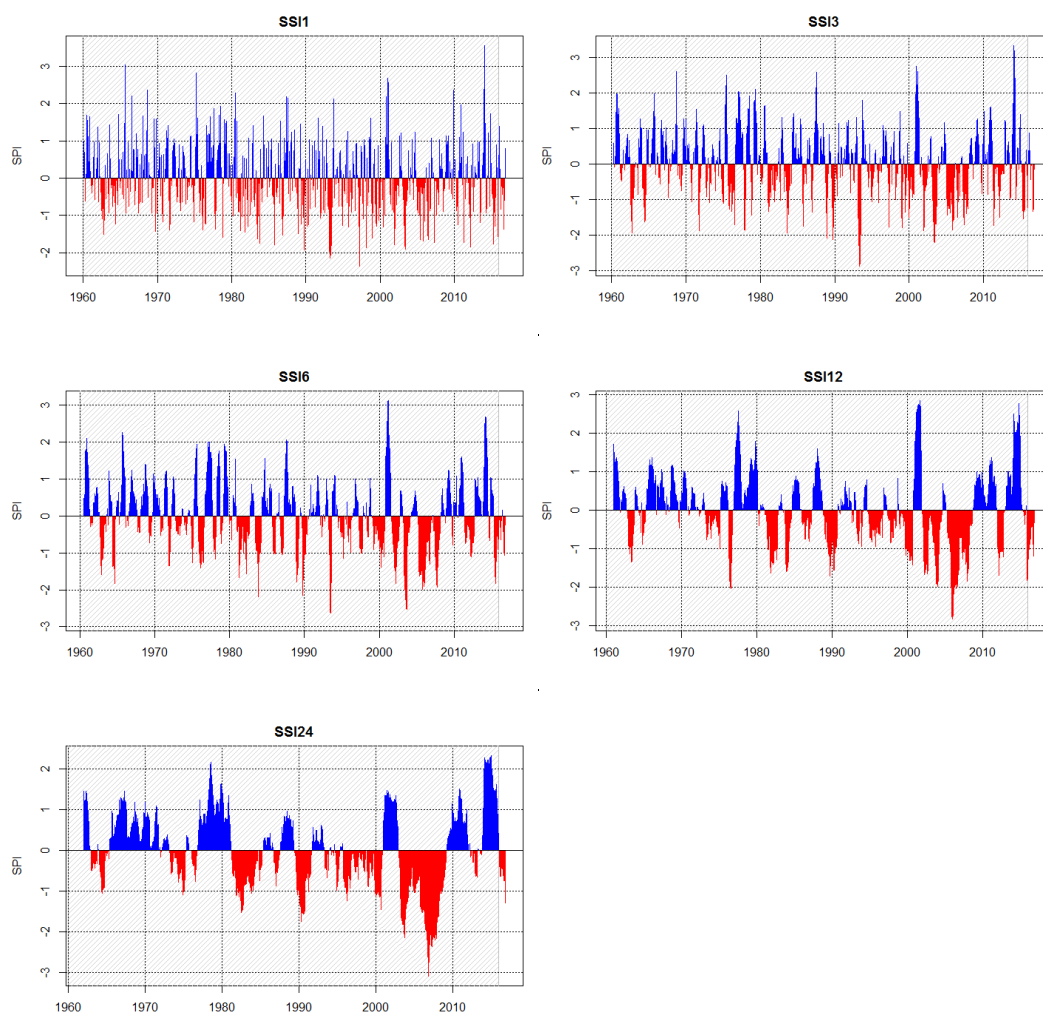
Priloga B35: SSI indeks za hidrološko postajo Solkan za obdobje 1960-2016



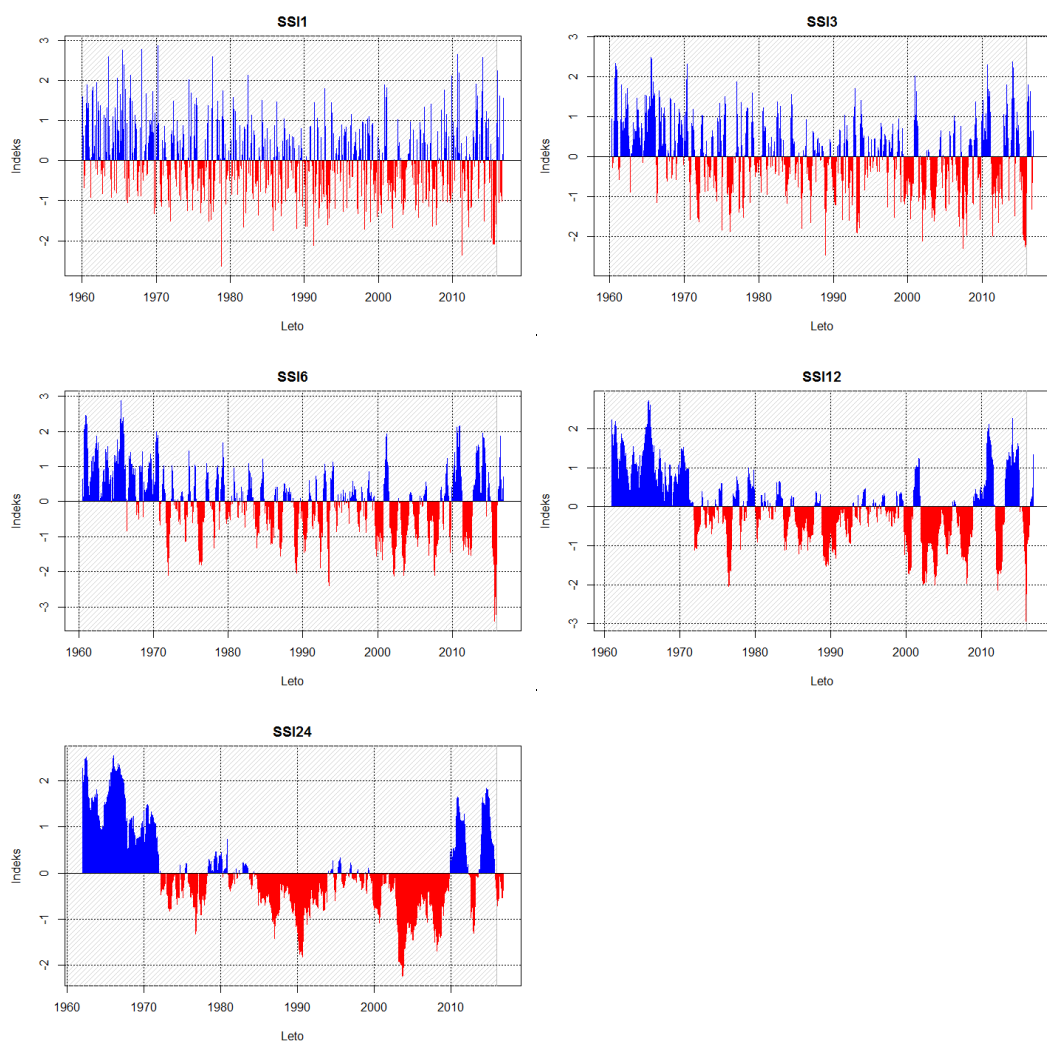
Priloga B36: SSI indeks za hidrološko postajo Kal-Koritnica za obdobje 1960-2016



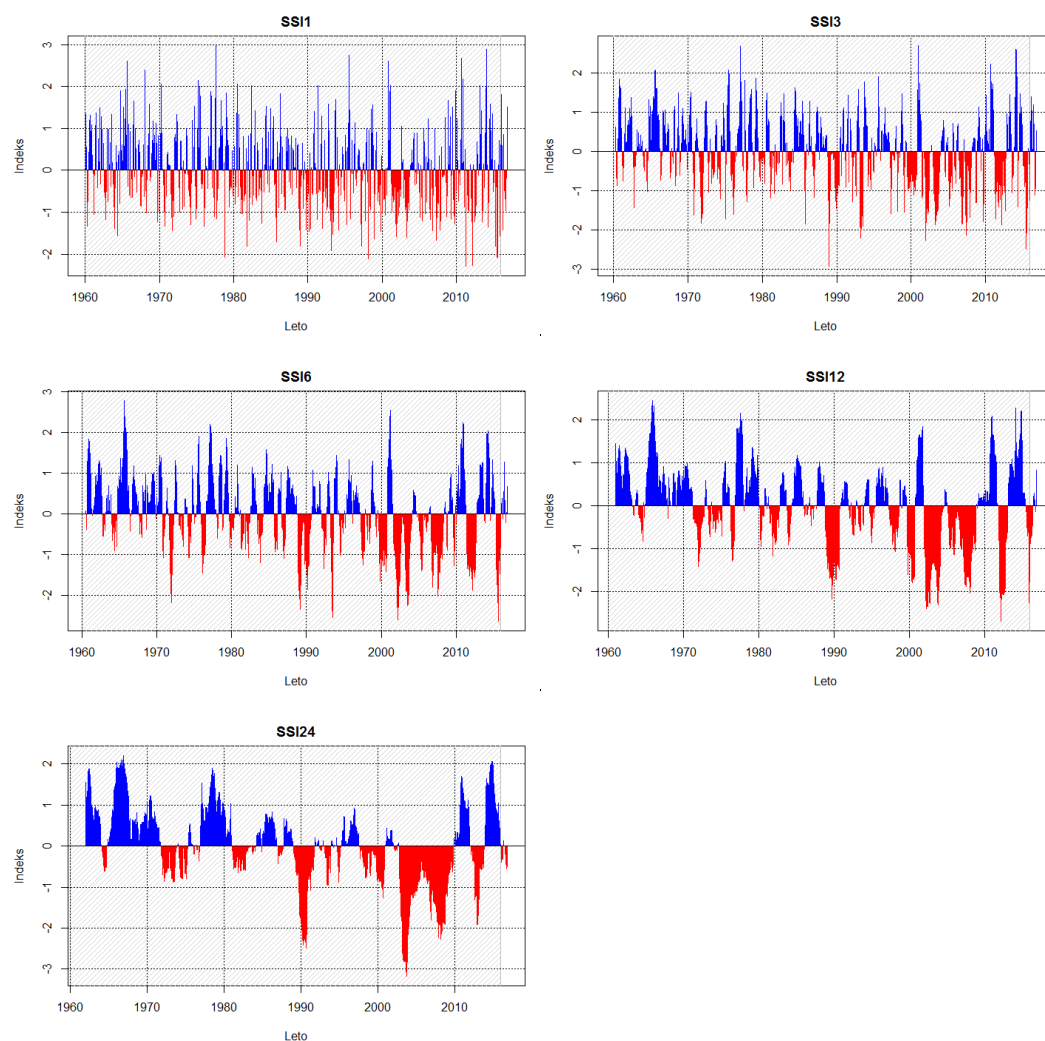
Priloga B37: SSI indeks za hidrološko postajo Žaga za obdobje 1960-2016



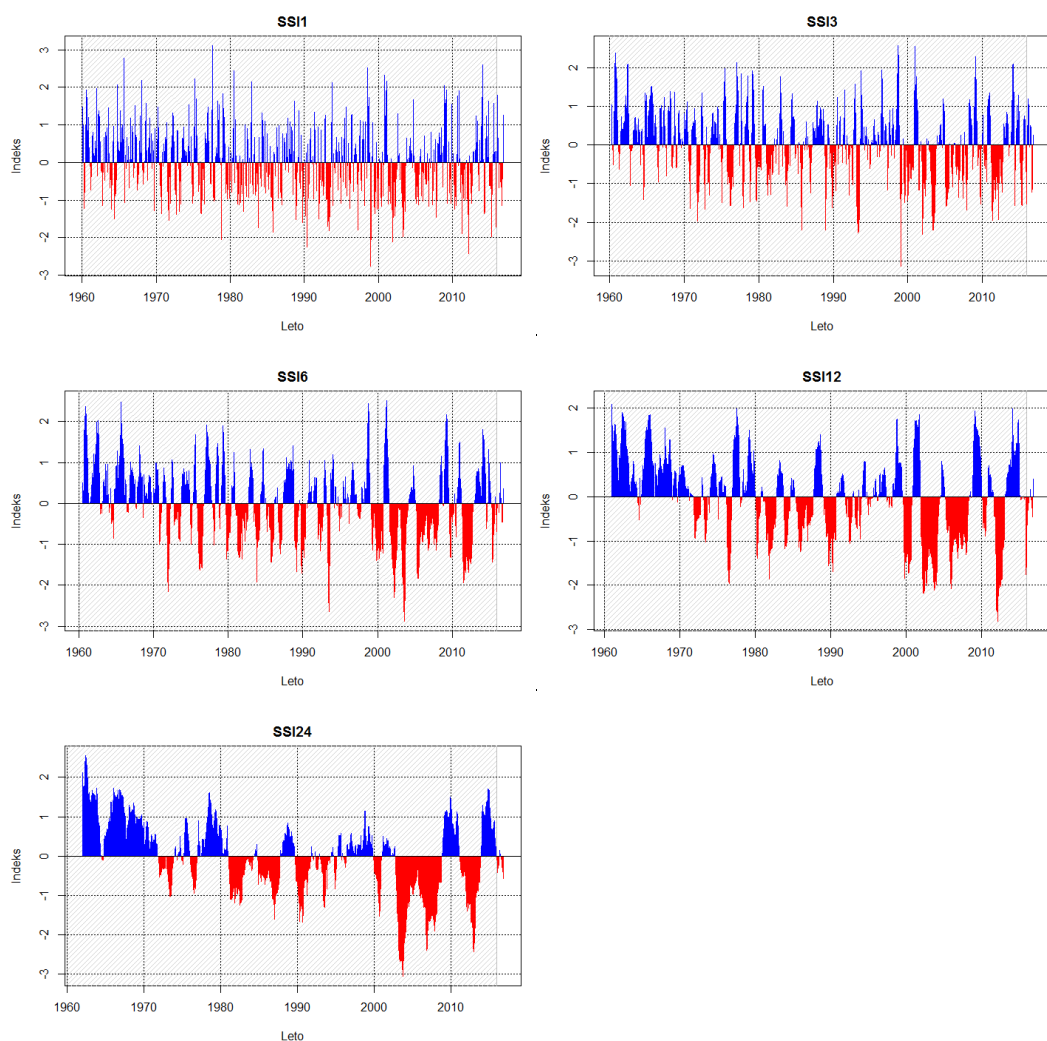
Priloga B38: SSI indeks za hidrološko postajo Podroteja za obdobje 1960-2016



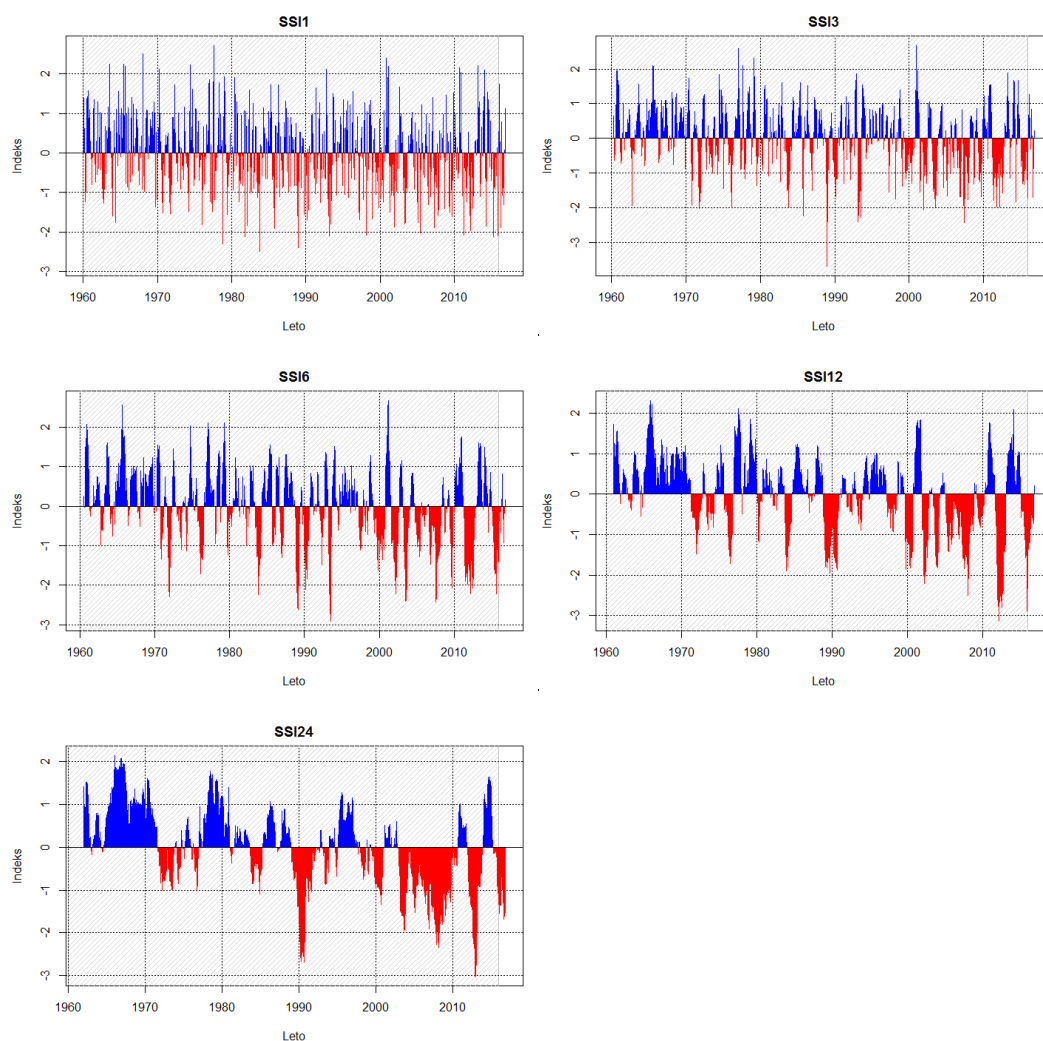
Priloga B39: SSI indeks za hidrološko postajo Hotešk za obdobje 1960-2016



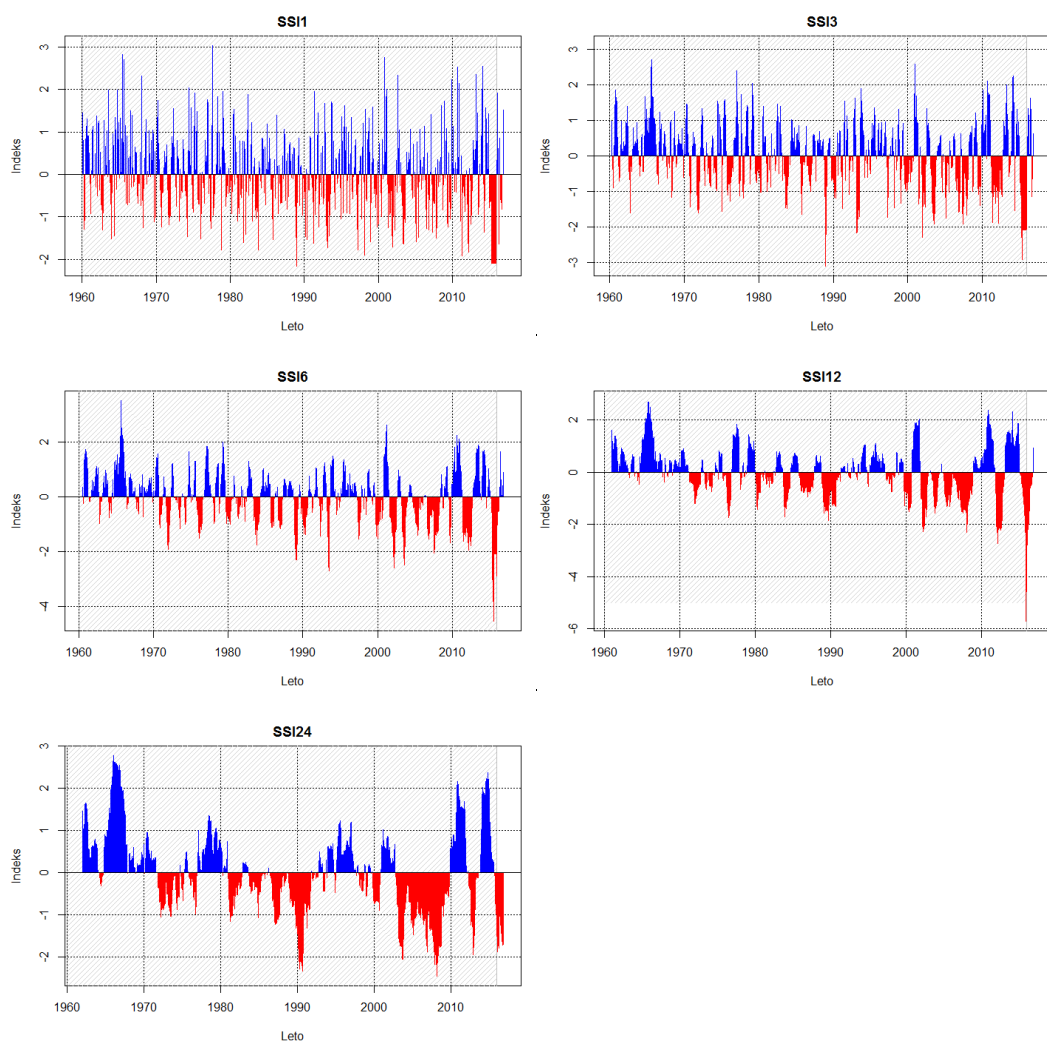
Priloga B40: SSI indeks za hidrološko postajo Bača pri Modreju za obdobje 1960-2016



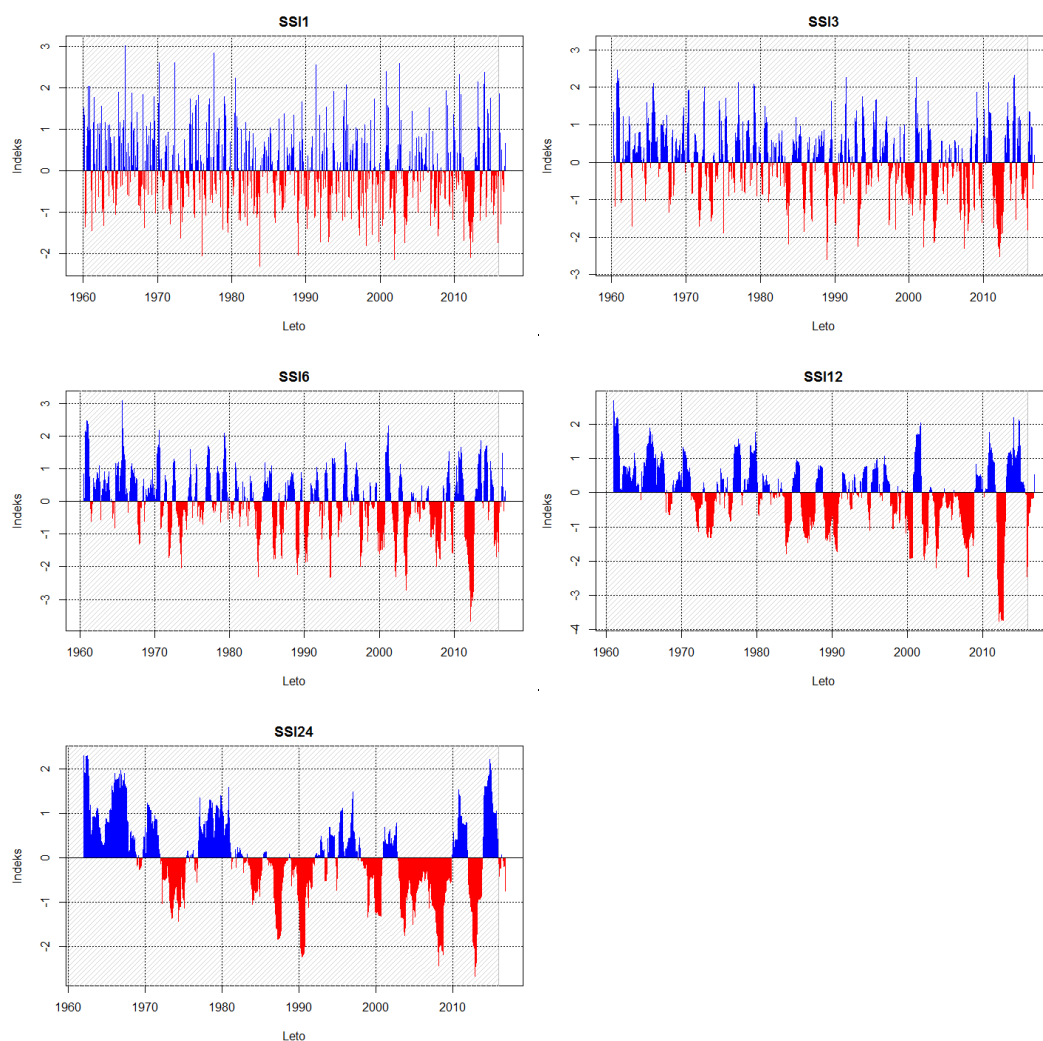
Priloga B41: SSI indeks za hidrološko postajo Vipava za obdobje 1960-2016



Priloga B42: SSI indeks za hidrološko postajo Miren za obdobje 1960-2016



Priloga B43: SSI indeks za hidrološko postajo Cerkvenikov mlin za obdobje 1960-2016



Priloga B44: SSI indeks za hidrološko postajo Kubed za obdobje 1960-2016

